



**Programme des
Nations Unies pour
l'environnement**



Distr.
GÉNÉRALE

UNEP/OzL.Pro/ExCom/84/69
18 novembre 2019

FRANÇAIS
ORIGINAL: ANGLAIS

COMITE EXECUTIF
DU FONDS MULTILATERAL AUX FINS
D'APPLICATION DU PROTOCOLE DE MONTREAL
Quatre-vingt-quatrième réunion
Montréal, 16– 20 décembre 2019

SOMMAIRE **ACTUALISÉ DU RAPPORT DU GROUPE DE L'ÉVALUATION TECHNIQUE ET
ÉCONOMIQUE SUR L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE DANS LE CONTEXTE DES
QUESTIONS MENTIONNÉES DANS LA DÉCISION 82/83(e) (DÉCISION 83/64)**

Contexte

1. À sa 82^e réunion, le Comité exécutif a examiné un document préparé par le Secrétariat, contenant un sommaire des échanges entre les Parties à la 40^e réunion du Groupe de travail à composition non limitée et à la trentième Réunion des Parties au Protocole de Montréal concernant le rapport du Groupe de l'évaluation technique et économique (GETE) sur les questions liées à l'efficacité énergétique (EE)¹.
2. À l'issue de la discussion, le Comité exécutif a décidé, entre autres :
 - (e) De débattre, à la 83^e réunion, des moyens d'opérationnaliser le paragraphe 22 de la décision XXVIII/2 et les paragraphes 5 et 6 de la décision XXX/5, notamment :
 - i) Les projets associés au maintien et/ou à l'amélioration de l'efficacité énergétique des technologies de remplacement, présentant un potentiel de réchauffement de la planète de faible à nul dans les secteurs de la réfrigération, de la climatisation et des pompes thermiques, telles que :
 - a. Les méthodes pour quantifier les changements au niveau de l'EE ; et
 - b. Les interventions techniques associées au maintien et/ou à l'amélioration de l'EE;
 - ii) Les coûts, tels que les surcoûts, les possibilités de remboursement, les coûts du suivi et de la vérification ;
 - iii) Les bienfaits environnementaux possibles, surtout ceux associés au climat ; et

¹ UNEP/OzL.Pro/ExCom/82/65 et Add.1.

- (f) De charger le Secrétariat de préparer pour examen par le Comité exécutif à sa 83^e réunion, un sommaire du rapport du GETE sur l'efficacité énergétique², dans le contexte des questions mentionnées à l'alinéa e), ci-dessus (décision 82/83).

Analyse de la décision 82/83(e) et (f)

- 3. La décision 82/83(e), (f) inclut des paragraphes précis de deux décisions des Réunions des Parties :
 - (a) Paragraphe 22 de la décision XXVIII/2 : Demander au Comité exécutif d'élaborer des directives concernant les coûts associés au maintien ou à l'amélioration de l'efficacité énergétique des technologies et du matériel utilisant des produits de remplacement à PRG faible ou nul, dans le cadre de la réduction progressive des HFC, tout en tenant compte du rôle d'autres institutions intéressées par l'efficacité énergétique, le cas échéant ;
 - (b) Le paragraphe 5 de la décision XXX/5 : Prier le Comité exécutif de continuer de passer en revue les projets menés dans le secteur de l'entretien afin de déterminer les meilleures pratiques, les enseignements à tirer et les autres possibilités de maintenir l'efficacité énergétique dans ce secteur, ainsi que les coûts correspondants ; et
 - (c) Le paragraphe 6 de la décision XXX/5 : Prier le Comité exécutif de tenir compte des informations fournies par les projets de démonstration et les projets autonomes pour élaborer des directives concernant les coûts du maintien ou de l'amélioration de l'efficacité énergétique des techniques et du matériel de remplacement dans le contexte de la réduction progressive des hydrofluorocarbures.
- 4. En intégrant le texte des décisions mentionnées ci-dessus, une couverture substantielle de la décision 82/83 (e) et (f) se lirait comme suit :

Charger le Secrétariat de préparer pour la 83^e réunion, un sommaire du rapport du groupe de travail du GETE, demandé dans la décision XXIX/10, sur les questions liées à l'efficacité énergétique dans le contexte de la réduction progressive des HFC (rapport du groupe de travail du GETE) afin que le Comité exécutif puisse débattre :

- (a) De l'élaboration de directives concernant les coûts du maintien et/ou de l'amélioration de l'efficacité énergétique dans les secteurs de la réfrigération, de la climatisation et des pompes thermiques, au moment de la conversion des HFC à des technologies à PRG faible ou nul, qui devraient :
 - (i) Inclure des initiatives, telles que des méthodes pour quantifier les changements au niveau de l'efficacité énergétique et des interventions techniques associées au maintien et/ou à l'amélioration de l'efficacité énergétique ;
 - (ii) Inclure les surcoûts associés, les possibilités de remboursement et les coûts du suivi et de la vérification ;
 - (iii) Inclure les bienfaits environnementaux possibles, surtout ceux associés au climat;
 - (iv) Tenir compte des informations fournies par les projets de démonstration pour l'introduction de technologies à faible PRG dans les pays visés à l'article 5 et par les projets d'investissement autonomes pour les HFC, approuvés par le Comité exécutif ; et

² GETE mai 2018 : Décision XXIX/10 rapport du groupe de travail sur les questions liées à l'efficacité énergétique dans le contexte de la réduction progressive des hydrofluorocarbures (Volume 5).

- (v) Tenir compte du rôle d'autres institutions intéressées par l'efficacité énergétique, le cas échéant ; et
- (b) Du maintien ou du renforcement de l'efficacité énergétique lors de la réduction progressive des HFC dans le secteur de l'entretien de l'équipement de réfrigération, en tenant compte des meilleures pratiques, des enseignements à tirer et des autres possibilités de maintenir l'efficacité énergétique, identifiées par les plans sectoriels en cours pour l'entretien de l'équipement de réfrigération.

5. Conformément à la décision 82/83(e) et (f), le Comité exécutif a examiné, à sa 83^e réunion, le document UNEP/OzL.Pro/ExCom/83/42 contenant un sommaire du rapport du GETE sur les questions liées à l'EE et convenu de discuter du document dans le groupe de contact formé pour débattre des questions liées à l'EE. Par la suite, dans son rapport au Comité, le responsable du groupe de contact a indiqué que, faute de temps, le groupe n'avait pas été en mesure de discuter du document. En conséquence, le Comité a décidé de reporter l'examen du document à la 84^e réunion (décision 83/64).

Portée du document

6. Le document présenté à la 83^e réunion s'appuyait sur le rapport du groupe de travail du GETE préparé avant mai 2019. Par la suite, en mai et en septembre 2019, le groupe de travail du GETE a publié des rapports révisés³. Lors de l'examen du rapport actualisé, publié en septembre 2019, le Secrétariat a constaté qu'il contenait une évaluation détaillée de la technologie, de la disponibilité et des aspects financiers de l'EE associés aux climatiseurs et aux équipements de réfrigération commerciale autonomes ; et aussi que certaines sections incluses dans le document du Secrétariat présenté à la 83^e réunion avaient été supprimées. Étant donné l'importance de l'information supplémentaire contenue dans le rapport du groupe de travail du GETE qui s'avère utile pour la discussion du Comité exécutif sur ce sujet, le Secrétariat a jugé pertinent de réviser le document présenté à la 83^e réunion (la plupart de l'information supplémentaire est contenue dans les Annexes II à VI du présent document). Pour faciliter l'examen du présent document, le nouveau texte est surligné⁴ tandis que le texte supprimé est identifié comme "barré".

7. Le présent document qui constitue une mise à jour du document présenté à la 83^e réunion, comprend les sections suivantes :

| | |
|-------------|--|
| Section I | Sommaire des principaux éléments couverts par le rapport du groupe de travail du GETE en lien avec les paragraphes (e) et (f) de la décision 82/83 |
| Section II | Introduction de l'efficacité énergétique dans le contexte de la réduction progressive des HFC et de l'adoption de technologies à PRG faible et nul |
| Section III | Interventions techniques associées au maintien et/ou à l'amélioration de l'EE |
| Section IV | Coûts, incluant les surcoûts associés, les possibilités de remboursement et les coûts du suivi et de la vérification |
| Section V | Bienfaits environnementaux en termes d'équivalent CO ₂ |
| Section VI | Projets de démonstration pour l'introduction de technologies à faible PRG et projets d'investissement autonomes pour les HFC |

³ GETE septembre 2018 : Décision XXIX/10 rapport du groupe de travail sur les questions liées à l'efficacité énergétique dans le contexte de la réduction progressive des hydrofluorocarbures (Volume 5) - Rapport final actualisé.

⁴ Le texte des nouvelles Annexes II à VI n'est pas surligné pour en faciliter la lecture.

8. Le présent document comprend aussi les six annexes suivantes :

- Annexe I Glossaire des termes extraits du rapport du groupe de travail du GETE, avec quelques explications supplémentaires (cette Annexe se veut une référence facile sur la terminologie utilisée dans ce document)
- Annexe II Disponibilité des climatiseurs fonctionnant avec des frigorigènes différents et à des niveaux d'EE différents⁵
- Annexe III Informations sur la disponibilité, le coût, l'impact de l'EE et application à la région climatique pour différentes composantes liées à l'EE pour des frigorigènes à PRG faible et moyen dans les climatiseurs et les équipements autonomes de réfrigération commerciale⁶
- Annexe IV Disponibilité des composantes pour les équipements de climatisation utilisant des frigorigènes à PRG faible et moyen
- Annexe V Disponibilité des composantes pour les climatiseurs et les équipements autonomes de réfrigération commerciale utilisant des frigorigènes à PRG faible et moyen
- Annexe VI Coûts additionnels liés aux modifications de la chaîne de production et des composantes pour produire des climatiseurs résidentiels utilisant des frigorigènes inflammables; coût et analyse du rendement des équipements de climatisation et de réfrigération éco-énergétiques⁷

9. Conformément à la décision 82/83(f), l'information contenue dans le présent document provient du rapport du groupe de travail du GETE avec quelques modifications rédactionnelles⁸. Plusieurs modifications rédactionnelles ont été apportées, des clarifications et des informations complémentaires ont été ajoutées à partir des contributions d'un expert technique indépendant qui a révisé ce document. La séquence de l'information contenue dans le présent document ne suit pas celle du rapport du groupe de travail du GETE. Aucune information provenant d'autres sources n'a été incluse puisque la décision ne le demandait pas.

10. Le Comité exécutif pourrait souhaiter prendre note que les deux documents suivants ont répondu pleinement aux exigences du paragraphe 5 de la décision XXX/5 et donc les questions concernant le secteur de l'entretien de l'équipement de réfrigération ne sont pas traitées dans le présent document :

- (a) Document préliminaire sur tous les aspects du secteur de l'entretien de l'équipement de réfrigération appuyant la réduction progressive des HFC (décision 80/76(c)) (UNEP/OzL.Pro/ExCom/82/64) ; et

⁵ Elle contient de l'information sur la disponibilité des produits utilisant des frigorigènes à base de HCFC et à PRG élevé, à base de HCFC et à PRG moyen et faible dans différents marchés.

⁶ Elle contient de l'information sur les compresseurs, les échangeurs thermiques, les contrôles et autres mesures d'amélioration du rendement des composantes/du produit pour un fonctionnement éco-énergétique avec des technologies à PRG faible et moyen.

⁷ Elle fournit de l'information sur la gamme des coûts d'investissement et le rendement opérationnel ainsi qu'une analyse des coûts pour la production d'équipements éco-énergétiques de climatisation et de réfrigération.

⁸ Le rapport du groupe de travail du GETE inclut l'Annexe A qui contient de l'information sur les défis particuliers de l'adoption des technologies, propres à chaque secteur. La plupart des informations pertinentes concernant l'Annexe A sont couvertes dans la section III du présent document ; des informations supplémentaires sur l'adoption des technologies sont aussi présentées dans les Annexes II à V.

- (b) Document sur les moyens d'opérationnaliser le paragraphe 16 de la décision XXVIII/2 et le paragraphe 2 de la décision XXX/5 des Parties (décision 82/83(c)) (UNEP/OzL.Pro/ExCom/83/40).

11. Le Comité exécutif pourrait aussi souhaiter prendre note qu'à sa 84^e réunion, il examinera un document actualisé offrant de l'information sur les sommes nécessaires et les institutions financières mobilisant des ressources pour l'efficacité énergétique qui pourraient être sollicitées pour l'élimination des HFC (décision 83/63)⁹. Le document examine le rôle des autres institutions intéressées par l'EE ; par conséquent ce sujet n'est pas inclus dans le présent document.

I. SOMMAIRE DES PRINCIPAUX ÉLÉMENTS COUVERTS PAR LE RAPPORT DU GROUPE DE TRAVAIL DU GETE

12. Historiquement, la mise en œuvre du Protocole de Montréal s'est concentrée sur l'élimination des SAO qui a entraîné parallèlement des améliorations de l'efficacité énergétique (EE) des équipements et des produits¹⁰. Durant la transition vers des frigorigènes de remplacement, l'industrie s'est efforcé d'améliorer la conception de l'équipement et des composantes abordables pour les consommateurs et, à la longue, cet effort a débouché sur des produits éco-énergétiques, avec des prix ajustés inférieurs au taux d'inflation. Une attention croissante est accordée aux systèmes de climatisation en raison de la nécessité de changer la technologie des frigorigènes et des efforts sont en cours pour optimiser les systèmes et les composantes afin d'obtenir un refroidissement éco-énergétique avec de nouveaux frigorigènes. Divers facteurs, incluant les systèmes de tarification et de facturation de l'énergie, l'étiquetage énergétique, jouent un rôle important dans l'adoption de technologies éco-énergétiques.

13. Le plus grand potentiel d'amélioration de l'EE provient des améliorations du concept global du système et des composantes qui peuvent engendrer des améliorations de l'efficacité (par rapport à un concept de référence) pouvant varier de 10 à 70 pour cent (pour la meilleure unité). Une démarche intégrée de conception et de sélection des équipements de réfrigération, de climatisation et des pompes thermiques qui inclut la garantie de minimisation des charges de refroidissement/chauffage, la sélection du frigorigène approprié, l'utilisation de composantes et d'un concept de système à haute efficacité, la garantie d'un contrôle et d'un fonctionnement optimisés, dans toutes les conditions d'exploitation courantes et avec des caractéristiques de conception qui faciliteront l'entretien et la maintenance, peut contribuer à des économies d'énergie; ce qui entraînerait une réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) pendant la durée de vie de l'équipement, une réduction des coûts énergétiques pour l'utilisateur final et une réduction de la demande d'électricité en période de pointe qui à son tour entraînerait des investissements moins élevés dans la production d'électricité et la capacité de distribution.

14. La sélection du frigorigène est un compromis entre les bénéfices environnementaux, la sécurité, l'efficacité du cycle thermodynamique, la conception et la fiabilité du système, et les coûts. En règle générale, l'impact du choix du frigorigène sur l'EE des unités est relativement faible – variant typiquement de +/- 5 à 10 pour cent. Les équipements de climatisation et de réfrigération commerciale qui répondent aux exigences minimales d'EE sont largement disponibles pour toutes les familles de frigorigènes, incluant les HCFC¹¹; aucun développement n'est en cours pour augmenter l'EE des équipements à base de HCFC en raison du calendrier d'élimination de ce frigorigène. Là où les marchés et les politiques de soutien donnent des signaux clairs en faveur de la sélection de frigorigènes de remplacement, les fabricants investissent dans la recherche et le développement (R&D) sur ces frigorigènes tout en maintenant ou améliorant l'EE. Par conséquent, l'effort de R&D pour l'EE se

⁹ UNEP/OzL.Pro/ExCom/84/68

¹⁰ La mise en œuvre du Protocole de Montréal a entraîné une amélioration graduelle de l'EE qui avait débuté aussi avant l'adoption du Protocole de Montréal. Par la suite, la mise en œuvre du Protocole de Montréal a accéléré l'amélioration de l'EE dans bien des cas puisque le changement de frigorigène a souvent incité aussi à l'adoption d'un niveau technologique supérieur à cause de la meilleure conception du produit.

¹¹ Ce n'est peut-être pas le cas pour certaines technologies (par ex. le climatiseur à base de R-290).

concentre sur les frigorigènes à faible PRG. Certaines composantes permettant d'améliorer l'EE des équipements de climatisation et de réfrigération commerciale à base de frigorigènes à faible PRG sont peu disponibles, tandis que les composantes pour des frigorigènes à PRG moyen sont plus largement disponibles et certains pays réorientent la majorité de leur consommation vers ces frigorigènes.

15. La plupart des nouvelles technologies largement disponibles contribuant à des équipements d'EE plus élevée ne sont pas directement affectées par des considérations de propriété intellectuelle. Toutefois, pour les technologies d'un nombre limité de fournisseurs, les technologies émergentes ou les technologies de R&D, les considérations de propriété intellectuelle doivent être envisagées au cas par cas.

16. Pour les interventions techniques visant le maintien/l'amélioration de l'EE, l'environnement à température ambiante élevée pose une série supplémentaire de défis pour la sélection des frigorigènes, la conception des systèmes et les opportunités potentielles d'amélioration de l'EE. Dans ce type d'environnement, la conception de systèmes qui maintiennent l'EE est affectée par le choix du frigorigène, en raison des propriétés thermodynamiques, des exigences de sécurité dues à la charge accrue, par la disponibilité des composantes et par les coûts. La recherche menée jusqu'à présent dans ce type d'environnement a démontré la viabilité de certaines solutions de remplacement à faible PRG en mesure de fournir des résultats comparables aux technologies existantes en termes d'EE. La recherche et les efforts du secteur privé continuent de se concentrer sur l'optimisation du concept pour atteindre les objectifs d'efficacité visés pour ces solutions de remplacement. Les défis techniques, financiers, liés au marché, à l'information, aux institutions/règlements, aux compétences en entretien et autres, ainsi que les mesures d'atténuation envisageables sont présentés dans ce rapport. Le projet PRAHA-II, financé dans le cadre du Fonds multilatéral, re-teste les unités optimisées en utilisant des compresseurs et des échangeurs thermiques efficaces qui ont été reconditionnés à partir des prototypes originaux utilisés dans PRAHA-I.

17. Les conditions de température ambiante élevée, en règle générale, ne posent pas de problème pour les équipements autonomes de réfrigération commerciale qui sont souvent placés à l'intérieur de magasins climatisés. Toutefois, dans des Parties visées à l'article 5, ces équipements sont parfois placés à l'extérieur pour éviter une charge thermique additionnelle à l'intérieur de l'édifice, ce qui affectera le rendement en raison de la température ambiante élevée.

18. Plusieurs pays ont élaboré des méthodes avec des programmes de transformation des marchés bien établis pour promouvoir l'EE, incluant des programmes de normes minimales de rendement énergétique et des programmes d'étiquetage. Un aperçu du coût d'un programme d'amélioration de l'efficacité à un moment donné tendra à fournir une estimation conservatrice (c.-à-d. plus élevée) du coût de l'amélioration de l'efficacité. Dans la pratique, on a constaté que les prix des équipements d'efficacité supérieure baissent sur les différents marchés au fur et à mesure que ces équipements commencent à être produits en série. Cela vaut particulièrement pour l'équipement de petite production de masse lorsque les fabricants absorbent rapidement les coûts de développement initiaux et tentent de parvenir à certains "niveaux de prix" qui les aident à vendre leur équipement.

19. Le prix de détail des produits n'est pas un indicateur adéquat des coûts de maintien ou d'amélioration de l'EE pour un équipement neuf en raison du fait que l'efficacité énergétique supérieure est combinée à diverses caractéristiques non reliées à l'énergie, aux compétences et au savoir-faire variables des fabricants, à différentes stratégies de tarification, de mise en marché et d'image de marque des fabricants, et à l'idée que l'efficacité peut être vendue comme une caractéristique "haut de gamme". L'information sur l'analyse des coûts et la période de remboursement démontre qu'une variété de facteurs influencent le remboursement d'un équipement qui pourrait avoir des coûts initiaux plus élevés et il existe un plafond pour l'EE au-delà duquel le remboursement par les économies d'énergie réalisées sur la durée de vie de l'équipement n'est pas attrayant. Une analyse rigoureuse des coûts pourrait s'avérer nécessaire pour comprendre pleinement l'impact des améliorations de l'EE. Ces types d'analyses sont pertinents pour fixer les normes minimales de rendement énergétique car il faut alors évaluer plusieurs niveaux

d'EE par rapport à la valeur de référence. Ces études peuvent prendre plus d'un an pour une seule catégorie de produit.

20. L'information sur les coûts d'investissement et d'exploitation associés à la transition vers des options à faible PRG pour les équipements autonomes de réfrigération commerciale, les unités de condensation, les systèmes centralisés et répartis, les équipements de climatisation et les pompes à chaleur ainsi que la matrice des interventions techniques pour parvenir à une EE supérieure et les estimations des coûts associés démontrent qu'une série de facteurs affecte l'ensemble des coûts de la transition vers des frigorigènes de remplacement à faible PRG et l'amélioration de l'EE. Les pratiques d'exploitation jouent un rôle important dans le rendement éco-énergétique de l'équipement.

21. Le coût du frigorigène représente environ 1 pour cent du coût total d'un climatiseur résidentiel. On prévoit que les coûts des HFC augmenteront au fur et à mesure de leur réduction progressive, ce qui rendra les frigorigènes à faible PRG nettement plus concurrentiel en termes de prix. Les compresseurs représentent environ 20 pour cent du coût d'un climatiseur résidentiel. Des progrès techniques permettent une amélioration de l'efficacité pouvant aller jusqu'à 20 pour cent mais avec une augmentation proportionnelle du coût. L'introduction de tubes de petit diamètre a permis d'améliorer l'efficacité des échangeurs thermiques du type tubulaire à ailettes ; plus récemment l'adoption d'échangeurs thermiques à micro-canaux, de coût similaire ou légèrement inférieur (environ 5 pour cent), avec une efficacité supérieure pouvant aller jusqu'à 5 pour cent, et une charge frigorigène réduite d'environ 40 pour cent, s'est accélérée. L'optimisation de la circulation de l'air améliore l'EE. La puissance et le coût des ventilateurs augmentent par palier, créant une relation complexe entre l'augmentation du coût et l'EE. Les coûts des autres technologies, incluant l'auto-nettoyage pour réduire les dépôts de poussière, sont marginaux. Avec le temps, le coût des composantes et concepts efficaces diminue avec l'augmentation de la production ou des connaissances et le coût des équipements de plus grande EE diminue. Avec cette évolution, les niveaux élevés d'efficacité se remboursent sur des périodes plus courtes.

22. L'amélioration de l'EE présente une vaste gamme de bienfaits connexes, en plus d'une réduction des coûts énergétiques pour le consommateur, tels que des émissions de CO₂ évitées, des pointes de charge évitées et des cas évités de mortalité et de morbidité causées par la pauvreté énergétique, des avantages en termes de confort, des émissions évitées de SO_x, de NO_x et de particules, des émissions de CO₂ évitées, en plus des avantages économiques directs. Selon les différents environnements d'exploitation et les conditions météorologiques, les impacts des émissions de CO₂ peuvent varier.

23. L'adoption de normes communes aux différents marchés pour les tests et les méthodes de qualification permettrait aux fabricants de capitaliser sur des économies d'échelle et d'accélérer la disponibilité de la technologie. Les gouvernements qui fixent des exigences de tests et de rendement qui ne sont pas comparables à celles de leurs principaux partenaires commerciaux ou fournisseurs risquent de désavantager leur pays sur le plan économique, en retardant l'adoption de nouvelles technologies éco-énergétiques dans leur pays.

24. Aucune information détaillée sur les coûts associés au suivi et à la communication de l'amélioration de l'EE n'est disponible dans le rapport et aucune information n'est présentée dans ce document.

25. Enfin, ce document fournit l'information disponible à ce jour, sur les projets de démonstration pour l'introduction de technologies à faible PRG durant l'élimination des HCFC. En outre, puisque les résultats des projets d'investissement autonomes pour la réduction progressive des HFC, approuvés suite à la décision 78/3(g), ne sont pas disponibles, une liste de ces projets est fournie.

II. INTRODUCTION DE L'EE DANS LE CONTEXTE DE LA REDUCTION PROGRESSIVE DES HFC ET DE L'ADOPTION DE TECHNOLOGIES A PRG FAIBLE ET NUL

26. Historiquement, la mise en œuvre du Protocole de Montréal s'est concentrée sur l'élimination des SAO qui a entraîné parallèlement des améliorations de l'EE des équipements et des produits¹². Le Fonds multilatéral a fourni une assistance financière et technique pour aider les pays visés à l'article 5 à atteindre leurs objectifs d'élimination des SAO.

27. Durant l'élimination des CFC dans le secteur de la réfrigération domestique, le CFC-12 a été remplacé soit par l'hydrocarbure R-600a ou le HFC-134a. Initialement, des mélanges d'hydrocarbures étaient utilisés mais ce choix avait entraîné une augmentation des coûts énergétiques. Le R-600a, avec une meilleure EE, est devenu ensuite l'option privilégiée, à côté du HFC-134a. Le HFC-134a, avec une EE similaire mais un PRG plus élevé, était limité aux régions où les inquiétudes concernant l'inflammabilité et les responsabilités connexes constituaient des obstacles commerciaux importants.

28. L'industrie a fait de gros efforts pour améliorer l'EE au moment de l'abandon du CFC-12, surtout avec de meilleures conceptions des compresseurs et des systèmes. En 2015, le réfrigérateur avec la meilleure pratique mondiale produisait neuf fois d'émissions de GES qu'un réfrigérateur typique des années quatre-vingt vendu dans les pays non visés à l'article 5. Le marché des réfrigérateurs domestiques est très concurrentiel au niveau des prix et bénéficie d'économies d'échelle énormes grâce à la production de masse. Le coût d'un réfrigérateur à haut rendement, en 2015, est inférieur, en termes réels, au coût d'un modèle des années quatre-vingt. (Figure 1¹³).

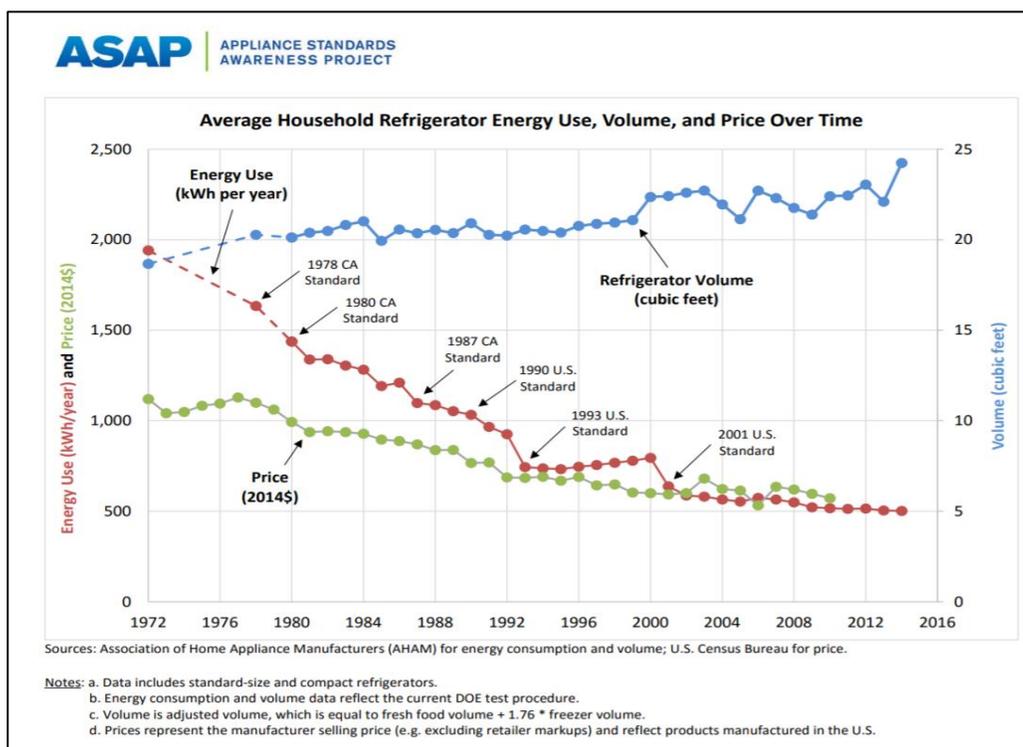


Figure 1. Consommation énergétique moyenne, volume et prix d'un réfrigérateur ménager aux États-Unis d'Amérique

¹² Ce contexte a été expliqué dans la note de bas de page du paragraphe 10 du présent document.

¹³ https://appliance-standards.org/sites/default/files/refrigerator_graph_Nov_2016.pdf

29. Depuis les années soixante-dix, l'évolution de l'équipement de climatisation unitaire aux Etats-Unis affiche une amélioration constante en termes d'efficacité et aussi de rentabilité, comme l'indique la Figure 2. Les fabricants américains ont diminué le prix, ajusté pour l'inflation, de l'équipement de climatisation unitaire pour les systèmes de climatisation résidentielle centrale gainables (coûts de l'équipement seulement).¹⁴ La tendance à la baisse des prix a coïncidé avec l'élimination des SAO, ainsi qu'avec des augmentations périodiques des normes d'efficacité. Les raisons de cette tendance sont complexes, incluant des innovations technologiques et une plus grande efficacité de la production, ainsi que des facteurs macroéconomiques liés à la mondialisation de la fabrication et aux tendances dans les prix des marchandises. Le prix ajusté de l'équipement n'a pas augmenté à la suite de l'introduction des normes d'efficacité ou d'une augmentation de ces normes. Les prix n'ont pas réagi négativement à l'interdiction du HCFC-22 en 2010.

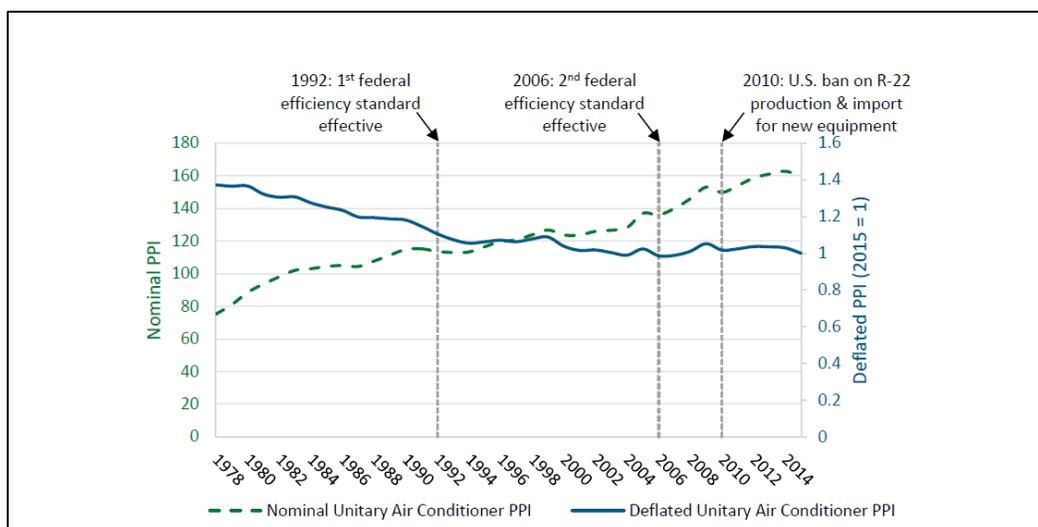


Figure 2. Coûts d'un équipement central de climatisation résidentielle, de 1978 à 2015
[Goetzler et al 2016]

30. L'élimination du HCFC-22 se poursuit dans les Parties visées à l'article 5¹⁵. Le HFC-32 a été introduit dans de nombreux pays. Tandis que le R-290 a été introduit dans quelques pays et qu'il présente un avantage en termes d'EE, l'utilisation du R-290 se heurte à un obstacle majeur dans les climatiseurs résidentiels, à savoir son taux d'inflammabilité élevé qui en restreint l'usage.

31. L'Annexe II de ce document présente la disponibilité des différentes technologies ainsi que les gammes de Normes minimales de rendement énergétique des différents régions/pays. Pour les informations présentées dans les tableaux de l'Annexe II, les trois niveaux de Normes minimales de rendement énergétique décrits ci-dessous sont pris en compte ; et pour chaque catégorie de frigorigène, la disponibilité est présentée comme largement disponible (en caractère gras), technologie disponible (police normale), technologie émergente (en italique) et non disponible (police normale soulignée) :

- (a) Niveau faible : Unités de climatisation qui correspondent à une Norme minimale de rendement énergétique, régionale ou nationale d'EE exigée
- (b) Niveau moyen : Unités de climatisation dont l'EE dépasse de 10 pour cent ou moins, les

¹⁴ La ligne verte en pointillé représente l'indice du prix du producteur (PPI) tandis que la ligne bleue représente l'indice du prix du producteur, ajusté pour l'inflation. L'ajustement pour l'inflation est calculé en divisant la série de PPI par l'indice de prix en chaîne du produit intérieur brut pour les mêmes années et normalisé ensuite pour l'année 2015.

¹⁵ Le HCFC-22 est éliminé en grande partie pour les applications de climatisation, tant dans la fabrication que pour l'entretien.

Normes minimales de rendement énergétique de base ; et

- (c) **Niveau élevé : Unités de climatisation dont l'EE dépasse de 10 pour cent ou plus les Normes minimales de rendement énergétique de base.**

32. **Dans les pays qui possèdent de telles Normes, les HCFC sont surtout disponibles au niveau d'efficacité le plus faible permettant de répondre aux critères de ces Normes, à quelques exceptions près. Les HFC à PRG élevé, surtout le R-410A, sont disponibles partout au niveau faible.**

33. Actuellement, une vaste gamme de climatiseurs individuels sont vendus dont l'EE varie de très faible à très élevée. Le niveau de l'EE a peu à voir avec la capacité ou le prix d'achat [Shah et al., 2017, Kuijpers et al., 2018]. Pour optimiser le rendement des climatiseurs individuels, il faut prêter attention au compresseur, à la charge de frigorigène et à la taille de l'échangeur de chaleur. Des études comparatives du R-290, HFC-22 et HFC-161, avec un système au HCFC-22, ont démontré que le rendement énergétique des climatiseurs individuels optimisés ne dépassait pas 10 pour cent, quel que soit le frigorigène, tandis que sans l'optimisation complète du système, les variations du rendement énergétique dépassaient 10 pour cent.

34. Dans certains pays, les climatiseurs consomment jusqu'à 70 pour cent de l'énergie électrique produite, en raison de l'utilisation excessive du refroidissement durant presque toute l'année et pendant de longues heures. Les habitants sont conscients du fardeau que la climatisation ajoute à leur situation financière et ils pourraient donc être plus disposés à accueillir des mesures réglementaires et autres pour réduire ce fardeau, par l'utilisation de systèmes plus efficaces qui consomment moins d'électricité. Ce n'est pas le cas dans les pays où les services publics sont subventionnés, si bien que le coût de l'énergie est bas pour le consommateur, annulant ainsi tout incitatif à l'amélioration de l'EE des systèmes, y compris ceux qui seront installés.

35. Le système de facturation utilisé par les services publics pour leurs clients résidentiels, commerciaux et industriels, pose un autre défi. Certains pays appliquent un seul taux de facturation pour toutes les heures de la journée mais augmente le taux selon le panier de consommation. Un tel système peut fonctionner raisonnablement bien pour les clients résidentiels mais il pénalise les gros clients commerciaux/industriels qui exploitent des installations plus grandes et plus efficaces, tels que le refroidissement urbain si ces installations ne sont pas prises en considération.

36. L'étiquetage énergétique des unités et les programmes énergétiques représentent un pas dans la bonne direction. La plupart des pays ont des systèmes d'étiquetage énergétique pour les climatiseurs et les réfrigérateurs domestiques. Les tests et le processus de vérification pour s'assurer que les niveaux indiqués sont exacts et ont été vérifiés constituent, en général, un des défis de l'étiquetage énergétique et du respect des normes énergétiques. **De plus amples informations sur l'étiquetage énergétique et les politiques de normes énergétiques sont présentées dans la Section 4 du rapport du groupe de travail du GETE, puisqu'elles n'entrent pas directement dans la portée de cette décision, les informations concernant la politique d'EE et l'étiquetage ne sont pas incluses dans le présent document.**

III. INTERVENTIONS TECHNIQUES ASSOCIEES AU MAINTIEN ET/OU À L'AMELIORATION DE L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE

37. Pour refroidir ou chauffer, les équipements et les systèmes de climatisation, de réfrigération et les pompes thermiques consomment de l'énergie, à savoir de l'électricité, dans la plupart des cas. La quantité d'énergie consommée par une unité dépend du volume de la charge de refroidissement/chauffage à fournir (la quantité du service de refroidissement ou de chauffage) et de l'énergie nécessaire pour fournir

ce service. Un système ou une unité avec une meilleure EE fournira la même quantité de service pour une consommation d'énergie moins élevée.¹⁶

38. Le meilleur moment pour apporter des améliorations à l'EE d'un équipement, c'est au stade de la conception et de la fabrication. Le concepteur peut intégrer des fonctions éco-énergétiques appropriées qui présenteront des avantages multiples, incluant :

- (a) Une réduction des émissions de GES liées à l'énergie pour toute la durée de vie de l'équipement ;
- (b) Une réduction des coûts énergétiques, offrant de bons avantages financiers pour l'utilisateur final ; et
- (c) Une réduction de la demande d'électricité durant les périodes de pointe, ce qui présente des avantages financiers potentiels, en réduisant les besoins de production et de capacité de distribution qui se traduisent par des investissements plus faibles, des coûts de combustible et d'exploitation moins élevés pour les producteurs d'électricité.

39. L'application d'une démarche intégrée rigoureuse dans la conception et la sélection des équipements de réfrigération, de climatisation et des pompes thermiques, permet de maximiser les opportunités d'améliorations de l'EE. Une telle démarche inclut :

- (a) L'assurance de minimiser les charges de refroidissement/chauffage¹⁷ ;
- (b) La sélection du frigorigène approprié ;
- (c) L'utilisation de composantes et d'un concept de système à haute efficacité ;
- (d) L'assurance de l'optimisation du contrôle et du fonctionnement dans toutes les conditions habituelles d'exploitation ; et
- (e) Des caractéristiques de conception qui faciliteront l'entretien et la maintenance.

40. Chacune de ces cinq exigences est discutée dans les paragraphes suivants.

L'assurance de minimiser les charges de refroidissement/chauffage

41. L'élimination ou la réduction des charges peut considérablement réduire la consommation d'énergie, tout en continuant de fournir le niveau de chauffage ou la capacité de refroidissement souhaités. Voici quelques exemples de mesures de réduction de la charge :

- (a) Caractéristiques de conception de l'édifice qui réduisent les gains de chaleur en été (par ex. protection solaire, matériaux de toiture réfléchissants, emplacement des fenêtres, isolation) ;
- (b) Installer des portes sur les comptoirs réfrigérés de vente au détail ;

¹⁶ L'Agence internationale de l'énergie (AIE) définit l'EE comme un moyen de gérer et de restreindre la croissance de la consommation d'énergie. Un équipement est plus éco-énergétique s'il fournit davantage de services pour le même apport énergétique ou bien s'il fournit les mêmes services pour un apport énergétique moindre.

¹⁷ Ce qui pourrait être directement relié à la conception et la sélection d'un équipement plus éco-énergétique mais il faudrait aussi en tenir compte dans une démarche intégrée en raison de son importance pour la réduction globale de la consommation d'énergie.

- (c) Pré-refroidir des produits chauds avant la réfrigération (par ex. dans une usine de produits alimentaires, utiliser l'eau de la tour de refroidissement pour pré-refroidir un produit cuit) ;
- (d) Réduire la chaleur produite par des équipements électriques auxiliaires, tels que des ventilateurs d'évaporation, des pompes d'eau glacée, l'éclairage ; et
- (e) Réduire la charge thermique d'un entrepôt frigorifique, en améliorant l'isolation et en prévenant l'entrée d'air chaud par les portes ouvertes.¹⁸

42. La réduction des charges peut exiger un investissement supplémentaire, par ex. l'ajout d'isolation, l'orientation de l'édifice pour la protection solaire ou l'ajout d'une porte sur un comptoir de vente au détail. Toutefois, la réduction de la charge de refroidissement peut aussi générer des économies de coûts d'investissements, dues par ex. à des systèmes de réfrigération de plus petite taille et à un taux d'interconnexion électrique réduit¹⁹.

Sélection du frigorigène approprié

43. La sélection du frigorigène est un compromis entre les bienfaits environnementaux, la sécurité, l'efficacité du cycle thermodynamique, la conception et la fiabilité du système, et le coût. L'impact du choix de frigorigène sur l'EE des unités est en règle générale relativement faible, variant de +/- 5 à 10 pour cent. Les concepteurs devraient sélectionner le meilleur frigorigène dans une perspective d'efficacité mais ils devraient aussi tenir des nombreux autres enjeux de la conception. Il importe aussi de noter que les technologies présentant des opportunités d'amélioration de l'EE disponibles pour les frigorigènes à PRG élevé pourraient éventuellement s'appliquer à des frigorigènes à faible PRG.²⁰

44. Une analyse thermodynamique simplifiée démontre l'impact relatif de différents frigorigènes sur l'EE de l'unité, ce qui peut aider les concepteurs à dresser une "courte liste" d'options. Pour une application donnée, il y aura un nombre limité de frigorigènes qui vont probablement se situer à + ou - 5 pour cent du(des) frigorigène(s) de référence, en termes de rendement énergétique. Une analyse thermodynamique fournit un point de départ utile mais il est essentiel d'étudier le rendement en situation réelle qui dépend de la manière dont le frigorigène interagit avec les différentes composantes du système, notamment le compresseur et les échangeurs de chaleur. Ceci peut être illustré par la comparaison du HCFC-22 et du R-410A pour une utilisation dans des petits climatiseurs individuels. Une analyse thermodynamique démontre les avantages du HCFC-22 en termes d'efficacité mais l'équipement le plus efficace disponible actuellement sur le marché utilise le R-410A. Ceci reflète la décision des fabricants d'équipements de cesser la recherche et le développement en vue d'améliorer l'équipement à base de HCFC-22 après le commencement de l'élimination des HCFC dans le cadre du Protocole de Montréal. L'équipement moderne à base de R-410A comporte un certain nombre d'innovations en termes d'efficacité qui ne sont pas disponibles avec le HCFC-22, ce qui augmente l'efficacité du R-410A. Une analyse thermodynamique du HFC-32 révèle qu'il présente un avantage d'environ 5 pour cent par rapport au R-410A pour les climatiseurs de petits édifices.

45. Par comparaison avec le HCFC-22, une analyse du cycle thermodynamique du propane (R-290) révèle une perte du coefficient de performance (COP) de -2 à 0 pour cent, selon la température d'évaporation. Toutefois, la capacité volumétrique pour le R-290 est constamment inférieure d'environ 14 pour cent à celle du HCFC-22. Des tests avec du R-290 utilisé dans des équipements à base de HCFC-22 ont révélé une amélioration du COP de 7 pour cent et une réduction de la capacité de 8 pour

¹⁸ Réduction de la taille. Par exemple, on ne devrait pas choisir un réfrigérateur domestique plus grand que nécessaire ou encore un entrepôt frigorifique ne devrait pas être plus vaste que nécessaire.

¹⁹ On constate souvent une réduction de coûts avec une charge de refroidissement réduite.

²⁰ Les technologies qui entraînent des améliorations de l'EE sont généralement applicables à des frigorigènes à faible PRG.

cent par rapport au HCFC-22, dans des conditions standard. Ceci est attribuable principalement aux propriétés de transport améliorées du R-290, par rapport au HCFC-22. Avec une optimisation technique, les solutions de remplacement du HCFC-22 telles que le R-290, peuvent égaler, voire dépasser, la performance des unités existantes au HCFC-22, avec une augmentation d'efficacité pouvant aller jusqu'à 10 pour cent.

46. Le programme AREP²¹ du AHRI a livré 67 rapports d'évaluation des frigorigènes de remplacement et une étude sur l'évaluation des risques associés à l'utilisation de frigorigènes A2L. Le rendement des frigorigènes de remplacement variait beaucoup selon le type d'étude (substitution ou légère optimisation), l'équipement et le frigorigène de référence. Dans l'ensemble, les solutions de remplacement du HCFC-22 présentaient des résultats similaires pour la performance de capacité, avec une marge de + ou = 10 pour cent, mais l'efficacité variait de -20 à -5 pour cent par rapport au HCFC-22 de référence. Les solutions de remplacement à base de R-410A présentaient une capacité et une efficacité variant de + ou - 15 pour cent et les solutions de remplacement à base R-404A affichaient une capacité variant de -20 à - 5 pour cent et une amélioration de l'efficacité pouvant aller jusqu'à 10 pour cent.

47. Les études du ministère de l'Énergie des États-Unis (US DOE) se sont concentrées sur les climatiseurs à deux blocs et monoblocs et ont poussé l'évaluation jusqu'à des conditions ambiantes de 55° C. L'étude a démontré que les solutions de remplacement fluorées du HCFC-22 entraînaient une perte de capacité de 3 à 14 pour cent et une perte d'efficacité de 11 à 16 dans des conditions d'évaluation à 35° C et une perte de capacité de 3 à 14 pour cent et une perte d'efficacité de 7 à 15 pour cent, à 55° C. Toutefois, le R-290 affichait une perte de capacité de 7 pour cent et une amélioration de l'efficacité de 11 pour cent à 35° C et une perte de capacité de 10 pour cent et une amélioration de l'efficacité de 8 pour cent à 55° C. Les solutions de remplacement à base de R-410A présentaient des différences de capacité variant de -14 à 5 pour cent à 35° C et de -3 à 13 pour cent à 55° C et des différences d'efficacité variant de + ou - 5 pour cent à 35° C et allant jusqu'à 6 pour cent à 55° C.

48. Les recherches se sont concentrées jusqu'à présent sur la performance des frigorigènes de remplacement à faible PRG, par rapport aux SAO utilisées actuellement et aux technologies à base de HFC et à PRG élevé. Les études ont utilisé les produits disponibles avec une "légère optimisation" de la charge et des dispositifs de détente. Il faut mener d'autres recherches pour étudier l'impact d'une pleine optimisation dans des produits nouveaux utilisant des solutions de remplacement à faible PRG, avec des modifications des compresseurs, des échangeurs de chaleur et des autres composants.

49. Dans le cas des équipements de climatisation, les frigorigènes des classes d'inflammabilité A2L et A3 ont connu des défis et les pays doivent les inclure dans leurs réglementations locales²². Le HFC-32 et le R-290 sont disponibles auprès de plusieurs fournisseurs à travers le monde entier. La demande pour le R-290 est plus ou moins stable et elle est couverte par la production actuelle. Il en va de même pour le HFC-32 bien qu'il ait enregistré une augmentation de sa demande récemment. Toutefois, la demande pour ces deux frigorigènes reste faible par rapport au R410A.

50. Les frigorigènes utilisés dans la réfrigération commerciale étaient limités au HCFC-22, au R-404A et au HFC-134a. Cette situation change avec l'introduction d'unités au CO₂ à base d'hydrocarbure (R-600a ou R-290) et de mélanges de HFO (à base de HFO-1234yf) dans de nombreux pays.²³

²¹ AREP = Alternative Refrigerants Evaluation Program (Programme d'évaluation des frigorigènes de remplacement)

²² Les frigorigènes de classe A2L sont peu inflammables (par ex. le HFC-32). Dans la classe A3, on retrouve des frigorigènes hautement inflammables, tels que les hydrocarbures (par ex. HC-290, HC-600a) ; les frigorigènes de la classe A2 ont une inflammabilité qui se situe entre A2L et A3 mais leur disponibilité est encore limitée.

²³ L'utilisation de frigorigènes à base de HFC est aussi signalée dans la réfrigération commerciale en très petites quantités.

Utilisation de composantes et d'un concept de système à haute efficacité pour assurer l'optimisation du contrôle et du fonctionnement

51. La compression de vapeur dans les équipements de réfrigération, de climatisation et les pompes thermiques comprend un certain nombre de composantes primaires (par ex. l'évaporateur, le condenseur, le compresseur, le détendeur, le frigorigène) et de composantes secondaires (par ex. les ventilateurs, les pompes et les tours de refroidissement). Pour maximiser l'EE, il importe de : sélectionner un "concept de système" approprié qui définit l'arrangement général du système et les températures de fonctionnement ; et aussi de sélectionner les composantes individuelles qui peuvent contribuer à l'efficacité du système. Les contrôles peuvent être traités comme une autre composante d'un système de réfrigération, de climatisation ou de pompes thermiques mais il est utile pour le concepteur de traiter le contrôle et le fonctionnement du système comme une question distincte. En termes de coûts, en règle générale, on peut dire que les technologies de contrôle efficaces offrent une stratégie d'EE rentable.

52. L'équipement est conçu pour atteindre un point de service nominal qui correspond à la charge de refroidissement de pointe dans les plus chaudes conditions ambiantes anticipées.²⁴ Ce point de service peut être considéré comme le "pire scénario" de charge. En réalité, la plupart des systèmes passent quelques heures par année seulement près de ce point de service. La plupart du temps, la charge de refroidissement est inférieure lorsque le temps est plus frais. Dans un système bien contrôlé, l'EE devrait s'améliorer dans des conditions qui s'éloignent du point de service. Par exemple, par temps frais, la température de condensation devrait chuter, offrant une augmentation d'efficacité potentiellement importante ; dans un système mal contrôlé, ces améliorations ne se présentent pas et l'efficacité peut se dégrader davantage puisque les compresseurs fonctionnent à capacité de charge partielle.

53. Les exemples suivants peuvent illustrer les améliorations de l'EE liées à la conception des systèmes, aux composantes et à l'optimisation des contrôles :

- (a) Refroidissement à un niveau de température approprié : Pour maximiser l'efficacité, les systèmes de réfrigération, climatisation et les pompes thermiques devraient fournir du refroidissement au niveau de température maximale possible. Une augmentation de la température d'évaporation d'1° C seulement peut améliorer l'efficacité de 2 à 4 pour cent. Un concept courant consiste à regrouper plusieurs charges de refroidissement dans un système de refroidissement bien que la température requise soit différente pour chaque charge. La température d'évaporation doit s'adapter à la charge la plus froide – ce qui signifie que les charges plus chaudes sont refroidies inefficacement. Un concept de système qui sépare les charges à différentes températures peut s'avérer nettement plus efficace mais il y a un coût additionnel pour des systèmes multiples. Un autre exemple, c'est le choix de la température de l'eau refroidie dans un système de climatisation – l'utilisation d'une température plus élevée donne une meilleure efficacité pour la même charge de refroidissement ;²⁵
- (b) Compresseur : Les concepteurs de système envisagent le nombre optimal de compresseurs pour s'adapter à une charge donnée. Pour les très petits systèmes, il y a toujours un compresseur. Toutefois, pour de plus grands systèmes, il peut s'avérer plus efficace de choisir plusieurs petits compresseurs plutôt qu'un gros, avec un compromis à faire entre le coût d'investissement supplémentaire et les économies d'énergie qui résulteront. C'est particulièrement important pour maintenir une efficacité élevée dans des conditions de fonctionnement à charge partielle. Le compresseur a besoin d'être optimisé pour le frigorigène choisi et la gamme anticipée des conditions de

²⁴ Les équipements sont aussi conçus autour du point de service nominal qui inclut le point de fonctionnement avec une efficacité maximale.

²⁵ Ceci pourrait exiger un échangeur de chaleur plus grand et plus coûteux.

fonctionnement (en termes de températures d'évaporation et de condensation). La différence d'efficacité peut atteindre 20 pour cent entre deux compresseurs de taille et de coût similaires. Une bonne sélection peut fournir une bonne amélioration de l'efficacité pour un coût supplémentaire nul ou minime. Lorsqu'une charge de refroidissement chute, par ex. à cause d'un changement des conditions ambiantes, le compresseur doit fonctionner à charge partielle quand la charge devient inférieure au point de service nominal du système. Sur de petits systèmes, cela se fait à l'aide d'une commande marche-arrêt et sur les plus grands systèmes, avec des ajusteurs de charge du compresseur, tels que le déchargement du cylindre pour les compresseurs alternatifs ou les tiroirs de variation de puissance pour les compresseurs à vis. Ce sont des manières très inefficaces de fournir un contrôle à charge partielle. De récents progrès dans les entraînements à vitesse variable (par ex. l'inverseur) permettent l'utilisation de compresseurs à vitesse variable qui peuvent souvent offrir une amélioration de l'efficacité supérieure à 25 pour cent.

- (c) Sélection de l'échangeur de chaleur : Le concepteur devrait sélectionner des échangeurs de chaleur avec la plus basse différence de température pratique pour optimiser la température d'évaporation (qui devrait être aussi haute que possible) et la température de condensation (qui devrait être la plus basse possible).²⁶ Des échangeurs de chaleur de type tube et ailette, avec des tubes de diamètre plus petit, ont été introduits afin d'améliorer le taux de transfert thermique et l'EE bien que le concepteur doive aussi tenir compte de l'impact des gouttes à pression plus élevée. Ceci peut réduire le volume interne de l'échangeur de chaleur, permettant ainsi de réduire la quantité de frigorigène requise. Des échangeurs thermiques à micro-canaux ont également été développés et ils offrent une autre option de conception.
- (d) Régulateur de pression du condenseur : De nombreux systèmes de réfrigération, de climatisation et de pompes thermiques disposent de "régulateur de pression de refoulement" qui empêche la pression du condenseur de flotter vers le bas par temps froid. L'utilisation de tels régulateurs peut être éliminée ou minimisée par une amélioration de la conception. Par exemple, l'utilisation d'un détendeur électronique au lieu d'un détendeur thermostatique permet de réduire considérablement les paramètres du régulateur de pression de refoulement. Des économies d'énergie d'environ 20 pour cent sont possibles.
- (e) Contrôle des pompes et des ventilateurs auxiliaires : De nombreux systèmes utilisent des ventilateurs pour faire circuler l'air qui est refroidi ou des pompes pour faire circuler l'eau refroidie. Traditionnellement, il s'agissait d'appareils à vitesse fixe, conçus pour s'adapter à la charge de service nominale. Les charges auxiliaires du côté froid d'un système de réfrigération et de climatisation sont "payées deux fois" car en plus de faire fonctionner la pompe ou le ventilateur, elles créent une charge thermique supplémentaire qui doit être évacuée par le système de réfrigération. A charge partielle, ces charges auxiliaires peuvent représenter une part disproportionnée de la consommation totale d'électricité. En utilisant des entraînements à vitesse variable, il est possible de ralentir les ventilateurs et les pompes à charge partielle.
- (f) Autre modification de l'équipement, de l'éclairage et conception revue pour un fonctionnement éco-énergétique : D'autres interventions qui entraîneraient une réduction de la charge thermique et un fonctionnement efficace de l'équipement incluent l'utilisation de verre antibuée, d'ampoules à plus faible charge thermique telles

²⁶ La sélection de l'échangeur de chaleur est presque toujours un processus de sélection techno-économique. Plus l'échangeur de chaleur choisi est grand, plus l'impact sur l'efficacité sera élevé.

que des ampoules LED, l'amélioration de la circulation de l'air dans l'équipement, d'autres interventions visant à minimiser la charge thermique (par ex. portes d'armoire, rideaux de nuit et couvertures) et le contrôle des fuites.

54. Le rapport du GETE fournit de l'information sur l'évolution du marché pour les compresseurs et autres composantes des climatiseurs et des équipements de réfrigération commerciale autonomes, sur la disponibilité, le coût et l'impact en matière d'EE et sur l'application à la région climatique pour différentes composantes liées à l'EE pour des frigorigènes à PRG faible et moyen, utilisés dans ces équipements. Cette information est fournie dans les Annexes III, IV et V respectivement.

Le Tableau 1 résume les améliorations d'efficacité pour une gamme d'améliorations de la conception des composantes, par rapport à un "cas de base" représenté par une norme minimale de rendement énergétique européenne.

Tableau 1. Options d'amélioration de l'efficacité et économies d'énergie correspondantes selon des conditions européennes

| Option | Description | Amélioration par rapport au cas de base (%) [*] | |
|-------------------------------|--|--|-----|
| | | Min | Max |
| Charge en mode veille | Charges réduites en mode veille ²⁷ | 2 | 2 |
| Compresseurs efficaces | Compresseurs rotatifs à deux étages, compresseurs à spirale de haute efficacité, avec des moteurs CC ^{**} | 6 | 19 |
| Inverseur/vitesse variable | Compresseurs CA ^{***} , CA/CC ou CC avec inverseur | 20 | ≥25 |
| Échangeur de chaleur efficace | Échangeurs de chaleur à micro-canaux de haute efficacité, échangeurs de chaleur de plus grande taille | 9 | 29 |
| Détendeur | Détendeurs thermostatiques et électroniques | 5 | 9 |
| Chauffage du carter | Puissance et durée de chauffage du carter réduites | 9 | 11 |

(*) L'amélioration cumulative de l'efficacité de multiples mesures ne sera pas la somme de toutes les composantes individuelles.

(**) CC: courant continu

(***) CA: courant alternatif

Caractéristiques de conception qui faciliteront l'entretien et la maintenance

55. Lorsqu'un nouvel équipement est envisagé, le concepteur devrait tenir compte de l'entretien et de la maintenance et prévoir des caractéristiques qui contribueront à assurer une bonne EE tout au long de la vie de l'équipement. L'entretien et la maintenance adéquats commencent par l'installation et la mise en service adéquates de l'équipement. Une installation et des pratiques de démarrage médiocres peuvent considérablement réduire l'EE de l'équipement et ces pertes ne pourront être récupérées durant la vie de l'équipement. De bons systèmes de suivi et de contrôle peuvent aider l'opérateur de l'installation ou le technicien de maintenance à vérifier la performance et corriger tout gaspillage d'énergie. Il est toujours préférable d'inclure des compteurs et des capteurs dans un nouveau système plutôt que de les ajouter ultérieurement.

Considérations pour les températures ambiantes élevées

56. Un environnement à température ambiante élevée impose une série supplémentaire de défis pour la sélection des frigorigènes, la conception du système et les opportunités d'amélioration potentielle de l'EE. Les considérations relatives à la conception du système pour maintenir l'EE à des températures

²⁷ L'électricité est utilisée seulement pour activer les éléments de contrôle nécessaire, en attendant de fournir le service du système et généralement son niveau n'est pas influencé par la charge de refroidissement, quelque elle soit.

ambiantes élevées sont affectées par le choix du frigorigène, à cause des propriétés thermodynamiques, des exigences de sécurité dues à l'augmentation de la charge, par la disponibilité des composantes et le coût. La recherche effectuée jusqu'à présent dans des conditions de température ambiante élevée a révélé la viabilité de certaines solutions de remplacement à faible PRG qui, en termes d'EE donnent des résultats comparables aux technologies existantes. De plus amples recherches financées par le secteur public ainsi que des initiatives du secteur privé optimisent la conception pour parvenir à une efficacité maximale dans ces conditions difficiles.

57. Un des moyens les plus efficaces pour améliorer l'EE dans des conditions de température ambiante élevée est d'augmenter la taille du condenseur. Toutefois, cette mesure entraîne une augmentation de la charge de frigorigène et du coût du système. Il faut examiner l'impact de la transition sur l'inflammabilité, la toxicité, et les pressions opérationnelles. Les organismes responsables de l'élaboration des normes et des codes travaillent à l'adoption améliorée de la nouvelle génération de frigorigènes de remplacement à faible PRG. Le Tableau 2 suivant résume les diverses considérations sur l'effet des températures ambiantes élevées sur l'EE.

58. Les dispositifs à vitesse variable améliorent aussi l'EE dans des conditions de température ambiante élevée par rapport aux compresseurs de type "marche/arrêt". Ces dispositifs présentent les plus grands avantages lors de changements de température importants en l'espace de 24 heures. Toutefois même avec des changements de température faibles, des économies substantielles peuvent être réalisées en intersaisons (printemps et automne). Une caractéristique de ces dispositifs est leur adhérence plus étroite à la courbe quotidienne de charge/demande de refroidissement dans l'édifice, ce qui engendre des économies par rapport à l'approche par étape des compresseurs de type "marche/arrêt".

59. La discussion sur les frigorigènes plus appropriés dans des conditions de température ambiante élevée a mené à plusieurs projets expérimentaux à grande échelle dans lesquels des prototypes utilisant des frigorigènes à PRG faible et moyen ont été fabriqués et testés dans des températures ambiantes supérieures à 35°C. Ces tests ont permis d'identifier plusieurs frigorigènes d'efficacité comparable dans des conditions de température ambiante élevée. PRAHA, un projet financé dans le cadre du Fonds multilatéral, va, dans sa deuxième phase (PRAHA-II) re-tester les unités optimisées qui utilisent des compresseurs et des échangeurs thermiques efficaces, reconstruits à partir des prototypes originaux.

60. Les conditions de température ambiante élevée ne posent généralement pas de problème pour les équipements de réfrigération commerciale autonomes qui sont souvent placés à l'intérieur de magasins climatisés. Toutefois, dans les pays en développement ces équipements sont parfois placés à l'extérieur pour éviter une charge thermique additionnelle à l'intérieur de l'édifice, ce qui affectera le rendement. Les leaders de l'industrie ont constaté que dans des conditions de température ambiante élevée, la température ambiante intérieure est supérieure d'environ 5°C à la température ambiante intérieure dans des conditions de température ambiante normale (données Topten non publiées). Toutefois, cette augmentation de la température n'est pas suffisante pour avoir un effet sur l'EE du produit.

61. Le tableau ci-dessous résume les diverses considérations sur l'effet des températures ambiantes élevées sur l'EE.

Tableau 1. Diverses considérations sur l'effet des températures ambiantes élevées sur l'EE

| Considération | Description | Effet de la température ambiante élevée | Mesures spéciales |
|--------------------------|--|--|----------------------|
| Sélection du frigorigène | Propriétés thermodynamiques et caractéristiques d'inflammabilité | Proximité de la température critique réduit l'efficacité Limite de volume important de la charge de frigorigène | Choix du frigorigène |

| Considération | Description | Effet de la température ambiante élevée | Mesures spéciales |
|-----------------------|--|--|---|
| Conception du système | Charges de refroidissement, températures de condensation et pressions | Des charges de refroidissement plus importantes entraînent des équipements plus gros Températures de condensation et pressions plus élevées | Tester le système (pression d'éclatement, étanchéité, fonctionnement) pour tenir compte de la pression opérationnelle plus élevée tout en maintenant l'efficacité |
| Fabrication | La conception et la construction doivent tenir compte de la pression plus élevée | Une conception et des composantes spécifiques sont nécessaires pour atteindre les normes d'EE dans des conditions de température ambiante élevée | Les fabricants locaux doivent continuellement améliorer la conception et les capacités de fabrication |
| Entretien | Pratiques d'entretien à des températures et avec des pressions plus élevées | Risque de panne du système et perte d'efficacité | Formation du technicien |
| Sécurité | Codes | Volumes de frigorigènes par espace occupé, en raison des charges thermiques plus élevées. Limites dues à l'augmentation de la charge | Évaluation des risques |

Défis de l'adoption des technologies éco-énergétiques

62. Il existe déjà un plus grand nombre d'équipements et de systèmes plus éco-énergétiques dans les secteurs de la réfrigération, de la climatisation et des pompes thermiques. À titre d'exemple, une étude sur l'efficacité de différents modèles de climatiseurs a constaté que les meilleurs modèles de climatiseurs disponibles étaient deux à trois fois plus efficaces que les modèles moyens sur le marché mondial. Ceci démontre qu'il existe un potentiel majeur pour des économies d'énergie importantes, en utilisant des équipements déjà disponibles sur le marché dans les secteurs de la réfrigération, de la climatisation et des pompes thermiques. Des normes plus ambitieuses, l'étiquetage et autres types de politiques de transformation des marchés (par ex. des mesures incitatives, l'approvisionnement ou des récompenses) pourraient réduire les besoins énergétiques des pays dans lesquels l'énergie est déjà chère.

63. Les produits à haute efficacité présentent, en règle générale mais pas toujours, un coût initial plus élevé par rapport aux produits à faible efficacité. Ceci est attribuable en partie au fait que les modèles à haute efficacité sont souvent vendus comme des produits supérieurs, avec d'autres caractéristiques non reliées à l'énergie²⁸. Les produits de haute efficacité tendent aussi à avoir une gamme de prix du marché plus large que les produits à faible efficacité. L'introduction de normes d'efficacité trop strictes pourrait involontairement faire augmenter les prix, si elle n'est pas faite avec soin, souvent avec des changements progressifs convenus avec les fabricants de climatiseurs. Afin de minimiser les effets néfastes de mesures au niveau du marché, telles que les normes minimales de rendement énergétique, ces mesures devraient être conçues dans une perspective à long terme et avec un échéancier qui correspond au rythme des développements technologiques et des cycles d'investissement dans le secteur correspondant.

64. Les obstacles à l'adoption de mesures d'EE sont de plusieurs ordres : techniques, financiers, reliés au marché, reliés à l'information, institutionnels et réglementaires, reliés aux compétences d'entretien, et autres. Le Tableau 2 présente ces obstacles et les mesures d'atténuation.

²⁸ Un aspect important du coût des produits de haute efficacité est relié au coût élevé des composantes.

Tableau 2. Défis de l'adoption des technologies éco-énergétiques et comment les éliminer

| Obstacles | Description | Mesure d'atténuation | Mise en œuvre (années) |
|------------------------------|--|--|------------------------|
| Technique | Des tests des installations pour évaluer, mesurer et vérifier l'EE ne seront peut-être pas disponibles du tout ou il y aura un manque de ressources ou de capacité suffisantes pour répondre à la demande. Les fabricants locaux peuvent manquer de capacité technique pour fabriquer de l'équipement de haute efficacité. La propriété intellectuelle peut faire obstacle à la fabrication de composantes à haute efficacité. | Installation d'équipements de test appropriés Formation et renforcement des capacités chez les fabricants locaux Transfert technologique de la propriété intellectuelle ou conception de programmes conjoints/de projets collaboratifs de recherche et développement | 1-3 |
| Financier | L'équipement de haute efficacité coûte généralement plus cher à produire qu'un équipement moins efficace. Les composantes d'efficacité sont souvent combinées à d'autres caractéristiques et vendues à un prix supérieur. ²⁹ Le coût de la disponibilité du financement joue un rôle important | Un financement à faible coût, des programmes de rabais pour l'électricité, des programmes d'approvisionnement en vrac, des clubs d'acheteurs et autres types de programmes d'approvisionnement | 1-2 |
| Relié au marché | Les acheteurs de l'équipement n'en sont pas toujours les utilisateurs, par ex. dans les logements locatifs. Ceci peut être un obstacle à l'achat d'équipement de haute efficacité car l'acheteur ne bénéficie pas de la mesure incitative | Des mesures incitatives pour les acheteurs d'équipement efficace | 0,5-1 |
| Relié à l'information | L'information sur la disponibilité ou les avantages de l'équipement de haute efficacité n'est pas toujours disponible pour l'utilisateur final. Les indicateurs d'EE peuvent être trop techniques ou difficiles à comprendre. Ce type d'obstacle peut être éliminé, en partie, par des systèmes d'étiquetage obligatoire ou volontaire, des cotes Energie Star ou autres types de programmes d'éducation et de sensibilisation | Programmes d'étiquetage obligatoire ou volontaire sur l'EE, campagnes de sensibilisation et d'éducation | 0,5-1 |
| Institutionnel/réglementaire | Il peut y avoir absence de législation sur l'EE, un cadre réglementaire faible ou inexistant, des normes faibles ou inapplicables ou absence de capacité technique pour faire appliquer les activités liées à l'EE, telles que des normes ou un étiquetage | Promulgation de la législation appropriée et des cadres réglementaires, conception de mesures d'évaluation et de mécanismes de vérification appropriés, renforcement des capacités des responsables de la réglementation et des politiques, harmonisation avec les Normes minimales de rendement énergétique | 2-4 |

²⁹La recherche a démontré qu'à la longue, et avec l'augmentation de la production, les prix de l'équipement plus éco-énergétique ont baissé sur la plupart des marchés. Toutefois, en tout temps, l'équipement plus éco-énergétique aura encore tendance à être vendu à un prix supérieur, même si le marché, dans son ensemble, évolue vers une efficacité plus élevée.

| Obstacles | Description | Mesure d'atténuation | Mise en œuvre (années) |
|------------------------------------|--|--|------------------------|
| Relié aux compétences en entretien | Les équipements de haute efficacité peuvent requérir l'utilisation de la technologie la plus récente qui exige de nouvelles compétences chez les techniciens. En cas d'écart entre les compétences requises pour l'équipement sélectionné et celles du fournisseur de l'entretien, l'équipement de haute efficacité pourrait peut-être ne pas être utilisé | Programmes de formation pour les techniciens d'entretien | 1-3 |
| Autres | Il peut exister de fausses perceptions sur les produits de haute efficacité, à savoir qu'ils puissent souffrir en termes de critères de qualité et/ou de maintenance ou autres critères de performance ³⁰ | Programmes de sensibilisation et d'éducation sur les avantages de l'équipement de haute efficacité, incluant les périodes de remboursement | 0.5-1 |

IV. COUTS, INCLUANT LES SURCOUTS ASSOCIES, LES POSSIBILITES DE REMBOURSEMENT ET LES COUTS DU SUIVI ET DE LA VERIFICATION

65. Les avantages économiques de l'amélioration de l'EE sont bien documentés et varient selon le type d'équipement, l'application, les conditions météorologiques, le temps et les facteurs locaux, tels que les taux de rabais, les heures d'utilisation, les prix de l'électricité, les pertes de transmission et de distribution.³¹

66. Les avantages de l'amélioration de l'EE les plus souvent cités sont les économies en termes d'énergie, de coûts, de réductions des GES et, pour la climatisation, la réduction de la charge en période de pointe. La transition vers des frigorigènes à faible PRG contribuerait à augmenter ces économies.³²

67. En outre, il y a aussi l'évitement de la morbidité et de la mortalité dues à la pauvreté énergétique, la diminution des journées de maladie, l'amélioration du confort, la réduction de la pollution (SO_x, NO_x et particules) et les émissions évitées de CO₂. On estime que ces avantages connexes peuvent ajouter 75 à 350 pour cent supplémentaires aux avantages directs des économies d'énergie liées à l'EE.³³

Méthodes de calcul des coûts d'investissement et d'exploitation

68. Plusieurs parties ont instauré des programmes de transformation du marché pour promouvoir l'EE, incluant les Normes minimales de rendement énergétique et les programmes d'étiquetage. Par exemple, le "US DOE's Appliance and Equipment Standards Program" et les études préparatoires pour la directive de l'Union européenne sur l'éco-conception utilisent une analyse technique "ascendante" qui repose sur la collecte de données, des tests, la modélisation de l'équipement le plus efficace pour identifier le coût réel de fabrication (par opposition au coût de vente au détail) de l'amélioration d'efficacité. Cette approche "ascendante" utilise généralement un logiciel de conception d'équipement

³⁰ "Fiabilité non prouvée" car ces produits sont nouveaux sur le marché ; les installateurs, les clients, etc. peuvent être réticents à appliquer la nouvelle technologie.

³¹ L'"US Energy Information Administration" a estimé que le coût moyen de construction de nouveaux générateurs en 2016 était d'environ 2 000 \$US/kW de capacité, soit plus de 2 milliards \$US pour une nouvelle centrale électrique, en incluant les coûts de financement. <https://www.eia.gov/electricity/generatorcosts/>

³² Cela peut se faire simultanément avec l'introduction de produits à EE élevée.

³³ Ürge-Vorsatz et al., 2014.

standard dans le secteur³⁴ et des données de tests sur l'équipement de haute efficacité pour identifier des options de conception pour l'équipement de haute efficacité à partir d'un "modèle de base" qui correspond à l'efficacité faible ou moyenne sur le marché en question. Ensuite, les coûts de ces options de conception de haute efficacité sont validés par des entrevues avec des experts, des fabricants et des fournisseurs de composantes pour obtenir un portrait des coûts de l'équipement de haute efficacité.

69. Cette méthode fournit un aperçu du coût de l'amélioration de l'efficacité, à un moment donné, et elle aura tendance à livrer une estimation conservatrice (c.-à-d. plus élevée) du coût de l'amélioration de l'efficacité. Dans la réalité, on constate que les prix de l'équipement de haute efficacité baissent avec le temps sur les différents marchés, au fur et à mesure que la production de masse des équipements de haute efficacité progresse. Cela vaut particulièrement pour la production de masse des petits équipements dans laquelle les fabricants absorbent rapidement les coûts de développement initiaux et tentent d'obtenir des "niveaux de prix" qui les aideront à vendre leur équipement.

70. Des processus similaires ont aussi été utilisés, à un degré moindre, pour soutenir les processus de normes d'EE dans des pays comme l'Inde et la Chine. Tandis que cette méthode peut servir généralement à évaluer les coûts pour les fabricants du maintien et/ou de l'amélioration de l'EE pour les Parties visées et non visées à l'article 5 qui disposent de la capacité de production, les coûts pour le consommateur du maintien et/ou de l'amélioration de l'EE sont vraisemblablement semblables pour toutes les Parties, avec les coûts additionnels d'expédition pour les Parties importatrices.

Collecte de données

71. En raison de la nature exclusive des activités commerciales, il existe une quantité limitée de données publiques disponibles sur les coûts d'investissement et d'exploitation pour le fabricant, attribuables aux améliorations de l'EE dans les équipements de réfrigération, de climatisation et les pompes thermiques. Par ailleurs, un coup d'œil sur les prix au détail et les degrés d'efficacité des équipements sur le marché mondial révèle de grandes variations de prix pour des équipements avec des niveaux d'efficacité similaire, démontrant ainsi que les prix au détail ne sont pas un bon indicateur du coût du maintien/de l'amélioration de l'EE des nouveaux équipements.

72. Plusieurs exemples de données recueillies pour élaborer la méthode sont présentés ci-dessous.³⁵

- (a) Les prix de détail ne suffisent pas pour comprendre le coût du maintien et/ou de l'amélioration de l'EE. La Figure 3 fournit un exemple de petits climatiseurs autonomes à vitesse variable avec une capacité de refroidissement de 3,5kW et un degré d'EE d'environ 4,5 Watt à Watt (W/W) (mesuré selon le calcul du Facteur de rendement annuel (APF)) en Chine³⁶. Les prix de détail varient d'environ 500 \$US à 2 000 \$US, soit une variation de 400 cent pour cent. L'effet de cette grande variation de prix pour un même degré d'efficacité vaut pour de multiples capacités de refroidissement, de multiples degrés d'efficacité et tant pour les climatiseurs à vitesse fixe que ceux à vitesse variable ;

³⁴ Par exemple, [Fridley et al. 2001] utilisé pour le Heat Pump Design Model, Mark V du Oak Ridge National Laboratory (ORNL), version 95d [ORNL, 1996; Fischer & Rice, 1983; Fischer et al. 1998].

³⁵ La méthode d'évaluation des coûts a été présentée dans le rapport du groupe de travail du GETE, à partir des données recueillies, telles que présentées dans le document.

³⁶ Banque IDEA de données du Lawrence Berkeley National Laboratory et banque de données de l'Institut national chinois de normalisation.

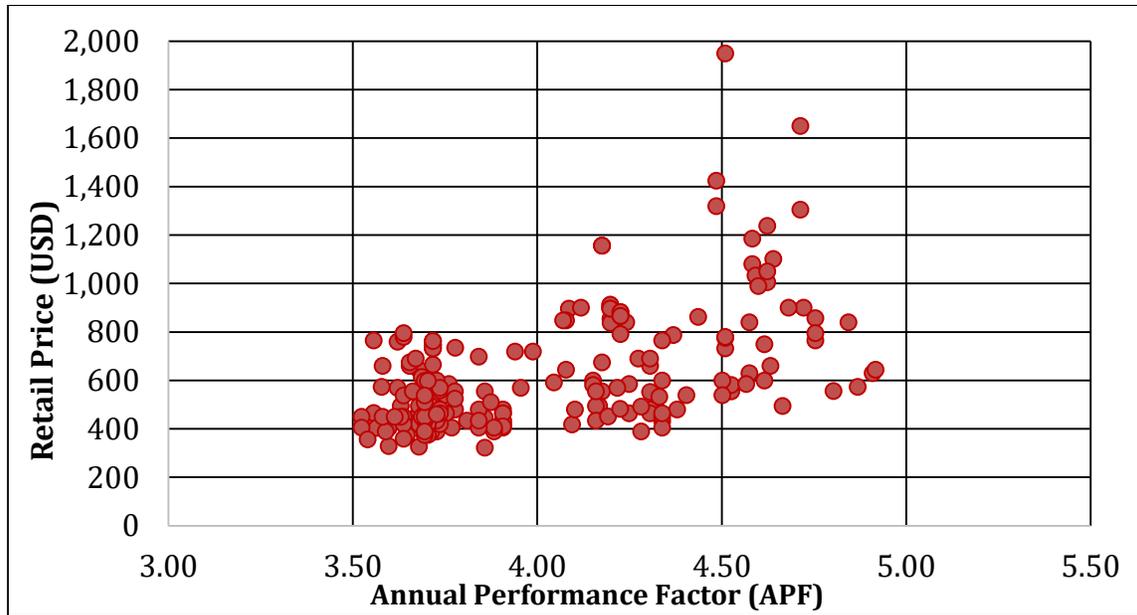


Figure 3. Prix de détail par rapport à l'efficacité pour des mini-climatiseurs à 2 blocs de 3,5kW sur le marché chinois
Source: Shah, Park and Gerke, 2017

- (b) Un survol du marché de la climatisation au Japon révèle que les climatiseurs sur le marché ont une gamme d'EE plus élevée. Tandis qu'il existe forte corrélation sous-jacente entre l'EE et le prix de l'unité, on constate encore une grande variation de prix pour un même degré d'efficacité donné. La Figure 4 décrit la corrélation entre le prix et l'EE pour tous les modèles de 3,5 kW qui utilisent le HFC-32 comme frigorigène. Le taux d'augmentation du prix est d'environ 603 \$US par point d'EE (APF).

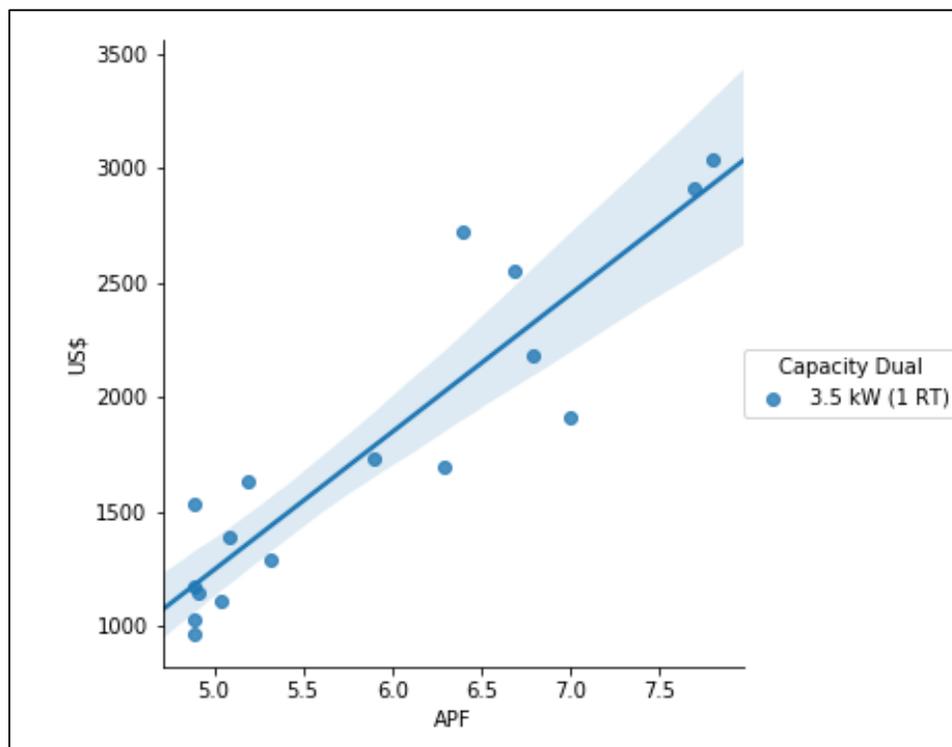


Figure 4. Aperçu des prix de détail des mini-climatiseurs à 2 blocs en fonction de l'EE dans le facteur de rendement annuel (APF), sur le marché japonais

- (c) Coûts et économies d'énergie pour les différentes options d'amélioration de l'efficacité : le Tableau 3 présente les options d'amélioration de l'efficacité des différentes composantes d'un mini-climatiseur à 2 blocs de 5,27 kW, avec les économies d'énergie anticipées, par rapport au "modèle de base" et les coûts correspondants par unité, en Inde.

Tableau 3. Options d'amélioration de l'efficacité, économies d'énergie et coûts de fabrication d'un mini-climatiseur à 2 blocs de 5,27 kW en Inde

| Technologie | Economies d'énergie (%) | Surcoût de fabrication (\$ US ³⁷) |
|---|-------------------------|---|
| Compresseurs améliorés | 5,5 – 15,0 | 1,43 – 12,27 |
| Compresseurs à vitesse variable | 21,0 – 23,0 | 25,67 - 115,54 |
| Ventilateurs et compresseurs à vitesse variable | 26,0 | 44,93 – 134,79 |
| Amélioration de l'échangeur de chaleur | 7,5 – 24,0 | 10,48 – 156,90 |
| Détendeur | 3,5 – 6,5 | 1,78 – 32,09 |

- (d) Augmentation du prix de l'efficacité avec et sans changement de frigorigène : pour une marque chinoise, l'augmentation de prix pour une amélioration de l'efficacité de 13 à 15 pour cent sur un climatiseur de 3,5 kW à vitesse variable utilisant du R-410A était d'environ 6 pour cent. Toutefois, après la modification de l'efficacité et du frigorigène (à savoir, une amélioration de 5 à 8 pour cent et le passage du R410A au HFC-32) l'augmentation de prix était d'environ 11 pour cent.

73. Le groupe de travail du GETE a évalué les coûts d'investissement additionnels requis pour la fabrication d'équipements utilisant un frigorigène inflammable, par rapport aux deux frigorigènes de référence R-410A et HCFC-22, pour des mini-climatiseurs à deux blocs d'une capacité allant jusqu'à 10 kW (refroidissement/chauffage) et par rapport au HCFC-22 (référence) pour les équipements de

³⁷ 1 US \$ = INR 70.11

réfrigération commerciale autonomes. L'information sur les évaluations des coûts additionnels de la reconversion des chaînes de production de R-410A ou de HCFC-22 à des frigorigènes inflammables, calculées par le groupe de travail du GETE est présentée dans le tableau 4 ci-dessous.

Tableau 4. Évaluations du coût additionnel maximal de la reconversion des chaînes de production de R-410A ou de HCFC-22 (PRG élevé, ininflammable) à des frigorigènes inflammables, calculées par le groupe de travail

| Élément/Description ³⁸ | Sous-élément | Coût maximal additionnel en pourcentage par rapport aux frigorigènes de référence |
|--|--|---|
| Modifications de la production/chaîne d'assemblage | Équipement d'échangeur thermique pour tubage plus petit en vue d'une meilleure EE ^{39*} | 100% |
| | Unités de charge du frigorigène | 30% |
| | Modifications de la zone de test (panneaux électriques, accessoires de tuyauterie) | 30% |
| | Modifications de la zone de charge, incluant les réservoirs de frigorigènes et accessoires | 100% |
| | Distribution du frigorigène à l'intérieur de l'usine | 100% |
| | Coûts de main d'œuvre | 15% |
| Exigences de sécurité pour la zone de charge et de test | Système de ventilation | 30% |
| | Système de contrôle | 30% |
| | Système de détection des fuites | 30% |
| | Plancher antistatique | Variable |
| | Coûts de main d'œuvre pour le fonctionnement et l'entretien du système de sécurité | Variable |
| Coûts de propriété intellectuelle/du savoir-faire | Coûts de propriété intellectuelle/du savoir faire | Variable |
| | Développement du logiciel de conception* | Variable |
| | Modifications et changements de l'installation de test | 50% |
| | Formation des employés aux exigences de sécurité | 10% |
| | Experts et consultants externes* | Variable |
| Logistique et manutention | Coûts de modification de l'espace d'entreposage pour les frigorigènes inflammables | 200% |
| | Coût d'expédition du fret par voie terrestre et maritime | Variable |
| | Distribution du frigorigène à l'intérieur de l'usine | Variable |
| | Coûts d'assurance supplémentaires pour l'usine et les employés | Variable |
| | Coût de certification pour les organismes de réglementation | 20% |
| | Formation des employés | 30% |
| | Formation pour l'entité de juridiction | 30% |
| Sensibilisation à l'intérieur/extérieur de la compagnie | 30% | |

(*) Fournit une opportunité pour l'EE (cellules surlignées).

74. Le groupe de travail du GETE fournit aussi des détails sur les modifications et/ou remplacements requis dans le processus de production pour produire des climatiseurs résidentiels, utilisant des frigorigènes inflammables. Les détails de ces coûts figurent à l'Annexe VI au présent document.

³⁸ Certains sous-éléments ne sont pas requis dans les chaînes de fabrication du frigorigène R-410A.

³⁹ L'échangeur thermique avec un tube de diamètre plus petit peut être utilisé pour les deux frigorigènes R-410A et HFC-32.

Coût et période de remboursement pour le consommateur, à différents niveaux d'efficacité

75. Le Tableau 5 présente le coût pour le cycle de vie (prix au détail, plus coût d'installation, plus coût de l'énergie pour la durée de vie de l'équipement) et la période de remboursement (période de temps durant laquelle les économies d'énergie dépassent le coût d'installation plus élevé) pour le consommateur, calculés en utilisant la méthode présentée plus haut dans un document du "US DOE" qui définit les règles⁴⁰ pour quatre niveaux d'efficacité au-delà d'un niveau de base établi pour un mini-climatiseur à 2 blocs. Avec des degrés d'efficacité plus élevés, les coûts d'installation sont plus élevés mais les coûts opérationnels sont plus faibles durant le cycle de vie. Les données impliquent qu'avec le niveau de développement technologique actuel il existe un plafond d'efficacité au-delà duquel les économies d'énergie ne rembourseront pas le coût d'installation plus élevé pendant la durée de vie de l'équipement.

Tableau 5. Coût d'installation, coût du cycle de vie et période de remboursement simple pour le consommateur, à différents degrés d'efficacité, pour des mini-climatiseurs à 2 blocs, aux États-Unis

| SEER (W/W) | Coûts moyens en 2015 (\$US) | | | Remboursement simple (années) | Durée de vie moyenne (années) |
|------------|-----------------------------|--|----------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| | Coûts d'installation | Coût d'exploitation de la durée de vie | Coût du cycle de vie | | |
| 4,1 (base) | 3 714 | 4 758 | 8 472 | N/A | 15,3 |
| 4,3 | +38 | -93 | -55 | 4,5 | 15,3 |
| 4,4 | +105 | -189 | -84 | 4,8 | 15,3 |
| 4,7 | +259 | -295 | -36 | 8,2 | 15,3 |
| 5,6 | +1,105 | -602 | +503 | 16,6 | 15,3 |

76. Le Tableau 6 présente une ventilation des coûts du cycle de vie pour des climatiseurs typiques de 5 kW, pour trois niveaux d'EE, en Inde (2 Star, 3 Star, and 5 Star), et qui constituent près de 90 pour cent de la totalité du marché. La part du frigorigène dans le coût du cycle de vie est minime (moins de 1 pour cent). Les coûts du cycle de vie pour des climatiseurs 2, 3 et 5 Star sont de 1 672 \$US, 1 704 \$US et 1 540 \$US, respectivement. Ces chiffres indiquent que le prix du système augmente quand on passe de 2 Star à 5 Star et il en résulte une économie de coût nette de 131,22 \$US pour le cycle de vie.

Tableau 6. Ventilation des coûts du cycle de vie pour un climatiseur de 5kW au R-410A en Inde, à différents niveaux d'efficacité⁴¹ (en pourcentage)

| Star | Prix du système | Prix du frigorigène | Coût d'installation | Coût énergétique pour la durée de vie |
|--------|-----------------|---------------------|---------------------|---------------------------------------|
| 2 Star | 25,9 | 0,5 | 1,3 | 72,3 |
| 3 Star | 30,9 | 0,5 | 1,3 | 67,4 |
| 5 Star | 42,8 | 0,7 | 1,4 | 55,1 |

77. Pour la catégorie d'équipements des vitrines autonomes, verticales, fermées et transparentes⁴², le Tableau 7 présente les économies de coût⁴³ sur le cycle de vie, à différents niveaux d'efficacité, en utilisant la méthode présentée ci-dessus qui provient d'un document de réglementation récent du DOE pour sept niveaux d'efficacité supérieurs à l'efficacité de référence, avec les valeurs correspondantes annuelles estimées de la consommation énergétique. Les niveaux d'efficacité les plus élevés ont des coûts d'installation plus élevés mais des coûts opérationnels plus bas pour la durée du cycle de vie. Ces données impliquent qu'au niveau du développement de la technologie durant la période d'établissement

⁴⁰ <https://www.regulations.gov/document?D=EERE-2014-BT-STD-0048-0098>

⁴¹ Figure 2.15 du rapport du groupe de travail du GETE, demandé dans la Décision XXIX/10, convertie en tableau.

⁴² C'est une des 49 différentes catégories d'équipement utilisées par le DOE pour réglementer les équipements de réfrigération commerciale.

⁴³ Cette méthode est expliquée à la section 3.5.1. du rapport du groupe de travail du GETE (septembre 2019)

des normes (2013-2014) il y a un plafond d'efficacité autour des niveaux d'efficacité 2, 3 et 4⁴⁴, le moment auquel les économies d'énergie présenteront le bénéfice maximal pour les consommateurs.

Tableau 7. Économies de coût sur le cycle de vie avec différents niveaux d'efficacité, calculées en utilisant la méthode du DOE. Chaque niveau d'efficacité correspond à une option de conception possible au moment de l'établissement de la norme

| Niveau | Consommation énergétique annuelle, kWh/an | Valeurs moyennes du | | | Économies sur le coût du cycle de vie | | | Période médiane de remboursement, années | |
|--------|---|-----------------------|----------------------------------|------------------------------|--|---------------------------|--------------|--|--------------|
| | | Coût installé, 2012\$ | Coût opérationnel annuel, 2012\$ | Coût du cycle de vie, 2012\$ | Économies moyennes sur le coût du cycle de vie, 2012\$ | Clients qui ont connu (%) | | | |
| | | | | | | Coût net | Aucun impact | | Bénéfice net |
| 1 | 10 022 | 6 498 | 1 270 | 19 135 | 2 503 | 0,0 | 10,1 | 89,9 | 0,5 |
| 2 | 6 727 | 6 799 | 970 | 16 433 | 5 200 | 0,0 | 10,1 | 89,9 | 0,8 |
| 3 | 6 654 | 6 822 | 964 | 16 397 | 4 709 | 0,0 | 0,0 | 100 | 0,8 |
| 4 | 6 318 | 6 974 | 921 | 16 110 | 4 996 | 0,0 | 0,0 | 100 | 1,0 |
| 5 | 6 262 | 7 003 | 917 | 16 105 | 5 001 | 0,0 | 0,0 | 100 | 1,1 |
| 6 | 6 174 | 7 073 | 913 | 16 127 | 4 979 | 0,1 | 0,0 | 99,9 | 1,2 |
| 7 | 5 857 | 8 909 | 948 | 18 294 | 2 812 | 10,8 | 0,0 | 89,2 | 4,7 |

Coûts d'investissement et d'exploitation

Équipement de réfrigération commerciale autonome

La transition des HCFC et des HFC à PRG élevé vers des options à faible PRG exigera quelques investissements dans la fabrication et dans les équipements, en particulier pour la transition vers des frigorigènes inflammables, tels que les frigorigènes A2L ou A3. En règle générale, les données de terrain indiquent que, pour le consommateur, le coût d'un système autonome au R-290, peut varier de 0 à 5 pour cent par rapport aux systèmes conventionnels. Le prix éventuellement plus élevé peut souvent être recouvré grâce à la plus faible consommation électrique de ces systèmes plus nouveaux.

Le coût de la mise en œuvre des autres suggestions d'amélioration de l'efficacité varient de faible, comme dans le cas de l'éclairage LED, à élevé pour les compresseurs à vitesse variable ou de plus haute efficacité. Le remboursement dépendra du coût de l'électricité dans les régions respectives mais puisque la plupart des régions réglementent ces systèmes, on peut s'attendre à ce que le marché adopte la méthode de coût la plus basse pour parvenir à l'efficacité minimale requise.

La transition vers des options de frigorigènes à faible PRG entraînera des améliorations du coût d'exploitation, de zéro à 10 pour cent selon le frigorigène choisi. Le R-290 pourrait réduire le coût d'électricité de 5 à 10 pour cent, comparé au HCFC-22. Des améliorations supplémentaires, avec des ventilateurs et des compresseurs à vitesse variable, de l'éclairage LED et d'autres efforts, réduiraient encore davantage la consommation énergétique selon l'amélioration apportée.

Unités de condensation

La transition des HCFC et des HFC à PRG élevé vers des options à faible PRG exigera quelques investissements dans la fabrication et les équipements⁴⁵, en particulier pour la transition vers des

⁴⁴ Le DOE examine différents niveaux d'efficacité pour chaque réglementation qui correspondent aux technologies, options de conception et combinaisons d'options de conception visant à améliorer l'efficacité énergétique et qui, sur le plan technologique, sont réalisables au moment de l'établissement de la norme.

frigorigènes inflammables, tels que les mélanges de frigorigènes A2L ou les frigorigènes A3. La réduction de la charge thermique par une meilleure isolation, notamment dans les chambres froides et les congélateurs chambres, l'utilisation de lumières LED et quelques autres améliorations de l'efficacité représentent de faibles coûts d'investissement, en échange de gains pour la durée de vie de l'équipement. Là encore, le remboursement est fonction du coût local de l'électricité et peut varier d'une région à l'autre. La réglementation joue un rôle clé dans l'adoption des améliorations de l'efficacité.

On peut s'attendre à ce que la transition des HCFC et HFC à PRG élevé vers des options à faible PRG réduise ou stabilise les coûts énergétiques d'exploitation, selon le choix de frigorigène. La réduction de la charge thermique par une meilleure isolation, notamment dans les chambres froides et les congélateurs-chambres et l'utilisation de lumières LED sont quelques exemples de méthodes d'EE qui entraînent une réduction de la consommation électrique, contribuant ainsi à des coûts d'exploitation moins élevés.

Systemes centralisés et répartis

Les économies de marché ont justifié de nombreux systèmes centralisés et répartis pour adopter des méthodes d'efficacité. Dans le cas des systèmes au R-744, pour les systèmes en cascade sous-critiques et surtout pour les systèmes trans-critiques, les coûts d'investissement ont entravé l'adoption généralisée, en particulier dans les climats chauds. Une étude récente pour un petit magasin en Europe, avec dix vitrines réfrigérées⁴⁶, a comparé un système réparti au R-290 à un système trans-critique au CO₂. L'efficacité du système au R-290 est meilleure d'environ 5 pour cent, sur une base annuelle, avec un coût d'investissement inférieur d'environ 25 pour cent à celui du système trans-critique au CO₂. Pour améliorer la performance du système au CO₂, il serait possible d'ajouter des éjecto-compresseurs ou des compresseurs parallèles mais alors le coût initial (achat) augmentera.

Avec les systèmes au R-744, pour les systèmes sub-critiques en cascade et surtout pour les systèmes trans-critiques, les coûts d'exploitation sont stables, voire légèrement plus élevés dans le cas du trans-critique, par rapport au R-404A. Tandis que l'architecture avec le R-290 pourrait fonctionner pour un format de magasin plus petit, il sera difficile de le justifier dans un magasin où les systèmes de réfrigération sont beaucoup plus gros.

Secteur de la climatisation et des pompes à chaleur

Il existe des technologies qui n'ont aucune incidence sur le coût, telles les concepts d'échangeur thermique avancés, les compresseurs rotatifs et autres compresseurs centrifuges de capacité variable. D'autres technologies engendrent un coût supplémentaire qui peut diminuer avec le temps en raison des économies d'échelle, tels que les échangeurs thermiques à micro-canaux et les détendeurs électroniques, ou qui conservent un coût plus élevé, comme dans le cas des compresseurs à capacité variable pour les climatiseurs individuels et monoblocs.

Des études antérieures ont révélé que des mélanges HFC/HFO à faible PRG peuvent facilement être utilisés pour remplacer le R410A, tout en maintenant ou améliorant la performance du système de réfrigération, de climatisation et des pompes thermiques. Toutefois, les frigorigènes de remplacement du HCFC 22 à plus faible PRG et les mélanges de frigorigènes n'étaient pas en mesure de reproduire facilement la performance. Une étude ultérieure par Shen et al. 2017,⁴⁷ a démontré qu'avec une

⁴⁵ On ne s'attend pas à un coût élevé dans le cas des unités de condensation car, en règle générale, ces équipements ne sont pas remplis en usine. Des modifications pourraient être apportées à la conception et certaines composantes de sécurité, etc. pourraient s'avérer nécessaires.

⁴⁶ http://www.emersonclimate.com/europe/en-eu/About_Us/News/Documents/FFR196-Emerson-Fact-sheet-Integral-Display-Case-Technology-EN-1711.pdf

⁴⁷ Shen B, Abdelaziz O, Shrestha S, Elatar A. 2017 "Model-based optimization of packaged rooftop air conditioners using low GWP refrigerants", *International Journal of Refrigeration*, ISSN 0140-7007, disponible sur le site <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2017.10.028>. Accès 12 mai 2018

optimisation technique, les solutions de remplacement du HCFC 22 peuvent reproduire ou dépasser la performance des unités existantes au HCFC 22, avec une augmentation d'efficacité pouvant aller jusqu'à 10 pour cent.

70. — Le Tableau 7 présente un exemple, tiré du document d'établissement des règles du US DOE, des coûts d'investissement de l'augmentation de l'efficacité, avec quatre niveaux d'efficacité envisagés, pour un mini climatiseur à 2 blocs, à travers l'ensemble de l'industrie américaine.

Tableau 7. Coûts d'investissement de la reconversion, à différents niveaux d'efficacité, à travers l'ensemble de l'industrie (2015)⁴⁸

| SEER (W/W) | Coûts d'investissement de la conversion (millions \$US) | Expéditions ⁴⁹ (millions d'unités/an) |
|------------|---|--|
| 4,2 | 61,0 | 6,5 |
| 4,4 | 205,6 | 6,5 |
| 4,7 | 337,9 | 6,5 |
| 5,6 | 373,0 | 6,5 |

Matrice des interventions techniques pour l'efficacité énergétique et coûts associés

71. — Le Tableau 8 ci-dessous présente un sommaire de la matrice des interventions techniques destinées à améliorer l'EE, avec les coûts associés.

Tableau 8. Sommaire de la matrice des interventions techniques pour une amélioration de l'EE, avec les coûts associés

| Type d'équipement | Composantes de référence | Interventions techniques | Amélioration de l'efficacité énergétique | Coûts associés |
|--------------------------|--|--|---|------------------|
| Tous | Température d'évaporation | Optimiser la température d'évaporation | Chaque augmentation de 1°C a un effet de 2 à 4 pour cent | Faibles |
| Tous | Contrôles | Contrôles améliorés | 10 à 50 pour cent | Faibles à moyens |
| Climatiseurs individuels | Échangeurs de chaleur | Augmenter la taille de l'échangeur de chaleur ou utiliser des concepts avancés (tubes de petit diamètre ou échangeurs de chaleur à micro-canaux) | 9 à 29 pour cent | Faibles à moyens |
| | | Compresseurs | Compresseurs rotatifs à deux étages, compresseurs à spirale de haute efficacité avec des moteurs CC | 5 à 19 per cent |
| | Compresseurs avec variateur de fréquence à CA, CA/CC ou CC | | 20 à 30 per cent | Moyens |
| | Détendeur | Détendeur thermostatique ou électronique | 5 à 9 pour cent | Faibles |
| | Charge en veille | Charges réduites en mode veille | 2 pour cent | Faibles |

⁴⁸ Les niveaux standard des tests 1,2,3 et 4 correspondent à des taux de rendement énergétique saisonnier (SEER) de 14,5, 15,0, 16,0 and 19,0 BTU/hr/W respectivement pour des mini climatiseurs à 2 blocs de 2 tonnes. Ces "Niveaux de test standard" ont été définis différemment pour diverses catégories de produits. (Source: DOE 2016).

⁴⁹ Total des expéditions de 2015 incluait tous les types de climatiseurs centraux et les systèmes de pompes à chaleur expédiés aux États-Unis d'Amérique.

| Type d'équipement | Composantes de référence | Interventions techniques | Amélioration de l'efficacité énergétique | Coûts associés |
|--|---------------------------------------|--|--|-----------------|
| Climatiseurs monoblocs et de grande taille | Compresseurs | Utiliser des compresseurs multiples pour optimiser la performance à charge partielle | Jusqu'à 20 pour cent | Moyens |
| | Compresseurs | Utiliser des compresseurs avec variateur de fréquence à CA, CA/CC ou CC | 20 à 30 pour cent | Moyens à élevés |
| | Échangeurs de chaleur | Augmenter la taille de l'échangeur de chaleur ou utiliser des concepts avancés (tubes de petit diamètre ou échangeurs de chaleur à micro-canaux) | 9 à 29 pour cent | Faibles |
| | Chauffage du carter | Optimiser le chauffage du carter | 9 à 11 pour cent | 0 |
| | - | Détection des pannes et diagnostic | Jusqu'à 30 pour cent | Faibles |
| Réfrigération commerciale | Contrôle de la pression du condenseur | Minimiser le contrôle de refoulement (remplacer les détendeurs thermostatiques par des détendeurs électroniques) | Jusqu'à 20 pour cent | Faibles |
| | Compresseurs | Contrôle de vitesse variable ou contrôles efficaces de capacité variable | Jusqu'à 25 pour cent | Moyens |
| | Ventilateurs et pompes auxiliaires | Contrôles de vitesse variable pour les ventilateurs et les pompes auxiliaires | Jusqu'à 10 pour cent | Faibles |
| | Autres contrôles | Dégivrage sur demande et contrôles de la pression de succion ajustés | Jusqu'à 10 pour cent | Faibles |
| | Chauffage du carter | Optimiser le chauffage du carter | 9 à 11 pour cent | 0 |

V. BIENFAITS ENVIRONNEMENTAUX EN TERMES D'ÉQUIVALENT CO₂

78. Tandis que l'Amendement de Kigali se concentre sur les frigorigènes éco-énergétiques,⁵⁰ l'industrie poursuit parallèlement ses efforts pour améliorer l'efficacité énergétique par la reconception des systèmes et une réduction de la charge grâce à des concepts de construction améliorés. Ces mesures réduiront la charge de frigorigène dans les systèmes de climatisation et réduisent aussi les émissions de frigorigènes.

Impact de l'EE provenant d'émissions indirectes

79. Il existe plusieurs méthodes pour évaluer le total des émissions provenant d'un système. Les plus courantes sont le TEWI (Total équivalent du réchauffement)⁵¹ et le LCCP (Indice de performance climatique sur le cycle de vie) qui tentent de quantifier l'incidence globale de réchauffement en évaluant les systèmes de réfrigération, climatisation et pompes à chaleur durant tout leur cycle de vie.

⁵⁰ Ceci dans le contexte de la réduction progressive des HFC.

⁵¹ Parfois, le calcul du TEWI peut être simplifié en négligeant les effets plus larges, incluant la fabrication du frigorigène et de l'équipement, la destruction du frigorigène et de l'équipement après déclassement. L'impact de ces éléments pourrait être faible.

80. Le plus grand potentiel d'amélioration de l'EE provient des améliorations de conception et des composantes qui peuvent générer des améliorations de l'efficacité⁵² de 10 à 70 pour cent, comparé à 5 à 10 pour cent pour le frigorigène dans la plupart des cas. Le calcul des émissions pour un cycle de vie au niveau national ou régional exigerait plusieurs étapes et hypothèses, telles que la durée de vie du produit, le choix du frigorigène et les fuites, qui vont au-delà des considérations des bienfaits environnementaux provenant de l'EE. Les bienfaits environnementaux de l'EE peuvent varier d'un facteur de 1000 selon les heures d'utilisation et le facteur d'émissions pour la production d'électricité.

81. Le calcul des bienfaits environnementaux de l'EE dans les équipements de réfrigération, climatisation et pompes à chaleur en termes d'équivalent CO₂ implique les trois étapes suivantes :

- (a) Déterminer le type d'équipement (par ex. climatiseur à 2 blocs sans conduits, capacité de refroidissement de 3,5kW), identifier la consommation énergétique de l'unité modèle de référence en fonction du marché actuel dans le pays ou le territoire ou des unités fabriquées dans une installation donnée, et déterminer l'amélioration de l'EE à évaluer ;
- (b) Calculer les économies d'énergie pour le modèle de plus haute efficacité en fonction de la consommation énergétique et des heures d'utilisation de l'unité de référence. Les heures d'utilisation varient considérablement selon le pays, le climat et l'application ; dans certains cas, les normes nationales définissent les heures d'utilisation comme élément de la mesure de l'EE (par ex. le coefficient d'efficacité énergétique saisonnière de l'Inde est défini par une utilisation de 1600 heures par an). Le rendement énergétique réel d'un équipement installé peut s'avérer inférieur à l'efficacité conçue en raison d'une installation ou d'une maintenance déficiente. Puisque l'amélioration de l'efficacité est comparée à une unité de référence, cette approche suppose que la dégradation du rendement causée par une installation ou une maintenance déficiente ou des températures élevées aurait un effet comparable sur l'unité de référence, ainsi les économies d'énergie relatives sont maintenues. Si les heures d'utilisation augmentent dans le cas de l'unité à haute efficacité en raison des coûts plus bas de la facture d'électricité, une forme de comportement de réaction, les économies d'énergie seraient réduites par cet effet de "réaction" ; et
- (c) Convertir les économies d'énergie en CO₂-eq en multipliant par le facteur d'émission de l'utilisateur final pour la production d'électricité. Les climatiseurs ont tendance à fonctionner pendant les périodes les plus chaudes de la journée, ce qui coïncide avec la demande de pointe en électricité ; pour cette raison, l'utilisation des facteurs d'"émission marginale" qui représentent l'intensité carbone des générateurs qui produisent l'énergie pour répondre à la demande de pointe serait peut-être plus exacte. L'intensité carbone de la production marginale est supérieure ou inférieure au facteur d'émissions annuelles selon la composition du réseau du pays. Toutefois, avec l'ajout de capacité renouvelable, la tendance va vers des facteurs d'émissions marginales plus faibles.

82. Dans le secteur de la réfrigération domestique, les économies réalisées grâce à des appareils électroménagers éco-énergétiques varient de 55 à près de 70 pour cent avec les technologies disponibles actuellement. On suppose, dans ce cas, que les réfrigérateurs fonctionnent 24 heures par jour et que la température ambiante élevée n'affecte pas le rendement des appareils puisqu'ils sont placés dans des environnements intérieurs à température contrôlée.

⁵² Lorsqu'on fait référence aux améliorations d'EE dans ce rapport, nous comparons l'énergie utilisée par un concept amélioré par rapport au concept de référence. Par exemple, si le système A utilise 10 unités énergétiques et le système B utilise 8 unités, il y a une amélioration de l'efficacité de 20 pour cent.

83. Dans la réfrigération commerciale, le potentiel d'économies d'énergie est très élevé. Dans certains cas, comme les réfrigérateurs et congélateurs ouverts par opposition à ceux équipés de portes fermées, les économies peuvent atteindre de 70 à 80 pour cent. Avec les congélateurs pour crème glacée, la consommation énergétique a été mesurée à 25° C et à 31° C. La consommation d'énergie augmente de 13 pour cent dans des conditions de température ambiante élevée. Toutefois, cette consommation était encore beaucoup plus faible que celle d'un congélateur vertical inefficace. Ceci démontre l'importance cruciale du choix d'appareil également dans des conditions de température ambiante élevée.

84. Le Tableau 8 présente un sommaire des économies d'énergie, en kWh par année, pour des heures spécifiques d'utilisation des climatiseurs individuels et l'EE au niveau d'EE spécifié pour le produit (niveau d'efficacité plus élevé à 10-20 pour cent et niveau d'efficacité le plus élevé à 40-50 pour cent, par rapport à l'utilisation d'énergie d'une unité de base).

Tableau 8. Economies d'énergie pour une unité des climatiseurs individuels

| Cas* | Identifier la consommation d'énergie de l'unité de référence spécifique du produit et l'amélioration de l'efficacité | | | | Calculer les économies d'énergie par unité pour les modèles efficaces | | |
|---|--|--|---|----------------|---|-------------------------|----------------------------|
| | Heures d'utilisation/an | Type d'unité /capacité de refroidissement (kW) | Utilisation d'énergie par l'unité de base des climatiseurs (kWh/an) | EE plus élevée | EE la plus élevée | EE plus élevée (kWh/an) | EE la plus élevée (kWh/an) |
| Cas très faible a (nombre d'heures très bas, facteur d'émission de l'électricité très bas) | 350 | Unité à 2 blocs / 3-4 kW | 266 | 20 pour cent | 50 pour cent | 53 | 133 |
| Cas faible b (nombre d'heures bas, facteur d'émission de l'électricité bas) | 1 200 | Unité à 2 blocs / 3,5 kW | 1 355 | 20 pour cent | 50 pour cent | 271 | 678 |
| Nombre d'heures élevé c (nombreuses heures, facteur d'émission de l'électricité moyen) | 2 880 | Unité à 2 blocs / 3,5 kW | 2 965 | 10 pour cent | 40 pour cent | 297 | 1186 |
| Facteur d'émission élevé d (nombre d'heures moyen, facteur d'émission de l'électricité élevé) | 1 600 | Unité à 2 blocs / 5,275 kW | 1 300 | 10 pour cent | 40 pour cent | 130 | 520 |
| Cas le plus élevé e (nombre d'heures élevé, facteur d'émission de l'électricité élevé) | 2 880 | Unité à 2 blocs / 5,275 kW | 5 759 | 25 pour cent | 40 pour cent | 1 440 | 2 304 |

(*) Ces cinq cas représentent des situations qui se retrouvent dans le scénario actuel des zones climatiques et des facteurs d'émission à travers le monde.⁵³

a Heures d'utilisation pour le refroidissement en Europe (Topten.eu); utilisation de l'énergie d'après Topten.eu, avec efficacité inefficace (266 kWh/an) et la plus élevée (122 kWh/an).

⁵³ L'incidence des émissions de CO₂ provient du rapport du groupe de travail du GETE.

b Heures d'utilisation et consommation énergétique du climatiseur de base d'après United pour l'évaluation de l'efficacité nationale pour l'Argentine (décembre 2016); pourcentage d'amélioration est basé sur Topten.eu.

c Heures d'utilisation et consommation énergétique du climatiseur de base d'après United pour l'évaluation de l'efficacité nationale pour la Thaïlande (décembre 2016); pourcentage d'amélioration est basé sur les exemples 3-star et 5 star BEE 3 de l'Inde; facteur d'émission pour la Thaïlande.

d Heures d'utilisation et consommation énergétique du climatiseur de la norme indienne BEE et du niveau 1-star; pourcentage d'amélioration basé sur les exemples BEE 3-star et 5-star de l'Inde.

e Heures d'utilisation, 8 heures pendant 360 jours; unité de base de 2,6 W/W EER converti en consommation d'énergie, en divisant la capacité par EER, multiplié par les heures d'utilisation; moyen = 3,5 EER et le plus élevé = 4,5 EER.

85. Pour les pompes à chaleur, les économies d'énergie pour une unité de pompe à chaleur dans quatre cas représentant les situations rencontrées dans le scénario actuel des zones climatiques à travers le monde, sont présentées dans le Tableau 9.

Tableau 9. Economies d'énergie pour une unité de pompe à chaleur

| Cas* | Consommation d'énergie de l'unité | | | | | | | | Amélioration de l'EE (%) |
|---|-----------------------------------|------------------------------------|------------|----------------|----------------------------------|------------------------------------|------------|----------------|--------------------------|
| | Cas de référence | | | | Meilleure technologie disponible | | | | |
| | Pompe à chaleur (GJ) | Système auxiliaire électrique (GJ) | Total (GJ) | Total (kWh/an) | Pompe à chaleur (GJ) | Système auxiliaire électrique (GJ) | Total (GJ) | Total (kWh/an) | |
| Climat froid et facteur d'émission faible | 12,31 | 7,97 | 20,28 | 5 633 | 12,62 | 2,6 | 15,22 | 4 228 | 25 |
| Climat froid et facteur d'émission moyen | 12,31 | 7,97 | 20,28 | 5 633 | 12,62 | 2,6 | 15,22 | 4 228 | 25 |
| Climat chaud et facteur d'émission moyen | 3,23 | 0,336 | 3,566 | 991 | 2,95 | 0,104 | 3,054 | 848 | 14 |
| Climat doux et facteur d'émission élevé | 8,08 | 2,48 | 10,56 | 2 933 | 6,42 | 0,4 | 6,82 | 1 894 | 35 |

(*) Ces quatre cas représentent des situations qui se retrouvent dans le scénario actuel des zones climatiques et des facteurs d'émission à travers le monde.⁵⁴

86. Pour les climatiseurs mobiles, d'après un rapport sur certaines normes d'économies de carburant pour des véhicules de tourisme qui inclut des crédits pour la climatisation de haute efficacité, l'incidence des émissions de GES est identifiée comme un indicateur des bénéfices potentiels et elle varie de 0,9 grammes de CO₂-eq/km à 6,1 grammes de CO₂-eq/km.

VI. PROJETS DE DEMONSTRATION POUR L'INTRODUCTION DE TECHNOLOGIES A FAIBLE PRG ET PROJETS D'INVESTISSEMENT AUTONOMES POUR LES HFC

87. Lors de ses 74^e, 75^e et 76^e réunions, le Comité exécutif a approuvé trois études de faisabilité pour le refroidissement urbain⁵⁵ et 17 projets de démonstration sur les technologies à faible PRG, conformément à la Décision XXV/5 et à la décision 72/40⁵⁶.

⁵⁴ L'incidence des émissions de CO₂ provient du rapport du groupe de travail du GETE. L'information donnée en giga joules (GJ) correspond à la consommation annuelle.

⁵⁵ République dominicaine, Egypte et Koweït.

⁵⁶ Incluant 7 projets dans le sous-secteur de la réfrigération, de la climatisation et de l'assemblage (Chine, Colombie, Costa Rica, Koweït, Arabie saoudite (deux), un mondial (Argentine et Tunisie) et un régional (Asie occidentale); six projets dans le secteur des mousses (Colombie, Egypte, Maroc, Arabie saoudite, Afrique du Sud et Thaïlande); et trois projets dans le secteur de l'entretien de l'équipement de réfrigération (Maldives, Europe et région de l'Asie centrale) et un projet mondial (régions de l'Afrique de l'Est et des Caraïbes).

88. Le Tableau 10 résume l'information sur l'efficacité énergétique à partir des résultats disponibles pour les projets de démonstration approuvés conformément à la décision 72/40, à l'exclusion des projets du secteur de l'entretien de l'équipement de réfrigération.

Tableau 10. Études de faisabilité et projets de démonstration pour l'introduction de technologies à faible PRG

| Pays | Titre du projet (code) | Financement (\$ US)* | Réunion | Mise à jour sur les progrès de la mise en œuvre |
|---|--|----------------------|---------|--|
| Sous-secteur de la réfrigération et de la climatisation et de l'assemblage | | | | |
| Chine | Projet de démonstration pour un compresseur à vis semi-hermétique avec convertisseur de fréquence à base d'ammoniac dans le secteur de la réfrigération industrielle et commerciale chez Fujian Snowman Co. Ltd (CPR/REF/76/DEM/573) | 1 026 815 | 82 | Le rapport mentionnait que le COP ⁵⁷ du nouveau système conçu pour le projet avec une capacité de réfrigération de 56,7 kW, 167,1 kW et 216,3 kW était de 1,57, 1,63 et 2,94, respectivement. |
| Colombie | Démonstration du -R-290 (propane) comme frigorigène de remplacement dans la fabrication d'équipements de climatisation commerciale chez Industrias Thermotar Ltda (COL/REF/75/DEM/97) | 500 000 | 81 | Le rapport mentionne qu'un équipement à 2 blocs de 5-TR ⁵⁸ à base de R-290 (compresseur à spirale au R-290) consomme 13,1% de moins d'énergie (kWh) qu'une unité similaire au R-410A. |
| Costa Rica | Démonstration de l'application d'un système de réfrigération à l'ammoniac/dioxyde de carbone en remplacement du HCFC-22 pour le producteur de taille moyenne et le magasin de détail de Premezclas Industriales S.A. (COS/REF/76/DEM/55) | 524 000 | 82 | Le rapport final mentionnait que la comparaison des factures mensuelles moyennes pour octobre/novembre 2017 (avant l'installation du nouveau système de réfrigération) et janvier/février 2018 (après l'installation du nouveau système de réfrigération) révèle une baisse de 10,23 pour cent des factures mensuelles moyennes. On s'attendait à ce que cette baisse de la consommation augmente d'environ 20 pour cent une fois le système stabilisé et avec l'adoption de meilleures pratiques opérationnelles. |
| Arabie saoudite | Projet de démonstration chez les fabricants de climatiseurs pour développer des climatiseurs de fenêtre et de type armoire, utilisant des frigorigènes à faible PRG (SAU/REF/76/DEM/29) | 1 300 000 | 83 | Les résultats des projets de démonstration affichent des EER plus élevés pour le HFC-32 et le R-290, comparé au R-410A à une température de 52 degrés centigrade; le EER baisse pour tous les frigorigènes lorsque la température extérieure augmente de 35 à 52 degrés centigrade. |

⁵⁷ COP – Coefficient de Performance.

⁵⁸ TR – Tonne de réfrigération.

| Pays | Titre du projet (code) | Financement (\$ US)* | Réunion | Mise à jour sur les progrès de la mise en œuvre |
|---------------------------------------|---|----------------------|----------------|---|
| Arabie saoudite | Projet de démonstration pour promouvoir des frigorigènes à base de HFO et à faible PRG pour le secteur de la climatisation dans les environnements à température ambiante élevée (SAU/REF/76/DEM/28) | 796 400 | Non disponible | La présentation du rapport final est attendue à la 85 ^e réunion |
| Régional (Asie occidentale), PRAHA-II | Promouvoir des frigorigènes de remplacement pour la climatisation dans des pays à température ambiante élevée, en Asie occidentale (PRAHA-II) (ASP/REF/76/DEM/59 et 60) | 700 000 | Non disponible | La présentation du rapport final est attendue à la 84 ^e réunion |
| Secteur des mousses | | | | |
| Colombie | Projet de démonstration pour valider l'utilisation d'oléfines hydrofluorées pour les panneaux discontinus dans les pays visés à l'article 5, par le développement de formulations rentables (COL/FOA/76/DEM/100) | 248 380 | 81 | Les résultats concernant l'efficacité énergétique n'ont pas été communiqué directement; toutefois les résultats affichent des niveaux de conductivité thermique pour les formulations à base de HFO-1233zd(E) et HFO-1336mzz(Z) utilisées comme co-agent de gonflage avec de l'eau qui étaient similaires aux formulations à base de HCFC-141b. |
| Egypte | Démonstration d'options à faible coût pour la reconversion à des technologies sans SAO dans les mousses de polyuréthane chez de très petits utilisateurs (EGY/FOA/76/DEM/129) | 295 000 | 83 | Le rapport ne fournissait pas d'information sur l'efficacité énergétique de l'équipement. Un rapport actualisé a été présenté à la 84 ^e réunion. |
| Maroc | Démonstration de l'utilisation d'une technologie de mousse au pentane, à faible coût, pour la reconversion à des technologies sans SAO pour les mousses de polyuréthane dans des entreprises de taille petite et moyenne. (MOR/FOA/75/DEM/74) | 280 500 | Non disponible | |
| Arabie saoudite | Projet de démonstration pour l'élimination des HCFC en utilisant le HFC comme agent de gonflage pour les mousses dans les applications de mousse pulvérisée dans les pays à température ambiante élevée (SAU/FOA/76/DEM/27) | 96 250 | Non disponible | La présentation du rapport final est attendue à la 84 ^e réunion |
| Afrique du Sud | Projet de démonstration sur les avantages techniques et économiques de l'injection assistée sous vide dans une usine de panneaux discontinus, reconvertie du HCFC-141b au pentane (SOA/FOA/76/DEM/09) | 222 200 | 81 | Les résultats concernant l'efficacité énergétique n'ont pas été communiqué directement; toutefois les résultats affichent des niveaux de conductivité thermique comparables au HCFC-141b. |

| Pays | Titre du projet (code) | Financement (\$ US)* | Réunion | Mise à jour sur les progrès de la mise en œuvre |
|---|---|----------------------|---------|--|
| Thaïlande | Projet de démonstration dans des sociétés de formulation de mousse pour des polyols pré-mélangés dans des applications de mousse de polyuréthane pulvérisée, utilisant un agent de gonflage à faible PRG (THA/FOA/76/DEM/168) | 352 550 | 83 | |
| Étude de faisabilité pour le refroidissement | | | | |
| République dominicaine | Étude de faisabilité pour le refroidissement urbain à Punta Cana (DOM/REF/74/TAS/57) | 91 743 | 81 | L'efficacité énergétique était un avantage-clé du projet; les gains réels en matière d'efficacité énergétique ne sont pas disponibles.** |
| Egypte | Étude de faisabilité pour le refroidissement urbain au Nouveau Caire (EGY/REF/75/TAS/127 et 128) | 27 223 | 82 | Les rapports contiennent des considérations et des calculs de rendement sur la faisabilité du refroidissement urbain. Les gains réels en matière d'efficacité énergétique ne sont pas disponibles.** |
| Koweït | Étude de faisabilité comparative de trois technologies de nature différente pour utilisation dans la climatisation centrale (KUW/REF/75/TAS/28 et 29) | 27 223 | 82 | Les rapports contiennent des considérations et des calculs de rendement sur la faisabilité du refroidissement urbain. Les gains réels en matière d'efficacité énergétique ne sont pas disponibles.** |

* Cette valeur n'inclut pas les fonds, la préparation de projet et les coûts d'appui d'agence.

**Le rapport du groupe de travail du GETE mentionne que les systèmes de refroidissement urbain réduisent la demande d'énergie de 55 à 62 pour cent par rapport aux systèmes de climatisation conventionnels et consomment 40 à 50 pour cent moins d'énergie

89. Le Tableau 11 fournit la liste des dix projets d'investissement autonomes pour les HFC, approuvés jusqu'à présent. Le rapport sur la performance de l'efficacité énergétique de l'équipement modifié est exigé dans le rapport final mais les résultats des projets ne sont pas disponibles pour l'instant.

Tableau-11. Projets d'investissement autonomes approuvés jusqu'à présent

| Pays | Agence | Titre du projet |
|------------------------|-------------|---|
| Argentine | ONUDI | Projet de reconversion pour le remplacement du HFC-134a par un frigorigène à base d'isobutane (R-600a)/de propane (R-290) dans la fabrication d'équipement de réfrigération domestique et commerciale chez Briket, Bambi and Mabe-Kronen |
| Bangladesh | PNUD | Reconversion du HFC-134a à l'isobutane comme frigorigène dans la fabrication de réfrigérateurs ménagers et d'un compresseur alternatif au HFC-134a à un compresseur éco-énergétique (isobutane) chez Walton Hi-Tech Industries Limited |
| Chine | PNUD | Reconversion du C5+HFC-245fa au C5+HFO chez un fabricant de réfrigérateurs domestiques (Hisense Kelon) |
| République dominicaine | PNUD/Canada | Reconversion d'une chaîne de fabrication de réfrigérateurs commerciaux chez Fábrica de Refrigeradores Comerciales, SRL (FARCO), du HFC-134a et du R-404A au propane (R-290), comme frigorigène |
| Jordanie | ONUDI | Reconversion d'une installation de fabrication de grandes unités autonomes de climatisation commerciale, installées sur les toits, pouvant aller jusqu'à 400kW, des HFC (R134a, R-407C, R-410A) au propane R290, comme frigorigène, chez Petra Engineering Industries Co. |

| Pays | Agence | Titre du projet |
|-------------|---------------|---|
| Liban | ONUDI | Reconversion du HFC-134a et HFC-404A au R-600a et R-290 dans la réfrigération domestique chez Lematic Industries |
| Mexique | ONUDI | Reconversion de deux installations de fabrication d'équipements de réfrigération commerciale, du HFC-134a et R-404A comme frigorigènes, au propane (R-290) et isobutane (R-600a) chez Imbera |
| Mexique | PNUD/Canada | Reconversion d'une installation de fabrication d'équipements de réfrigération domestique, du HFC-134a à l'isobutane comme frigorigène et reconversion d'une installation de fabrication de compresseurs, à base de HFC-134a pour passer à l'isobutane, chez Mabe au Mexique |
| Thaïlande | BIRD | Reconversion des HFC au propane (R-290) et à l'isobutane (R-600a) comme frigorigène dans la fabrication d'appareils de réfrigération commerciale chez Pattana Intercool Co. Ltd. |
| Zimbabwe | PNUD/ France | Reconversion du HFC-134a à l'isobutane dans la fabrication de réfrigérateurs domestiques chez Capri (PME Harare) |

Recommandation

90. Le Comité exécutif pourrait souhaiter examiner le Sommaire actualisé du rapport du Groupe de l'évaluation technique et économique sur les questions liées à l'efficacité énergétique dans le contexte des questions mentionnées dans la décision 82/83(e) (décision 83/64) contenu dans le document UNEP/OzL.Pro/ExCom/84/69, durant ses délibérations sur les moyens d'opérationnaliser le paragraphe 22 de la Décision XXVIII/2 et les paragraphes 5 et 6 de la Décision XXX/5.

Annexe I

GLOSSAIRE DES TERMES UTILISÉS DANS LE PRÉSENT DOCUMENT

APF : (Annual Performance Factor) Facteur de rendement annuel

Coefficient de performance (COP, parfois CP ou CdP) : Pour une pompe à chaleur, un réfrigérateur ou un système de climatisation, c'est le ratio de chaleur ou de refroidissement utile, fourni pour le travail requis. Des COP plus élevés correspondent à des coûts opérationnels plus bas.

Capacité de refroidissement : Une mesure de la capacité d'un système d'extraire de la chaleur. Mesurée en kW, Btu/h ou tonne de réfrigération (TR), soit 1TR = 3,5 kW = 12 000 Btu/h.

Charge de refroidissement/thermique : La quantité d'énergie nécessaire pour chauffer ou refroidir, à un niveau de service désiré. L'amélioration de l'isolation dans un édifice constitue une stratégie de réduction de la charge de refroidissement et de la charge thermique, tout en fournissant le même niveau de confort à l'occupant.

Coefficient de performance (COP) : Le COP se définit comme un ratio entre la capacité de refroidissement et la consommation électrique du système. Le COP est aussi utilisé pour les pompes à chaleur et dans ce cas, il se définit comme le ratio entre la capacité de chauffage et l'électricité consommée par le système.

CSPF : (Cooling Season Performance Factor) Coefficient de performance de la saison de refroidissement (voir Seasonal Energy Efficiency Ratio – Coefficient de rendement énergétique saisonnier)

Efficacité de la conception : La performance énergétique de l'équipement, tel que conçu ou expédié. C'est la même chose que l'efficacité signalétique.

Efficacité énergétique (EE) : L'efficacité énergétique est un attribut d'un appareil ou d'un procédé; elle est soit élevée, ou faible.

EER (Energy Efficiency Ratio) Coefficient d'efficacité énergétique : ce coefficient représente la puissance de refroidissement, divisée par la puissance électrique utilisée lorsqu'elle est mesurée à pleine charge (c.à.d. à capacité maximale de refroidissement ou point de conception); il est mesuré en W/W ou Btu/h/W (1 W = 3, 412 Btu/h).

Rendement énergétique : La quantité d'énergie consommée par un équipement ou un système pour fournir un niveau de service spécifique. Les améliorations de l'EE, mentionnées dans ce rapport, comparent l'énergie utilisée dans un concept amélioré par rapport à un concept de référence. Par exemple, si le système A utilise 10 unités d'énergie et le système B en utilise 8, il y a une amélioration de l'efficacité de 20 pour cent.

HSPF : (Heating Seasonal Performance Factor) Coefficient de performance de la saison de chauffage (voir Seasonal Energy Efficiency Ratio – Coefficient de rendement énergétique saisonnier)

Efficacité installée : Le rendement énergétique de l'équipement, tel qu'installé.

ISEER : Coefficient de rendement énergétique saisonnier de l'Inde (Indian Seasonal Energy Efficiency Ratio)

Kilowattheure (kWh) : Une mesure d'électricité qui se définit comme une unité de travail ou d'énergie, qui correspond à 1 kilowatt (1000 watts) d'énergie dépensée pendant une heure. Un kilowattheure équivaut à 3,412 Btu (Unité thermique britannique) ou 3,6 MJ.

Coût de fabrication : Coût pour fabriquer l'équipement.

Millions de tonnes équivalents pétrole (Mtoe) : 1 Mtoe = 11,63 milliards kWh

Point de conception nominal : représente l'ensemble des conditions (par ex. températures intérieures et extérieures) utilisées pour la conception du système.

Coût d'exploitation : Le coût de faire fonctionner l'équipement pour son utilisateur.

Exploitation à charge partielle : La condition qui se produit lorsque le système doit faire face à une charge inférieure à la charge nominale (les conditions nominales sont utilisées pour la conception du système). En règle générale, les systèmes de réfrigération, climatisation et les pompes à chaleur fonctionnent dans des conditions de charge partielle pour la plupart de leur cycle de vie.

Charge de pointe : La plus forte demande d'électricité qui survient sur une période donnée dans un réseau électrique.

Pourcentage d'amélioration de l'efficacité énergétique : changement dans le pourcentage de consommation énergétique d'une unité efficace, par rapport à une unité de base.

Tonne de réfrigération (TR) : Mesure de la capacité de refroidissement, lorsqu'1 tonne correspond à 12 000 Btu, c'est l'équivalent de l'énergie requise pour geler 2 000 livres d'eau en 24 heures.
1 TR = 3,52 KW

Prix de détail : prix d'achat de l'équipement.

SEER (Seasonal Energy Efficiency Ratio) : Coefficient de rendement énergétique saisonnier

Ce coefficient représente la puissance de refroidissement, divisée par la puissance électrique consommée, mesurée à charge pleine et partielle, et pondérée afin de représenter le rendement global de l'appareil selon les conditions météorologiques durant une saison typique de refroidissement dans chaque pays donné. Un autre nom pour le SEER est le **Cooling Seasonal Performance Factor (CSPF)**. Le **Heating Seasonal Performance Factor (HSPF)** est utilisé pour le mode chauffage. **Annual Performance Factor (APF)** est une mesure utilisée pour les pompes à chaleur-climatiseurs réversibles qui chauffent et refroidissent.

Consommation énergétique unitaire : La quantité d'énergie consommée par une unité d'équipement, pendant un an normalement.

Entraînements à vitesse variable (VSD) : Un type de contrôleur de moteur qui entraîne un moteur électrique, en faisant varier la fréquence et le voltage fournis au moteur électrique, connu aussi sous le nom d'inverseur.

Annex II

AVAILABILITY OF AIR-CONDITIONERS OPERATING WITH DIFFERENT REFRIGERANTS AND AT DIFFERENT EE LEVELS

Table 1: Availability of technology options for AC: Energy Efficiency vs. refrigerants - Low Tier

| Low Tier Energy Efficiency Meeting MEPS | Regions | HCFC | High-GWP HFC | Medium and low GWP |
|---|---|---|--|--|
| | Australia & New Zealand (ANZ) | <u>Aus. & NZ: Not Available</u> | 45% of the market is R-410A in the low and mid-tier efficiency ranges | 53% of the market is HFC-32 units more weighted towards the higher efficiency tiers 1% of the market is HC-290 in the low tier |
| | Oceania & PIC | Around 5% of the market | Papua New Guinea / Fiji/ Solomon Islands: R-410A imports from ANZ in the low and mid tiers | HFC-32 becoming prevalent in line with trend in ANZ |
| | Japan | <u>Japan: Not Available</u> | Japan: Units available for export only Regulation does not support equipment development with high-GWP HFCs | Japan: HFC-32 units are prevalent |
| | Korea | <u>Korea: Not Available</u> | Korea: 410A system including ductless, mini-split system and VRF | Korea: HFC-32 |
| | China | China: Less than 20% equipment with HCFCs | China: about 60% of equipment are High-GWP HFCs | China: HFC-32 and HC-290 units are available |
| | Thailand | Locally manufactured | R-410A locally manufactured with inverter and non-inverter | HFC-32 units locally manufactured in small quantities |
| | South East Asia | Locally manufactured in some countries | Indonesia: ~50 of the market is R-410A R-410A fixed speed locally manufactured in some countries or imported MEPS are not separated for inverter and non-inverter except in Singapore and Indonesia | Malaysia: manufacturing of compressors for HFC-32 Vietnam and Indonesia: HFC-32 units with inverter |
| | India | India: Available from local manufacturers. Import is not allowed. | <u>India: Not available in lower efficiencies</u> | India: HFC-32 and HC-290 units available |
| | Central Asia | Locally manufactured in some countries | Locally manufactured in some countries | Available for import |
| Gulf Cooperation Council | Available as locally manufactured or imported | HAT: R-410A with fixed speed and variable speed | HFC-32 units are available Research on HC-290 and HFO leads to viable result Saudi G-Mark regulation requires certification for charge limitation of flammable refrigerants for residential applications | |

| | | | | |
|--|---------------------------------------|--|---|--|
| | Middle East & North Africa | Available as locally manufactured or imported | Available as locally manufactured or imported | HFC-32 and R-454B Accepted in Egypt, manufacturing not started Morocco*: HFC-32 inverter is available for import through Buyers' club |
| | Central Africa | Available in most countries | R-410A units fixed speed and inverter | Ghana: HC-290 units imported into the country in a program supported by GIZ Other countries: HFC-32 units with inverter available for import* |
| | Southern Africa | Available as locally manufactured or imported | R-410A units fixed speed and inverter | HFC-32 units |
| | Europe | | EU: Available in R-410A and R-407C in mini-splits: 2-speed and VRF | EU: both HFC-32 and HC-290 |
| | North America | | N. America: Available in R-410A and R-407C in mini-splits: 2-speed and VRF | <i>N. America: Emerging new technology using HFC-32 and HFO blends</i> |
| | Central America | Available in most countries | R-410A available | Mexico: HFC-32 inverter by at least one manufacturer Other countries: HFC-32 available to import Grenada: HC-290 available to import through a GIZ program |
| | South America | Available in most countries | S. America: R-410A both fixed speed and variable speed Brazil: 40-50% of R-410A units are inverter | Brazil: HFC-32 inverter available from one manufacturer. A second manufacturer announced production of HFC-32 by end of 2019 HC-290 expected to be available once MLF projects completed. Other countries: available to import |

Table 2: Availability of Technology for AC: Energy Efficiency vs. refrigerants - Mid Tier

| Regions | HCFC | High-GWP HFC | Medium and low GWP |
|---------------------------------------|--|--|---|
| Australia & New Zealand | <u>Aus. & NZ: Not Available</u> | 45% of the market is R-410A in the low and mid-tier efficiency ranges | 53% of the market is HFC-32 units more weighted towards the higher efficiency tiers |
| Oceania & PIC | Around 5% of the market | Papua New Guinea / Fiji/ Solomon Islands: R-410A imports from ANZ in the low and mid tiers | HFC-32 becoming prevalent in line with trend in ANZ |
| Japan | <u>Japan: Not Available</u> | <u>Japan: Not Available</u> | Japan: "The top runner program" requires weighted average APF higher than the standard value. (for both domestic and commercial air-conditioners) |
| Korea | <u>Korea: Not Available</u> | Korea: 410A system including ductless, mini-split system and VRF | Korea: HFC-32 units with inverter |
| China | China: Less than 20% equipment with HCFCs | China: about 60% of equipment are High-GWP HFCs | China: Both HC-290 and HFC-32 inverter that have higher APF than the standard value are introduced |
| Thailand | Thailand: Locally manufactured | Thailand: R-410A locally manufactured | Thailand: 70% of the locally manufactured units are HFC-32 units with inverter |
| South East Asia | Locally manufactured in some countries | Indonesia: 5% of the market is R-410A inverter R-410A units are locally manufactured in some countries or imported MEPS are not separated for inverter and non-inverter except in Singapore and Indonesia | Indonesia: ~ 50% of the market is HFC-32 units MEPS are not separated for inverter and non-inverter except in Singapore and Indonesia |
| India | India: Available from local manufacturers. Import is not allowed. | India: R-410A widely available up to 3 Stars | India: HFC-32 and HC-290 available up to 5 Star |
| Central Asia | Locally manufactured in some countries | Locally manufactured in some countries | Available for import |
| Gulf Cooperation Council | Available as locally manufactured or imported | R-410A with inverter | HFC-32 units are available Research on HC-290 and HFO leads to viable results Saudi G-Mark regulation requires certification for charge limitation of flammable refrigerants for residential applications |
| Middle East & North Africa | Available as locally manufactured or imported | Available as locally manufactured or imported | HFC-32 and R-454B Accepted in Egypt, manufacturing not started Morocco: HFC-32 inverter is available for import |
| Central Africa | <u>Not Available</u> | R-410A units with inverter | HFC-32 units in some markets |
| Southern Africa | <u>Not Available</u> | R-410A units with inverter South Africa: 75% of the market is inverter | HFC-32 units in some markets |
| Europe | <u>Not Available</u> | EU: Available in R-410A and R-407C in mini-splits: 2-speed and VRF | EU: Cent A/C 2-speed, Mini-splits VRF - EU Eco-Design, |

Mid-Tier Energy Efficiency up to 10% above Minimum MEPS

| | | | | |
|--|------------------------|------------------------------------|---|--|
| | North America | <u>Not Available</u> | N. America: Available in R-410A and R-407C in mini-splits: 2-speed and VRF | <i>N. America: Emerging new technology using HFC-32 and HFO blends</i> |
| | Central America | Available in most countries | R-410A available | Mexico: HFC-32 inverter by at least one manufacturer |
| | South America | Available in most countries | S. America: R-410A both fixed speed and variable speed Brazil: 40-50% of R-410A units are inverter | Brazil: HFC-32 inverter available from one manufacturer. A second manufacturer announced production of HFC-32 by end of 2019 HC-290 expected to be available once MLF projects completed. Other countries: available to import |

Table 3: Availability of Technology for AC: Energy Efficiency vs. refrigerants - High Tier

| High Tier Energy Efficiency more than 10% above Minimum MEPS | Regions | HCFC | High-GWP HFC | Medium and low GWP | |
|--|----------------------------|---|--|--|--|
| | Australia & New Zealand | Not Available | <u>Not Available</u> | 53% of the market is HFC-32 units more weighted towards the higher efficiency tiers | |
| | Oceania & PIC | | <u>Not Available</u> | Available for import | |
| | Japan | | <u>Japan: Not Available</u> | Japan: "The top runner program" requires weighted average APF higher than the standard value (for both domestic and commercial air-conditioners) | |
| | Korea | | Korea: 410A system including ductless, mini-split system and VRF | HFC-32 units with inverter | |
| | China | | China: "The top runner program" requires weighted average APF higher than standard value, about 1% of market | China: Both HC-290 and HFC-32 inverter that have higher APF than the standard value are introduced | |
| | Thailand | | R-410A locally manufactured mainly inverter type Separated MEPS for inverter and non-inverter | HFC-32 units with inverter Separated MEPS for inverter and non-inverter | |
| | South East Asia | | R-410A locally manufactured in some countries or imported. MEPS are not separated for inverter and non-inverter except in Singapore and Indonesia | Indonesia, Philippines, and Vietnam: HFC-32 units with inverter | |
| | India | | India: R-410A widely available in inverter 3 to 5 star | India: HFC-32 and HC-290 available up to 5 Star | |
| | Central Asia | | <u>Not Available</u> | Available for import | Available for import |
| | Gulf Cooperation Council | | <u>Not Available</u> | HAT: High GWP HFCs Could not meet higher efficiency with conventional design, however, MEPS >10%, (EER 12.7) can be achieved with microchannel heat exchangers | HFC-32 units are available Research on HC-290 and HFO leads to viable result Saudi G-Mark regulation requires certification for charge limitation of flammable refrigerants for residential applications |
| | Middle East & North Africa | | <u>Not Available</u> | Available as locally manufactured or imported | HFC-32 and R-454B Accepted in Egypt, manufacturing not started. Morocco: HFC-32 inverter is available for import |
| | Central Africa | | <u>Not Available</u> | R-410A units with inverter | HFC-32 units in some markets |
| | Southern Africa | | <u>Not Available</u> | R-410A units with inverter South Africa: 75% of the market is inverter | HFC-32 units in some markets |
| | Europe | | <u>Not Available</u> | EU: Cent A/C 2-speed, Mini-splits, VRF- Eco-Design | EU: Cent A/C 2-speed, Mini-splits VRF - EU Ecodesign |
| | North America | | <u>Not Available</u> | N. America: Cent A/C 2-speed, Mini-splits, VRF with R-410A units | <i>N. America: Emerging new technology using HFC-32 and HFO blends</i> |
| | Central America | | <u>Not Available</u> | R-410A available | Mexico: HFC-32 inverter by at least one manufacturer |
| South America | <u>Not Available</u> | S. America: R-410A both fixed speed and variable speed Brazil: 40-50% of R-410A units are inverter | Brazil: HFC-32 inverter available from one manufacturer. A second manufacturer announced production of HFC-32 by end of 2019. HC-290 expected to be available once MLF projects completed. Other countries: available to import | | |

Annex III

INFORMATION ON AVAILABILITY, COST AND ENERGY EFFICIENCY (EE) IMPACT AND APPLICATION TO CLIMATE REGION FOR DIFFERENT COMPONENTS RELATED TO EE FOR MEDIUM- AND LOW-GLOBAL-WARMING POTENTIAL REFRIGERANTS FOR AIR-CONDITIONERS AND SELF-CONTAINED COMMERCIAL REFRIGERATION EQUIPMENT

Part 1: Air conditioners

| Component | Applicable to ref circuit | Available today? | Presently in use? | Remarks | Necessary components | Max potential improvement | Incremental cost for RAC unit | Applicability to climate region | | |
|---|---------------------------|------------------|-------------------|---------------------------|--------------------------------|---------------------------|--|---------------------------------|-----|-----|
| | | | | | | | | LAT | MAT | HAT |
| Compressors | | | | | | | | | | |
| Higher efficiency | X | Y | Y | Mostly rotary compressor | | | | X | X | X |
| - Inverter driven | X | Y | Y | Mostly used for rotary | Inverter, dedicated compressor | 20% to 30% | 20% | X | X | X |
| - two stage compression | X | Y | L | Very limited availability | | 10% | 10% – 20% | X | X | X |
| - motor efficiency controllers | | Y | L | Standard | | same | Same | X | X | X |
| Energy efficient fan motors | | | | | | | | | | |
| - EC fan motors | | Y | Y | Reduce energy, heat load | Controller | 7% to 15% | 15% to 25% | X | X | X |
| - variable/fixed-speed | | Y | Y | | | | | X | X | X |
| - optimized fan blades | | Y | Y | | | | | X | X | X |
| - tangential fans | | Y | Y | For indoor unit only | | | | X | X | X |
| - improved axial fans | | Y | Y | For outdoor unit only | | | | X | X | X |
| Expansion devices | | | | | | | | | | |
| - electronic expansion valves | X | Y | L | | EEV and controller | 15% to 20% | 15% | X | X | X |
| - fixed orifice | X | Y | L | | RAC heating | Less efficiency | negative | X | X | X |
| - capillary tubes | X | Y | Y | | TEV | Heating mode | negative | X | X | X |
| Heat exchangers | | | | | | | | | | |
| - Microchannel condenser coil | Y | Y | Y | Only condenser | AL/AL | 15% | negative | X | X | X |
| - Microchannel evaporator coil | N | N | N | | | | Less cost compared to the fin and tube | | | |
| - smaller tube diameter for condenser coil | X | Y | Y | Y | CU/AL | 10% to 40%, | negative | X | X | X |
| - smaller tube diameter for evaporator coil | | Y | Y | Y | CU/AL | 10% to 40% | negative | X | X | X |
| Adiabatic condensers | | Y | Very limited | Only in high ambient | Filter water and treatment | 25% to 30% | 20% to 35% | | | X |
| Pipe insulation | | Y | Y | Normal practice | Pipe insulation | <2% | Standard | X | X | X |
| Refrigerant | X | Y | Y | See RTOC 2014, 2018 | Refrigerant | See RTOC 2014, 2018 | +/- depends on the region | X | X | X |

| Component | Applicable to ref circuit | Available today? | Presently in use? | Remarks | Necessary components | Max potential improvement | Incremental cost for RAC unit | Applicability to climate region | | |
|----------------------------------|---------------------------|------------------|-------------------|--------------|----------------------------------|---------------------------|-------------------------------|---------------------------------|-----|-----|
| | | | | | | | | LAT | MAT | HAT |
| Defrost techniques | Y | Y | | For HP only | controller | | HP | X | X | X |
| - hot gas, reverse cycle | | Y | L | HP | 4 WAY VALVE | negative | Heating | X | X | X |
| - resistance heaters for Heating | | Y | Y | some regions | Electric heater | negative | Some areas | X | X | X |
| - on demand control | | Y | Y | | controller | | same | X | X | X |
| Controls | | | | | | | | | | |
| - dynamic demand controllers | | Y | Y | | standard | | standard | X | X | X |
| Reducing head pressure | X | Y | Y | | Var speed cond. fans, controller | 2 – 3% per 1 K | various | | X | X |

Part 2: SCCRE

| Option | Applicable to ref circuit | Available today? | Presently in use? | Applicable to what SCCRE? | Remarks | Necessary component(s) | Max potential EE improvement of entire SCCRE | Indicative additional cost for SCCRE | Applicability to climate region | | |
|---|---------------------------|------------------|-------------------|---------------------------|------------------------------------|------------------------|--|--------------------------------------|---------------------------------|-----|-----|
| | | | | | | | | | LAT | MAT | HAT |
| Anti-fogging glass | | Y | Y | Glass freezer door | Avoids heating elements, as option | Surface treatments | Minimal | <5% | | X | X |
| Improved cabinet air flow | | | | | | | | | | | |
| - air deflectors/guides | | Y | Y | Open multideck | Reduces cold spillage | Aerofoils | 15% | neg. | X | X | X |
| - shelf risers and weir plates | | Y | Y | Open multideck | Reduces cold spillage | Plastic strips | 4% | neg. | X | X | X |
| - short air curtains | | Y | Y | Open multideck | Reduces cold spillage | Airflow design | 30% | neg. | X | X | X |
| - strip/night curtains | | Y | Y | Open multideck | Reduces cold spillage | Clear plastic strips | 60% | \$100 | X | X | X |
| Energy efficient fan/motors | | | | | | | | | | | |
| - Electronically Communicated (EC) fan motors | | Y | Y | All types | Less energy & heat load | EC motors | 10% | +15% | X | X | X |
| - variable speed | | Y | Y | All types | e.g., 2-speed fixed | Fan motor type | 10% | +15% | X | X | X |
| - optimised fan blades | | Y | Y | All types | | None | 5% | Neg. | X | X | X |
| - tangential fans | | Y | Y | All types | | Fan type | 5% | <10% | X | X | X |
| - diagonal compact fans | | Y | Y | All types | Match press of cabinet | Fan type | 5% | <10% | X | X | X |

| Option | Applicable to ref circuit | Available today? | Presently in use? | Applicable to what SCCRE? | Remarks | Necessary component(s) | Max potential EE improvement of entire SCCRE | Indicative additional cost for SCCRE | Applicability to climate region | | |
|-------------------------------------|---------------------------|------------------|-------------------|--|--|---|--|--------------------------------------|---------------------------------|-----|-----|
| | | | | | | | | | LAT | MAT | HAT |
| - improved axial fans | | Y | Y | All types | | Fan type | 5% | <10% | X | X | X |
| - fan motor outside cabinet | | Y | N | Never used | Not worth it | None | n/k | neg. | X | X | X |
| Cabinet doors | | | | | | | | | | | |
| - doors on cabinets | | Y | Y | All types | Reduces heat load and infiltration | Doors | 45% | \$300 per m | X | X | X |
| - door gaskets | | Y | Y | Standard freezer | Reduces heat load and infiltration | Gaskets | 15% | \$30 | X | X | X |
| Compressors | | | | | | | | | | | |
| - higher efficiency | X | Y | Y | All types | Increased by 20% over past 20 years | Advanced compressor | 20% (MT), 30% (LT) | neg. | X | X | X |
| - Inverter driven | X | Y | Y | All types | Better PL efficiency; with/out PFC | Inverter, dedicated compressor | 40% | 2 × non-inverter | X | X | X |
| - motor efficiency controllers | | Y | L | All types | Regions having poor mains power; not needed for Variable Speed Drive (VSD) | MEC device | 10% | n/k | X | X | X |
| - two stage compression | X | Y | L | Mainly for R744 | | Two (smaller) compr; two roller rotaries | 5% | 20 – 40% | X | X | X |
| - economisers / inter-stage coolers | X | Y | L | Mainly for R744 | | Special compressor + flash vessel or HX | 15% | n/k | X | X | X |
| Expanders | X | Y | L | Mainly for R744 | | Expander / integrated compressor-expander | 30% | n/a | X | X | X |
| Cabinet lighting | | | | | | | | | | | |
| - LEDs | | Y | Y | All types | Now standard | LED lamps | 50% on lighting | <0% | X | X | X |
| - occupancy sensors | | Y | Y | mainly for non-perishables | On demand lighting | Proximity sensors | 10% | <0% | X | X | X |
| Defrost techniques | | | | | | | | | | | |
| - hot gas, reverse cycle | | Y | L | Freezers, shortens time, product quality | Increases leaks, faults | Valve | 5% | 3% | X | X | X |

| Option | Applicable to ref circuit | Available today? | Presently in use? | Applicable to what SCCRE? | Remarks | Necessary component(s) | Max potential EE improvement of entire SCCRE | Indicative additional cost for SCCRE | Applicability to climate region | | |
|---|---------------------------|------------------|-------------------|---------------------------------|--|---------------------------------|--|--------------------------------------|---------------------------------|-----|-----|
| | | | | | | | | | LAT | MAT | HAT |
| - resistance heaters | | Y | Y | MT and LT cabinets ¹ | Preferred reliable | Heater rods | n/a | n/a | X | X | X |
| - off-cycle | | Y | Y | HT and MT cabinets | Eliminates defrost energy | none | 10% | <0% | X | X | X |
| - on demand control | | Y | Y | All types | Defrosts when needed | Sensors, controller | 10% | <5% | X | X | X |
| Controls | | | | | | | | | | | |
| - dual port thermostatic expansion valve (TEV) (balanced) | X | Y | N | Open type | Evens evaporator load | TEV | n/k | n/k | X | X | X |
| - dynamic demand controllers | | Y | Y | All types | Manages energy use | Sensors & controller | 40% | Various | X | X | X |
| - electronic expansion valves (EEV) | X | Y | L | Larger cabinets | Modulates evaporator pressure | EEV and controller | 20% | \$200 | X | X | X |
| - optimisation of capillary | X | Y | Y | All cabinets | | | Anything | Neg. | X | X | X |
| - suction pressure control | X | Y | L | Larger systems | Modulates evaporator pressure | (See VSC & EEV) | 2% per K increase | \$40 - \$400 | X | X | X |
| Reducing head pressure | X | Y | Y | Larger systems | Reduces press lift | Variable speed fans, controller | 2 – 4% per 1 K reduction | Various | | X | X |
| Ejectors | X | Y | L | Larger systems, R744 only | | Ejector valve | 20% or 30% with R744 | \$20 | | X | X |
| Heat exchanger (HX) design | | | | | | | | | | | |
| - optimised configuration | X | Y | Y | All types | Better heat transfer (HT), lower discharge pressure (DP) | HX materials | 0 to 40% of baseline | Neg | X | X | X |
| - optimised air fins | | Y | Y | All types | Better HT, lower DP | HX design | 10% | Neg | X | X | X |
| - internal rifling | X | Y | Y | All types | Better HT, lower DP | HX design | 5% | Neg | X | X | X |
| - internal fins | X | Y | Y | All types | Better HT, lower DP | Internal fins | 5% | Neg | X | X | X |
| - hydrophobic coating | | Y | L | All types | Mainly for conds, reduces dust and corrosion | Coating | 5% | Neg | X | X | X |

¹ LT: Low Temperature, around -18°C; MT: Medium Temperature, around 0°C to 8°C

| Option | Applicable to ref circuit | Available today? | Presently in use? | Applicable to what SCCRE? | Remarks | Necessary component(s) | Max potential EE improvement of entire SCCRE | Indicative additional cost for SCCRE | Applicability to climate region | | |
|---------------------------------|---------------------------|------------------|-------------------|---------------------------|---|------------------------|--|--------------------------------------|---------------------------------|-----|-----|
| | | | | | | | | | LAT | MAT | HAT |
| - hydrophilic coating | | Y | L | All types, evaporators | Anti-corrosion; reduce water layer thickness | Coating | 5% | Neg | X | X | X |
| - flooded evaporators | X | Y | N | Larger systems | added to R744 | Float v, surge drum | 5% | n/a | X | X | X |
| Other heat load | | | | | | | | | | | |
| - radiant reflectors | | Y | Y | Any glass | Reflects infrared (IR) | Internal surface | 8% | Neg | X | X | X |
| - night blinds and covers | | Y | Y | All types | Can reduce IR and infiltration | Night blinds, covers | 20% | \$300 | X | X | X |
| - improved glazing | | Y | Y | Any glass | Reflects IR | New glass | 5% | 5% | X | X | X |
| - anti-sweat heater control | | Y | Y | Any with AS heaters | Minimise heat load | Controller, sensors | 3% | Neg. | X | X | X |
| - refrigerant line trim heaters | | Y | Y | LT cabinets | Instead of resistance heaters | Extra piping | 10% to 25% | Neg. | | X | X |
| - vacuum insulated panels (VIP) | | Y | N | All types | Reduces thermal cond. | VIP | 15% ² | \$400/m ² | X | X | X |
| Heat pipes | | Y | N | All types | In cabinet shelves, improving product temperature | Integrated heat pipes | 12% | n/k | X | X | X |
| Leak minimization | | | | | | | | | | | |
| - improved leak tightness | Y | Y | Y | All types | Degrees of improvement | Manufacturing kit | 20% | 10% | X | X | X |
| - leak detection | Y | Y | L | All types | Previously on large system | Sensors | 15% | 10% | X | X | X |
| Liquid pressure amplification | X | Y | N | Larger systems | | Liquid pump | 25% | 30% of compressor cost | X | X | X |
| Liquid-suction HX (LSHX) | X | Y | Y | All types | Brazing pipes together | LSHX | 0% | Various | X | X | X |
| Pipe insulation | | Y | Y | All types | Normal practice | Pipe insulation | 3% | n/k | | X | X |
| Higher efficiency refrigerant | X | Y | Y | All types | See RTOC 2014, 2018 | Refrigerant | RTOC 2014, 2018 | +/- | X | X | (X) |
| Nanoparticles in refrigerant | X | Y | N | All types | Experimental, concerns | nanoparticles | 20% | \$20 – 100 | X | X | X |

² Clodic and Zoughaib (2000).

Annex IV

AVAILABILITY OF COMPONENTS FOR AIR-CONDITIONING EQUIPMENT WITH LOW- AND MEDIUM-GLOBAL-WARMING POTENTIAL REFRIGERANTS

This annex presents information on availability and EE aspects relating to AC equipment.

Availability of compressors for AC equipment

1. The most common form of AC equipment, mini-split ductless systems, mainly use rotary type compressors. The simplest form of rotary compressor is “fixed-speed,” meaning it only has two modes: “on” or “off”. It turns on to cool a room and turns off once the room has reached the desired set temperature. “Variable-speed” compressors are inverter-driven and can operate at more than one speed to more efficiently and comfortably deliver the amount of cooling needed and maintain the desired temperature. The variable-speed units require electronic control systems, which can add to manufacturing costs.
2. Nearly all rotary compressor production is currently located in Asia and concentrated in China, as shown in Figure 5. Compressor manufacturing outside of China in descending order of capacity as of 2018 include Thailand, South Korea, Malaysia, Japan, India, Brazil, and the Czech Republic.



Figure 5. Global RAC Rotary Compressor capacity as at September 2018 (Nicholson et al 2019)

3. China is by far the world’s largest producer of compressors for room air-conditioner, with an estimated annual capacity of nearly 200 million units per year. In 2018, the four largest compressor manufacturers in China together accounted for over 60 per cent of global rotary compressor production capacity.
4. An analysis of company catalogues and websites found that rotary compressors using higher-GWP HCFC-22 and R-410A refrigerants accounted for the majority of models available worldwide in 2018, although many companies, mostly in Asia, now offer both fixed-speed and variable-speed compressors which use medium- and low-GWP HFC-32 and HC-290 refrigerants. However, the analysis found that none of the variable-speed compressor models identified use HCFC-22. In China, 42 per cent of the 167 million rotary compressors produced in 2017 were of the variable-speed type, compared to five years earlier in 2012, when these were only 30 per cent of 103 million.

5. Approximately 30 per cent of the rotary compressors produced in China in 2017 were designed to operate with the HCFC-22 refrigerant. While the quantity of HCFC-22 units has remained approximately constant over the past several years (Figure 6), the percentage of HCFC-22 units has declined in recent years, as the production of units using R-410A has increased to become the dominant type in China-produced rotary compressors.

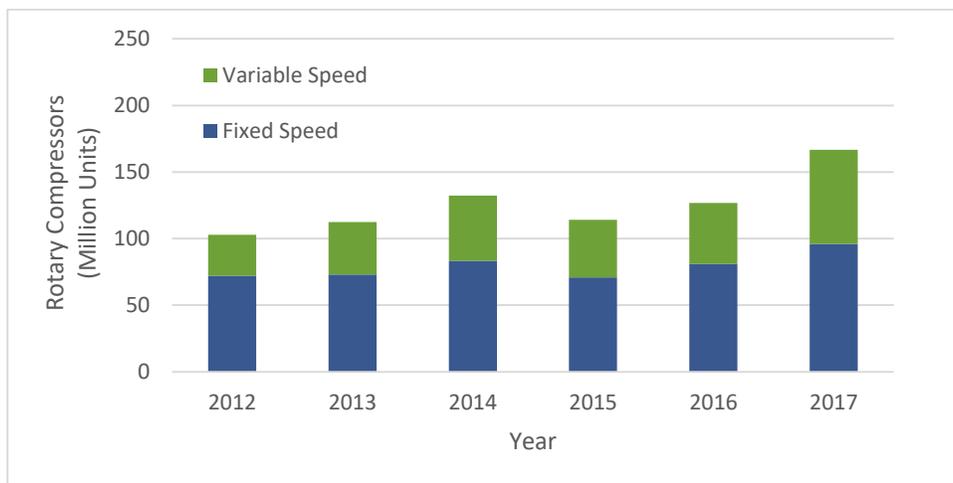
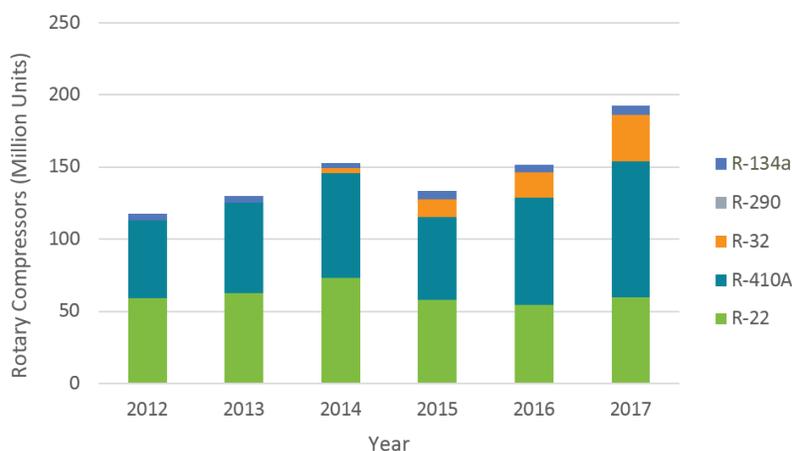


Figure 6. Chinese production of Fixed and Variable Speed Rotary Compressors, 2012-2017

6. Compressors for medium- and lower-GWP refrigerants (HFC-32 and HC-290) are mainly made in China.



Source: ChinaIOL

Figure 7. Chinese Production of Rotary Compressors by Refrigerant, 2012-2017

Note: HFC-134a rotary compressors are primarily used in mobile cooling applications, in contrast to the rest of the rotary compressor market which is used mainly for room (stationary) AC

7. As can be seen from the chart, the production of HC-290 compressors is not significant compared to the other refrigerants.

8. Some Middle East countries, especially with HAT conditions, continue to use reciprocating and scroll compressors in some of their production. Only a few rotary compressors are used for split AC units. Compressors operating at HAT conditions have specific design requirements (e.g. higher starting torque against the higher standing pressure during the off cycle; a motor-design suitable for those conditions). The technology for 2-ton units running on A2L refrigerants is available; however, commercial availability of compressors will depend on the demand.

9. The transition from fixed-speed to inverter compressors has sharply increased in the last five years to meet MEPS requirements, even though MEPS in some countries still list the full load efficiency figures only, rather than the seasonal efficiency figures. This is the case for Saudi Arabia where most of the AC units are fixed speed.

10. New compressor lubricants are being developed to be compatible with low-GWP synthetic refrigerants. Certain conventional polyester (POE) and polyvinyl ether (PVE) oils used for HFC refrigerants were insufficiently miscible with some refrigerants like HFC-32. New oils with better miscibility properties have been developed and patented for room AC use.

Availability of heat exchangers for AC

11. In most cases, the heat exchangers continue to be of the “fin-and-tube” type made from copper or aluminium. However, many companies are switching to use smaller tube diameter and micro-channel heat exchangers, which are already used in existing high-GWP AC split units. The most commonly used heat exchanger tube diameter for standard high GWP refrigerant are 3/8-inch (9.525 mm), 1/4 inch (6.35 mm), and 7mm (~1/4 inch) tube diameter, but for the new refrigerants, some companies are using tubes of 5 mm diameter. These higher energy efficiency components reduce the refrigerant charge and are valuable in enabling medium and lower GWP refrigerant AC units to comply with safety standards. They are widely available. More information on heat exchangers in section 3.2.3 of TEAP Task Force report 2019.

Availability of fans for AC

12. Each split unit contains two fans (one in the outdoor unit and one in the indoor unit). Fan technologies are widely available. There are no special requirements for using efficient fans for medium and lower-GWP refrigerants.

Availability of refrigeration accessories for AC

13. The accessories for the refrigeration circuit used in the split AC units include the expansion device, liquid and gas valves, suction accumulator, liquid receiver, oil separator (if needed), and all accessories installed in the connecting pipes between all major components of the AC unit either in the gas side or liquid side of the unit. All of these components and accessories are available for high-GWP refrigerant applications and can be used for the medium- and low-GWP applications.

Annex V

AVAILABILITY OF COMPONENTS FOR AIR-CONDITIONERS AND SELF-CONTAINED COMMERCIAL REFRIGERATION EQUIPMENT LOW- AND MEDIUM-GLOBAL-WARMING POTENTIAL REFRIGERANTS

This annex presents information on availability and energy efficiency aspects relating to SCCRE.

Availability of compressors

1. A variety of different compressors are used in SCCRE, depending upon temperature lift, capacity, refrigerant type, and so on. For most types of compressors, efficiency improvements arise from marginal incremental refinements (such as oil distribution, valve losses, motor efficiency, internal leakage, flow path pressure losses, internal heat transfer, etc.). One major technological progression involves use and deployment of variable speed compressors, typically using inverter technology to enable the control of rotational speed over a fairly wide range. Variable speed compressors allow the mass flow of refrigerant to be adjusted to suit the cooling (or heating) demand so that the system components are essentially closer to the optimal balance point for the surrounding temperatures. Implicit in this is the lower mass flow (at sub-maximum load) which leads to reduced pressure losses and less frosting.
2. Usual compressors are hermetic reciprocating, scrolls and rotary (both vertical small print and horizontal when height restrictions apply). The remaining compressor developments have arisen from the increased use of R744, where much higher pressures, pressure ratios and pressure differences are present, compared to usual refrigerants. Although many of these developments are in principle beneficial to other refrigerants, they result in a costly approach for minor efficiency improvements.
3. The applicability to a specific climate/region depends more on daily or annual variation in temperature, rather than absolute high or low temperature.

Improved cabinet air flow

4. Improved cabinet air flow has a potentially huge impact on energy use and also product quality. Various physical approaches are available such as changes to configuration of air ducting and small plastic baffles and plates. Most are broadly cost-neutral but just require extensive R&D.

Energy-efficient fan/motors

5. Major transformation has occurred in the shape of electronic commutation (EC) motors, which offer significant reduction in energy use. Further benefits arise from design of fan structure and blade shape.

Doors on cabinets

6. Intuitively the use of doors on display cabinets should yield major energy benefits by retaining cold air and preventing spillage and entrainment of warm humid air. Major improvements are associated with “vertical” type cabinets, where infiltration ordinarily contributes to about 70 – 80 per cent of the heat load. The benefits are less with gondola (also known as well or coffin) type cabinets where infiltration is responsible for about 20 per cent of the load. Gaskets around glass doors also amplifies the benefit of using door.

Cabinet lighting

7. Historically SCCRE used fluorescent lamps but presently LEDs are almost ubiquitous. LEDs use less power and also reduce heat output (thus reducing heat load).

Defrost techniques

8. Historically a variety of defrost techniques have been used, including reverse cycle, hot gas, cool gas as well as electrical resistance heaters on “off-cycle” where air is continued to be passed over the frosted coil but with absence of refrigeration. Whilst reverse cycle, hot gas and cool gas defrost offer more efficient defrosting, they tend to be more costly to implement and have other implications that affect system reliability, such as causing thermal shock and thus increasing leakage. The most beneficial development related to defrost is control methodology so that defrosting-on-demand can be applied.

Controls

9. In addition to improved cabinet airflow, and in parallel with variable speed compressor drives, the most significant contribution to SCCR equipment (SCCRE) efficiency improvement has come from modern control technology. Application of the electronic expansion valve (EEV) and associated control software can yield substantial improvements in EE, although at present there is only limited application in SCCRE due to the relatively high cost, compared to other technologies. Control systems linking compressor modulation, EEVs, defrost-on-demand, lighting, trim-heaters, fan airflow rates as well as leak detection based on system parameters can have a major influence on energy consumption and optimisation of cycle efficiency. Adjusting the cooling to the use pattern e.g. while keeping the product at, say, 3°C if the shop is closed (such as during weekends, etc.). The set-point temperature can be adjusted to achieve the optimum balance between run time and pull-down energy demand. Such techniques are not applicable to perishable products.

Heat exchanger design

10. Features related to heat exchanger design are diverse and given the variation on SCCRE design, construction and function, it is difficult to make general statements on how much EE improvement particular approaches can offer and what the potential improvements could be. Target heat exchanger approach temperature difference should be below 5 K, for both evaporator and condenser. Often it depends upon the skill and knowledge of heat exchanger designers and manufacturers. In general, it is common practice today to use microchannel heat exchangers (MCHX) for condensers and brazed plate heat exchangers (BPHX) for liquid-cooled condensers, which simultaneously offer advantages in terms of charge reduction (preferred for flammable refrigerants). For smaller capacity units, wire-on-tube (WoT) condensers are used, which are low cost and provide sufficient levels of EE. The major advantage is however, that degradation due to dust accumulation over time is substantially.

Heat load

11. Lowering the heat load into the SCCRE helps reduce energy consumption per m² or per m³ of refrigerated space, although it does not necessarily impact on the refrigeration cycle efficiency. Most approaches are based around limiting thermal transfer from electrical components, minimising radiant heat transfer from the surroundings and reducing conduction into the space.

Leak minimisation

12. Whilst leak minimisation is a priority for the application of flammable refrigerants, actions to retain the entire charge can significantly contribute to maintaining the “design” efficiency of a SCCRE. A deficit of refrigerant charge can go unnoticed until a certain level is reached, but in the meantime the compressor operates longer, and cycle efficiency degrades.

13. Whilst many of these technologies can in isolation produce substantive improvements in EE, combining two or more technologies will not result in summation of both improvements. Considered selection and iteration of implementation is necessary to obtain the most cost-effective benefit.

14. Many of the “older” technologies are now becoming redundant since newer technologies help bypass the need for others. For example, locating fan motors outside the cabinet is no longer worth the effort, when new EC fan motors only emit a fraction of heat of previous fan types

15. National or regional MEPS are the main driver for improving EE. Historically “in-situ” direct testing of energy use was riddled with misinterpretation and misunderstanding of measurements and results. Increasingly more rigorous methods are being developed. However, one of the main challenges is conducting tests that mimic real life conditions, which can vary widely and drastically affect comparative results.

16. Regulators in certain regions have introduced MEPS. However, the process has been turbulent in many cases due to the basis (dominator) for determining energy consumption, i.e., per internal volume, per display area, etc.

Annex VI

ADDITIONAL COSTS RELATING TO PRODUCTION LINE AND COMPONENT CHANGES FOR PRODUCING DOMESTIC AIR-CONDITIONERS USING FLAMMABLE REFRIGERANTS AND COST AND PERFORMANCE ANALYSIS OF ENERGY EFFICIENT REFRIGERATION AND AIR-CONDITIONING EQUIPMENT

1. Production line changes and additional requirements (modifications) to produce domestic AC units with flammable refrigerants will require production line equipment modifications and or replacements on each line including:

- (a) Refrigerant recovery and charging machines for both A2L and A3 refrigerants (US \$25,000 – US \$50,000)
- (b) Pressure testing equipment for high pressure refrigerant A2L (HFC-32) (US \$15,000 – US \$30,000)
- (c) Refrigerant storage tank and accessories (3000 to 10000 litre) US \$15,000 – US \$40,000)
- (d) Structural and safety modifications in the refrigerant charging area (including electrical panels, piping, anti-static floors and accessories) (US \$15,000 – US \$25,000)
- (e) Modifications to the finished product testing areas (US \$10,000 – US \$20,000)
- (f) Modifications for heat exchanger production line for tooling for smaller tube diameter, or establishment of new production lines for micro-channel heat exchanger (US \$1,000,000 – US \$1,500,000). It should be noted that smaller diameter or microchannel heat exchanger, the material cost is significantly reduced.
- (g) Labour costs differ between countries, but extra costs will come in two main categories:
 - (i) Staff training to build capacity in dealing with flammable refrigerants and their safety requirements.
 - (ii) Additional staff cost to use more skilled workers.

2. The estimated cost for these items varies between countries and depends on the source of the equipment and availability of parts. For example, the cost of a refrigerant charging machine from China is 30 per cent lower than buying the same specification machine from Europe (in the range US \$25,000 – US \$50,000). There is additional cost in the finished product testing area for flammable refrigerant compared to non-flammable refrigerants, due to the additional piping, isolation valves and gas leakage sensors (5 to 10 sensors at ~ US \$500 each) that are required in many locations.

Safety measures

3. Additional ventilation and fire-fighting equipment is required in the charging area, for safe manufacture any units for either A2L or A3 refrigerants with estimated costs as follows:

- Charging area ventilation system (US \$10,000 – US \$20,000)
- Charging area firefighting system including sprinklers and water storage tanks (US \$20,000 – US \$30,000)

Testing

4. Testing facilities are required at two locations, the production line and the laboratory for testing A2L and/or A3 refrigerants with the following estimated costs:

- The production line testing area (US \$50,000 – US \$75,000)
- The laboratory for product development (US \$50,000 – US \$75,000)

IP/technology know-how

5. The costs of technology transfer including IP and know-how are estimated as follows:

- Software (either developed in-house or outsourced from another specialized company: (US \$0 – US \$50,000)
- Building prototype(s) to verify performance and validate the software: (US \$10,000 – US \$20,000)
- IP cost is unknown but may be a royalty (in licensing) or a one-off license payment. For many A2L refrigerants there is substantial IP in terms of design of the refrigerant supply but moreover for system design, etc. With A3 refrigerants there is only very limited IP, and this is generally associated with “gadgets” and are thus not critical to their application.

Logistics

Shipping

6. This will include the additional shipping cost due to flammability for all material and/or components required for the manufacturing of the AC and CR equipment, and the additional cost of shipping finished goods either internally or abroad. This differs between countries. As an example, the shipping cost of a 40 ft container of flammable refrigerant from China to Jordan is US \$1,900 compared to US \$1,500 for non-flammable refrigerant. Some countries customs and clearance processes cost an additional 3-5 per cent.

Handling

7. This includes the cost of handling and storage of the flammable refrigerant and or finished product inside the manufacturing facilities and preparing it for inland, sea and air freight shipments. The handling process inside the factory requires the following precautions which increase the cost including:

- Storage of flammable refrigerant can be either inside a storage tank or smaller refrigerant cylinders, but both need adequate ventilation, and leakage monitoring systems: (US \$20,000 – US \$30,000)
- Handling the refrigerant and finished products inside the factory requires additional safety measures for transportation between the production departments and storage areas: (US \$10,000 – US \$15,000)
- Additional factory insurance and product liability insurance for flammable refrigerants: (US \$8,000 – US \$20,000)

Installation

8. This will include the additional costs of the training and awareness programs under the local jurisdiction; the extra cost of the certification and approvals from the jurisdiction party(s) to comply with the local building codes; international certification requirements to meet safety standards required in many countries for in the domestic A/C and commercial refrigeration equipment using flammable refrigerants.

9. This can be in different categories with the following estimates for costs:

- (a) Training and awareness programmes with certification of workers, workshops etc. (US \$10,000 – US \$20,000)
- (b) The certification cost for the new products (depending on the number of models needing to be certified, and the test standards requirements IEC, ISO, etc. (US \$10,000 – US \$15,000)

Overall costs summary

10. In summary, the overall costs, excluding shipping costs, are shown in Table 1 below. From this one can conclude the following at an overall level.

- (a) The investment required to convert an RAC manufacturing facility to flammable refrigerants is in the range of 300,000 – 500,000 USD.
- (b) The additional investment required to maximise energy efficiency by the establishment of new production lines for micro-channel heat exchangers is in the range 1,000,000 – 1,500,000 USD

Table 1: Estimates of the manufacturing costs for energy efficient RAC equipment containing low- and medium-GWP flammable refrigerants.

| Conversion measure (USD) | Minimum | Maximum |
|---|-----------|-----------|
| Manufacturing | | |
| Production line | | |
| Refrigerant recovery and charging machines for both A2L and A3 refrigerants | 25,000 | 50,000 |
| Pressure testing equipment for high pressure refrigerant A2L (HFC-32) | 15,000 | 30,000 |
| Refrigerant storage tank and accessories (3000 to 10000 Litre) | 15,000 | 40,000 |
| Structural and safety modifications in the refrigerant charging area (including electrical panels, piping, anti-static floors and accessories) | 15,000 | 25,000 |
| Modifications to the finished product testing areas | 10,000 | 20,000 |
| Modifications for heat exchanger production line for tooling for smaller tube diameter, or establishment of new production lines for micro-channel heat exchanger | 1,000,000 | 1,500,000 |
| Safety measures | | |
| Charging area ventilation system | 10,000 | 20,000 |
| Charging area firefighting system including sprinklers and water storage tanks | 20,000 | 30,000 |
| Testing | | |
| Production line testing area | 50,000 | 75,000 |
| Laboratory for product development | 50,000 | 75,000 |
| IP/technology know-how | | |
| Software | 0 | 50,000 |
| Building prototype(s) to verify performance and validate the software | 10,000 | 20,000 |
| IP costs ¹ | variable | variable |
| Logistics | | |
| Shipping | | |
| Additional costs | 3% | 5% |

¹ Please refer to section 3.1.1 discussion on IP related costs

| Conversion measure (USD) | Minimum | Maximum |
|---|------------------|------------------|
| Handling | | |
| Storage of flammable refrigerant can be either inside a storage tank or smaller refrigerant cylinders, but both need adequate ventilation, and leakage monitoring systems | 20,000 | 30,000 |
| Handling the refrigerant and finished products inside the factory requires additional safety measures for transportation between the production departments and storage areas | 10,000 | 15,000 |
| Additional factory insurance and product liability insurance for flammable refrigerants | 8,000 | 20,000 |
| Installation | | |
| Training and awareness programmes with certification of workers, workshops | 10,000 | 20,000 |
| Certification cost for the new products (depending on the number of models needing to be certified, and the test standards requirements IEC, ISO) | 10,000 | 15,000 |
| Total without micro-channel heat exchanger production line or shipping) | 303,000 | 535,000 |
| Total with micro-channel heat exchanger production line (excluding shipping) (USD) | 1,300,000 | 2,035,000 |

AC: Cost of components

11. The relative costs of energy efficient components are compared for a 3.5 kW mini-split in China. The baseline uses R-410A (APF 4.0) and HCFC-22 (EER 3.5) appliances. Certain components discussed in the following sub-chapter also apply to commercial refrigeration. These components will not be discussed in the chapter 3.3.

Refrigerant

12. Conventional refrigerants account for about 1 per cent of the total AC cost. The price of refrigerant always decreases with increasing consumption. Indicative prices of refrigerants commonly used in AC in China are shown in Fig 1. It is worth noting that in UK, the bulk HC (HC-290, HC-600a, HC-1270) price varies between USD 1 to USD 1.5 per kg. Furthermore, the average HCFC-22 price is USD 6/kg.

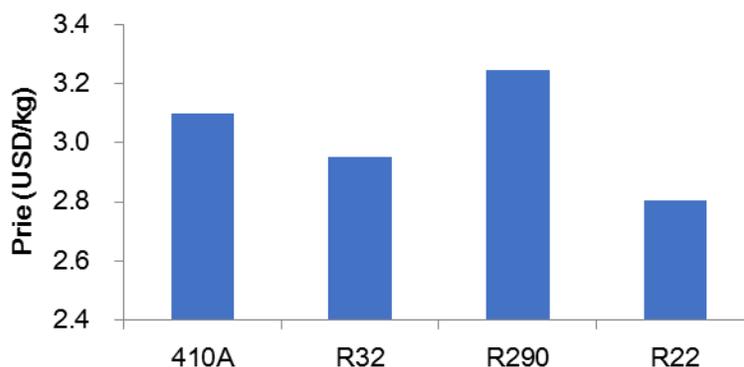
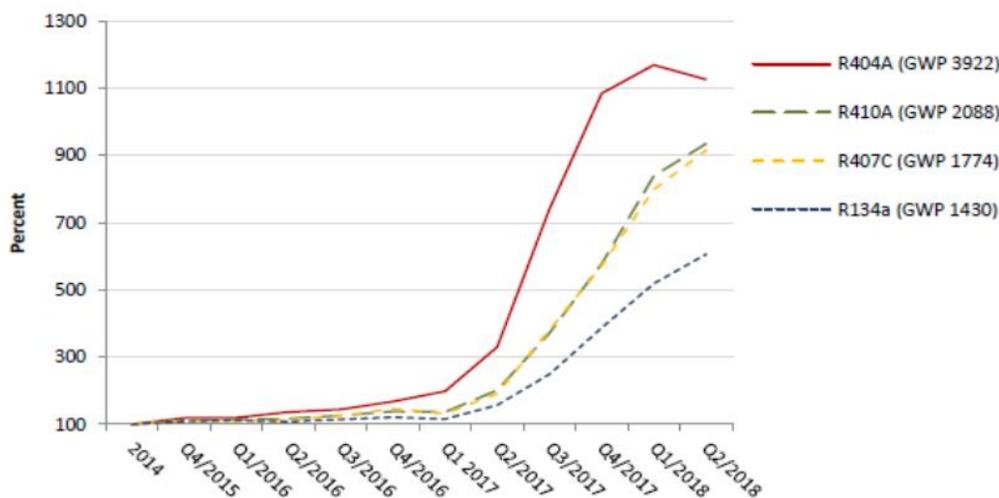


Figure 1. Estimates of refrigerant prices in China

13. The general price range of refrigerants is low, around 3 USD/kg +/-10 per cent. At an early stage, new refrigerants are more expensive, and difficult to get a foothold in the market. For example, R-290 is a by-product of the liquified natural gas (LNG) industry. Its production process is simpler than HFC-32, but its current price is slightly higher than HFC-32. However, when buying in bulk quantities, refrigerant-grade propane can be as low as US \$1 per kg.

14. The cost of high-GWP HFCs will rise with the implementation of the F-gas regulation and Kigali amendment, both of which impact the competitiveness of products containing HFCs. For example, the quoted price of R-410A in Europe went up tenfold over 2017, and in 2018 is ~ 20 Euro/kg, which far exceeds the material cost of the refrigerant itself. This increases the competitiveness of medium- and low-GWP alternative refrigerants and greatly promote the commercialisation of environmentally friendly refrigerant technologies.



Source: Ökorecherche 10/2018, Monitoring of HFC prices in the EU

Figure 2. HFCs quota price trend in Europe (Ökorecherche, 2018)

Compressor

15. The compressor accounts for about 20 per cent of the total cost of AC systems. Improving compressor efficiency represents one of the most direct and effective measure to improve an air-conditioner's efficiency. Rotary compressors are the most commonly used. Piston compressors are used in some window air-conditioner especially in the Middle East, whilst scroll compressors are often used in lighter commercial products. Today, modern compressors have an efficiency of about 70 per cent. The majority of the losses are electrical and mechanical, with the remainder due to internal refrigerant leakage.

16. The most effective way to improve the efficiency of a compressor is to use a higher efficiency motor, but lower scale improvements can also be obtained using refrigerants with properties that provide higher thermodynamic efficiency, reducing inner leakage and mechanical friction. These will increase the cost of materials and manufacturing costs. Efficiency can be improved by up to 20 per cent by technical advances, but cost increases proportionately.

Heat exchangers

17. Finned tubes are the most commonly used heat exchangers for AC. The heat exchanger efficiency is mainly determined by the heat transfer coefficient, area and the flow friction and has a major impact on the system's cooling/heating capacity. The smaller the heat transferring temperature difference (i.e. the larger heat transferring coefficient multiplied by the area) and the smaller the flow friction, the higher the heat exchanger efficiency, which can be achieved. Measures to improve efficiency include heat transferring enhanced copper tubes and fins, increasing air volume, reducing contact thermal resistance between fins and copper tubes, improving manufacturing processing to reduce the damage to the heat transfer enhancing structure, and increase of the surface area and to improve the contact between tubes and fins. Most of these increase the cost of manufacturing. Recent considerations such as reducing the heat exchanger volume to

reduce the volume of refrigerant and the use of thinner tubes (<5mm diameter) have not yet been assessed in terms of manufacturing costs

18. The relationship between the heat transfer efficiency of finned tubes to the system energy efficiency, and accordingly increased cost are shown in the figure below. Both found a proportionate increase in heat transfer efficiency in relation to cost.

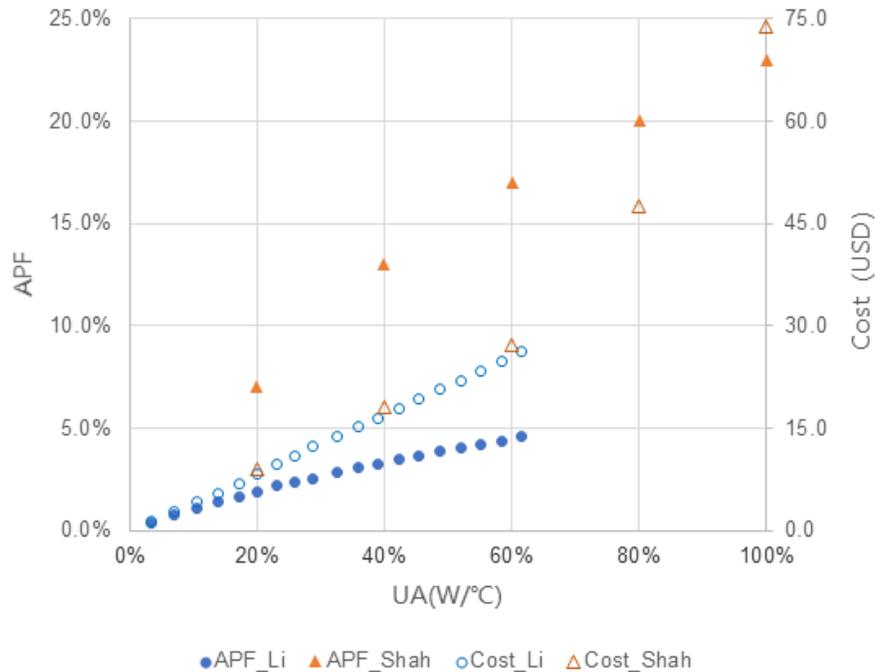


Figure 3. Heat exchanger cost and air-conditioner efficiency changing with heat exchanger efficiency

19. Micro-channel heat exchangers have a different mechanical structure, and approximately 40 per cent higher heat transfer efficiency than finned tube exchangers, due to:

- Higher air side heat transferring efficiency (larger tube area facing the airflow, with tubes connected with the fins by welding or by metal forming², rather than by expansion);
- Less refrigerant flow resistance due to shorter and more direct tubes;
- Higher refrigerant heat transfer coefficient
- Reduced system refrigerant charge by as much as 40 per cent.

20. Micro-channel heat exchangers require more complex to develop and are difficult to use them as evaporators. In addition, they can have higher maintenance costs because they are made from aluminium and the weld points can corrode in some conditions. Nevertheless, compared to finned tube heat exchangers, micro-channel heat exchangers have similar or marginally lower (~5 per cent) cost for the same capacity, and have higher (0-5 per cent) efficiency.

² Metal forming, is the metalworking process of fashioning metal parts and objects through mechanical deformation; the workpiece is reshaped without adding or removing material, and its mass remains unchanged

Fans/motors

21. There are two main types of fan motor used in air-conditioners - direct current (DC, efficiency 70 per cent) and alternating current (AC, efficiency 30 per cent). DC motors have a much higher efficiency but are almost double the cost compared to AC motors.

22. AC efficiency can be improved by increasing airflow rate. The air volume flow is proportional to the power of the fan. There is an optimum airflow rate at which the air-conditioner has highest efficiency. If the airflow is less than the optimum, increasing airflow benefits the system efficiency. However, if airflow rate is greater than the optimum then system efficiency declines due to additional power needed to overcome high-pressure loss that has a diminishing benefit to heat transfer. The cost of the fan and motor increases with increasing airflow rates in a stepwise fashion, because a single fan/motor can cover a range of airflow rates. Selecting the correct fan for cost versus efficiency varies from case to case. As can be seen, there is an optimal fan speed, above which efficiency declines and cost increases.

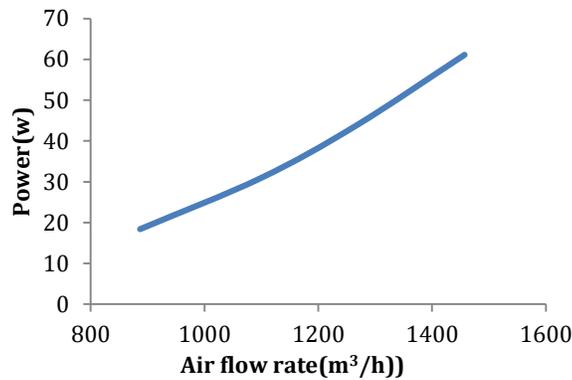


Figure 4. Schematic of fan power changing with airflow rate

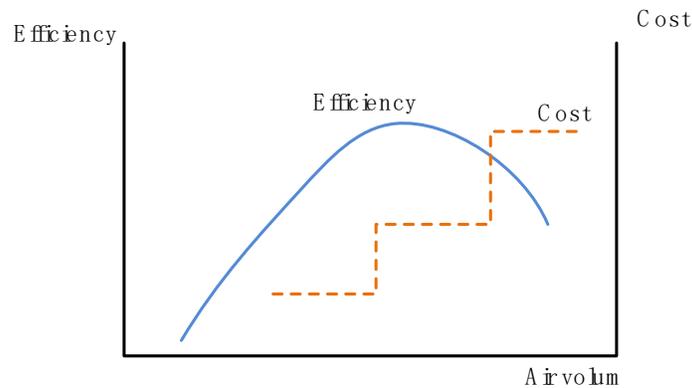


Figure 5. Schematic of air-conditioner efficiency and motor cost changing with air flow

Maintenance; self-cleaning

23. Most air-conditioners will have 5-10 per cent decline in efficiency during their lifetime, mainly due to dust deposition on heat exchange surface, the more complicated the fin geometry and the more rows of tubes, then the greater the dust deposition. As a result, the resistance to airflow increases and the air flow volume decreases, which reduces the efficiency of the heat exchanger and of the air-conditioner. Therefore, regular maintenance and cleaning of the AC system is essential in maintaining energy efficiency.

Increasingly, new products have a self-cleaning design at an additional cost of about \$20 (Task Force estimate).

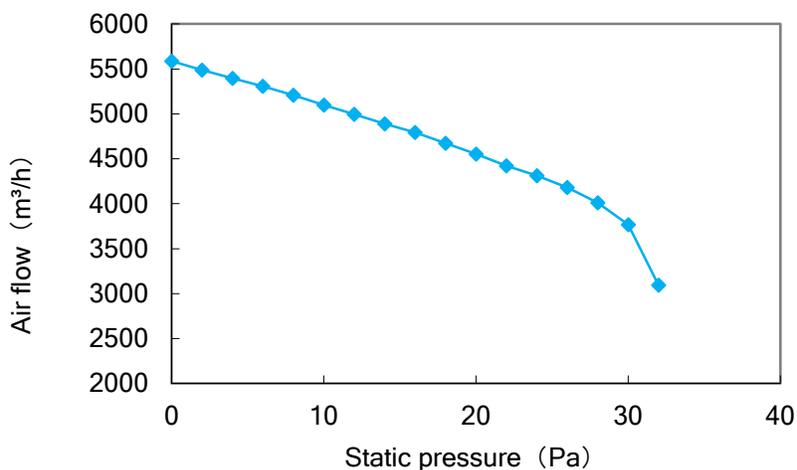


Figure 6. Schematic of airflow decrease changing with static pressure increase, to mimic dust build-up

Retrofit technologies

24. Several retrofit technologies offer EE improvements compared to baseline technologies. Some of these retrofit technologies include for room AC:

- Electronic, programmable, and self-learning Wi-Fi-enabled thermostat (estimated at 5 per cent energy saving);
- Central control system (estimated at 10 per cent energy saving); and
- Replacement of indoor and outdoor fan motors with variable speed ECM motors.

25. For commercial self-contained AC units, retrofit technologies include:

- Digital controllers to improve the compressor and fan controls;
- Adding doors/shields to vertical self-contained units;
- Replacing lighting with LED (reduce load and power draw); and
- Changing the thermostat set-point and reduce the glass-door heater power requirement
- Install anti-fog films on glass doors and deactivate glass door heaters (reduce load and power draw).

Costs of components for higher EE, specific to CR

26. As discussed in the previous sub-chapter, the energy consumption associated with a CR appliance is dictated not only by the system design and its components but also the construction of the equipment that is often unrelated to the system. Thus, there are a variety of elements that can be applied to commercial refrigeration appliances that may or may not be affected by the refrigerant type. Their cost can vary widely, depending upon the type of appliance, its size and also its function.

27. Table 2.7 in Chapter 2 of TEAP task force report lists all the often-considered options for improving SCCRE energy consumption; there are of course other options, but which may be applicable to non-self-contained or centralised type systems. The options have been broadly categorised according to its function, for example, improving airflow, improving fan energy, reducing heat load and so on. Of course, the effectiveness and cost of most of these options are interrelated. As noted above, the indicative additional

costs are applicable to certain classes of SCCRE, but also the size of the appliance; most of these apply to a 1.2 m or 2.5 m length cabinet.

System design and optimization

(ii) Cost-neutral EE upgrades

28. EE is one of the main design features that product development engineers consider during the development of new platforms, however, there are several other important factors that impact the design including manufacturability, reliability, cost, performance, etc. An engineer will always consider cost-neutral EE upgrades, whilst potentially improving other features. Some of the relevant examples of cost-neutral or cost-reduction EE upgrades include:

- (a) Micro-channel heat exchangers;
- (b) Improved fan designs;
- (c) Optimized air flow distribution;
- (d) Higher efficiency compressors; and
- (e) Evaporator and Condenser design optimization (within certain limits)

(ii) Additional cost savings opportunities from EE measures

29. Some EE measures should be studied holistically, as they can increase or decrease costs elsewhere. For example, using brushless DC motors (electronically commutated motors, ECM) fans in commercial refrigeration units would require the use of more expensive electrical conductor (3- or 4-wires DC conductor instead of the usual 2-wires AC conductor). In contrast, a higher efficiency commercial refrigerator requires less electrical power and thus smaller electrical wire gauge and switches with a lower total installed cost.

30. All aluminium micro-channel heat exchangers reduce material cost, require lower refrigerant charge/cost, and because they are smaller and lighter result in reduced chassis cost, reduced cover cost, reduced packaging cost, and reduced transportation and storage costs.

(iii) System design and optimization case study: Sino - US CFC-Free Super-Efficient Refrigerator Project

31. During the phase-down of CFC refrigerants, parties were interested in providing energy efficient solutions. One of the major studies performed was the “The Sino - US CFC-Free Super-Efficient Refrigerator Project Progress Report: Prototype Design & Testing” to promote the transformation of the Chinese industry to the production of CFC-free, super-efficient domestic refrigerators. Technologies examined in that effort included:

- (a) Non-CFC refrigerants and foam-blowing agents;
- (b) Alternate refrigeration cycles;
- (c) More efficient compressors;
- (d) Optimization of condenser and evaporator designs;
- (e) Increased insulation thickness; and

- (f) Improvements to door gaskets and controls.

32. EPA (1997) reported that the China Household Electric Appliance Research Institute (CHEARI), the Haier Group, and the University of Maryland collaborated to build and test typical Chinese refrigerators, evaluate Chinese consumer opinion research on the marketing of ozone-friendly, energy-efficient refrigerators, and perform field testing for one year in three Chinese cities to test the performance of units under actual operating conditions. EPA (1997) concluded the following:

33. Laboratory tests have demonstrated that conversion from (CFCs) to alternative refrigerants and foam-blowing agents can be achieved along with substantial energy savings as shown Table 2.

Table 2: Summary of laboratory test results (EPA, 1997)

| Energy savings | Technology improvement options employed |
|-----------------------|--|
| ~20% | Lorenz cycle with non-CFC refrigerant blend |
| ~20% | Increased foam insulation (about 2 cm) to sides, back, bottom, and (1 cm) to both doors of cabinet |
| ~40% | Increased foam insulation and improved compressor |
| ~50% | Increased insulation, improved compressor, and Lorenz cycle with non-CFC refrigerant blend |

34. Chinese consumer opinion research showed that Chinese consumers care more about the quality of the product and they are willing to pay 20 per cent more for a higher quality product which consumes 40 per cent less energy than the models currently available.

35. The optimized models showed significant higher energy savings in the field than in laboratory tests; however, noise level was a concern with the field-tested units.