



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



Distr.  
GÉNÉRALE

UNEP/OzL.Pro/ExCom/83/42  
29 avril 2019

FRANÇAIS  
ORIGINAL: ANGLAIS

COMITE EXECUTIF  
DU FONDS MULTILATERAL AUX FINS  
D'APPLICATION DU PROTOCOLE DE MONTREAL  
Quatre-vingt-troisième réunion  
Montréal, 27– 31 mai 2019

**SOMMAIRE 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) ET (f)**

**Contexte**

1. À sa 82<sup>e</sup> réunion, le Comité exécutif a examiné un document préparé par le Secrétariat, contenant un sommaire des échanges entre les Parties à la 40<sup>e</sup> 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)<sup>1</sup>.
2. À l'issue de la discussion, le Comité exécutif a décidé, entre autres :
  - (e) De débattre, à la 83<sup>e</sup> 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'efficacité énergétique ; et
      - b. Les interventions techniques associées au maintien et/ou à l'amélioration de l'efficacité énergétique ;
    - ii) Les coûts, tels que les surcoûts, les possibilités de remboursement, les coûts du suivi et de la vérification ;

<sup>1</sup> UNEP/OzL.Pro/ExCom/82/65 et Add.1.

- iii) Les bienfaits environnementaux possibles, surtout ceux associés au climat ; et
- (f) De charger le Secrétariat de préparer pour examen par le Comité exécutif à sa 83<sup>e</sup> réunion, un sommaire du rapport du Groupe de l'évaluation technique et économique (GETE) sur l'efficacité énergétique, 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 hydrofluorocarbones.
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<sup>e</sup> 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 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

- (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. À la lumière de ce qui précède, le Secrétariat a préparé le présent document pour donner suite à la décision 82/83(e) et (f).

#### Portée du document

6. Le présent document 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'efficacité énergétique   |
| 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 <sub>2</sub>   |
| Section VI  | Projets de démonstration pour l'introduction de technologies à faible PRG et projets d'investissement autonomes pour les HFC  |
| 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) |

7. Conformément à la décision 82/83(f), l'information contenue dans le présent document provient du rapport du groupe de travail du GETE demandé dans la XXIX/10 sur les questions liées à l'efficacité énergétique ("rapport du groupe de travail du GETE") durant la réduction progressive des HFC, avec quelques modifications rédactionnelles<sup>2</sup>. 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.

8. 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 :

---

<sup>2</sup> 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.

- (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
- (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).

9. Le Comité exécutif pourrait aussi souhaiter prendre note du document intitulé "Document offrant de l'information sur les fonds et les institutions financières d'intérêt mobilisant des ressources pour l'efficacité énergétique qui pourraient contribuer à la réduction progressive des HFC (décision 82/83 d)" (UNEP/OzL.Pro/ExCom/83/41) qui examine le rôle des autres institutions intéressées par l'efficacité énergétique et qui n'est donc pas inclus dans le présent document.

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

10. 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 produits<sup>3</sup>. Durant la transition vers des frigorigènes de remplacement, l'industrie s'est efforcé d'améliorer la conception de l'équipement et des composants 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 composants 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.

11. Le plus grand potentiel d'amélioration de l'EE provient des améliorations du concept global du système et des composants qui peut engendrer des améliorations de l'efficacité (par rapport à un concept de référence) qui peuvent 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 composants 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.

12. 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.

13. 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

---

<sup>3</sup> 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.

conception des systèmes et les opportunités potentielles d'amélioration de l'EE. Dans ce type d'environnement, la conception de systèmes qui maintiennent l'efficacité énergétique 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.

14. 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 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.

15. 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 liées à l'énergie, des compétences et du savoir-faire variables des fabricants, des différentes stratégies de tarification, de mise en marché et d'image de marque des fabricants, et de 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.

16. 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.

17. 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 CO<sub>2</sub> 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<sub>x</sub>, de NO<sub>x</sub> et de particules, des émissions de CO<sub>2</sub> évitées, en plus des avantages économiques directs. Selon les différents environnements d'exploitation et les conditions météorologiques, les impacts des émissions de CO<sub>2</sub> peuvent varier.

18. 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.

19. 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'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE DANS LE CONTEXTE DE LA RÉDUCTION PROGRESSIVE DES HFC ET DE L'ADOPTION DE TECHNOLOGIES A PRG FAIBLE ET NUL**

20. 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 produits<sup>4</sup>. 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.

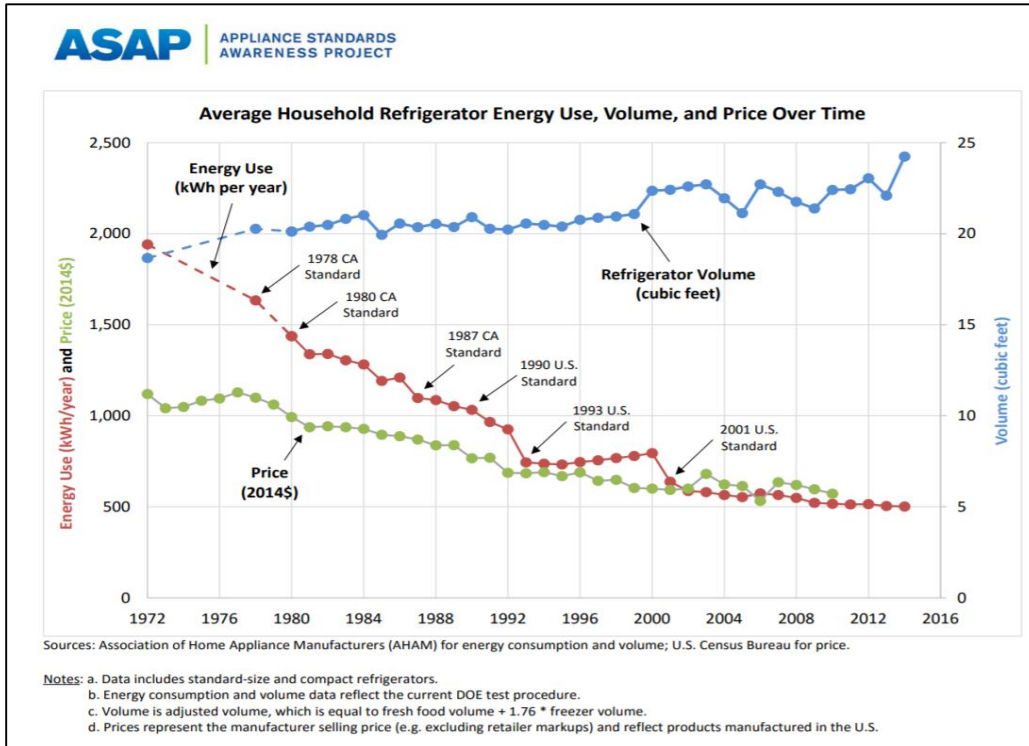
21. Durant l'élimination des CFC dans le secteur de la réfrigération domestique, le CFC-12 a été remplacé soit par l'hydrocarbure R-600a ou le HFC-134a. Initialement, des mélanges d'hydrocarbures étaient utilisés mais ce choix avait entraîné une augmentation des coûts énergétiques. Le R-600a, avec une 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.

22. 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 1<sup>5</sup>).

---

<sup>4</sup> Ce contexte a été expliqué dans la note de bas de page du paragraphe 10 du présent document.

<sup>5</sup> [https://appliance-standards.org/sites/default/files/refrigerator\\_graph\\_Nov\\_2016.pdf](https://appliance-standards.org/sites/default/files/refrigerator_graph_Nov_2016.pdf)



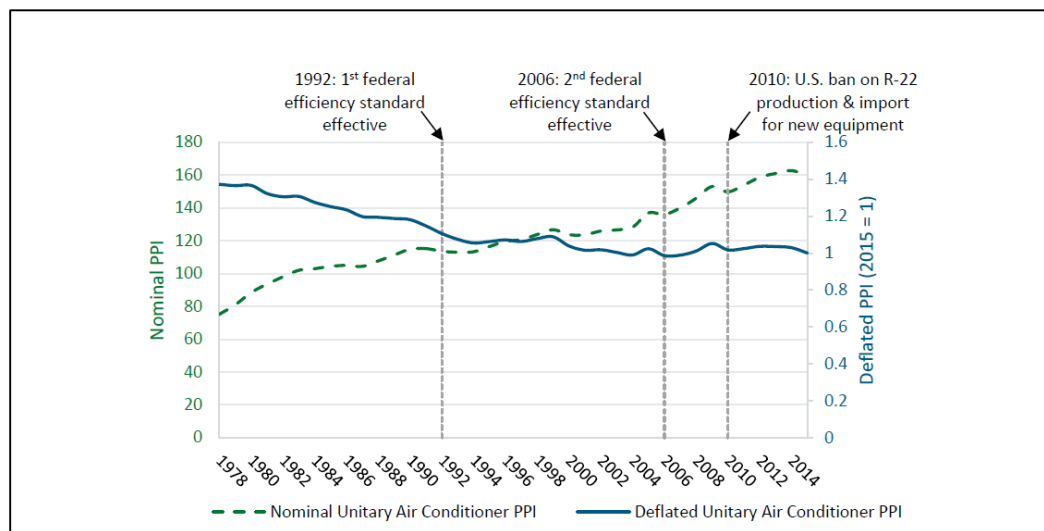
**Figure 1. Consommation énergétique moyenne, volume et prix d'un réfrigérateur ménager aux États-Unis d'Amérique**

23. L'élimination du HCFC-22 se poursuit dans les Parties visées à l'article 5.<sup>6</sup> Le HFC-32 a été introduit dans de nombreux pays. Quant au R-290, il a été introduit dans quelques pays et il présente un avantage en termes d'EE, toutefois son taux d'inflammabilité constitue un obstacle majeur qui restreint son utilisation dans les climatiseurs individuels.

24. Depuis les années soixante-dix, l'évolution de l'équipement de climatisation unitaire aux États-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)<sup>7</sup>. 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.

<sup>6</sup> L'élimination du HCFC-22 concerne surtout les applications en climatisation, tant la fabrication que l'entretien.

<sup>7</sup> 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.



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

25. 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.

26. 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.

27. 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.

28. 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.



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

29. 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.<sup>8</sup>

30. 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.

31. 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/chauffage<sup>9</sup> ;
- (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.

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

#### *L'assurance de minimiser les charges de refroidissement/chauffage*

33. 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 :

<sup>8</sup> 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.

<sup>9</sup> 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.

- (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 ;
- (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.<sup>10</sup>

34. 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 réduit<sup>11</sup>.

#### *Sélection du frigorigène approprié*

35. 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.<sup>12</sup>

36. 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.

<sup>10</sup> 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.

<sup>11</sup> On constate souvent une réduction de coûts avec une charge de refroidissement réduite.

<sup>12</sup> Les technologies qui entraînent des améliorations de l'EE sont généralement applicables à des frigorigènes à faible PRG.

37. 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 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.

38. Le programme AREP<sup>13</sup> 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.

39. Les études du ministère de l'Énergie des Etats-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.

40. 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 composantes.

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

41. 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

<sup>13</sup> AREP = Alternative Refrigerants Evaluation Program (Programme d'évaluation des frigorigènes de remplacement)

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.

42. 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.<sup>14</sup> 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.

43. Les exemples suivants peuvent illustrer les améliorations de l'EE reliées 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 ;<sup>15</sup>
- (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 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

<sup>14</sup> Les équipements sont aussi conçus autour du point de service nominal qui inclut le point de fonctionnement avec une efficacité maximale.

<sup>15</sup> Ceci pourrait exiger un échangeur de chaleur plus grand et plus coûteux.

entrainements à vitesse variable (VSD<sup>16</sup> 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).<sup>17</sup> 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 entrainements à vitesse variable, il est possible de ralentir les ventilateurs et les pompes à charge partielle.

44. 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 <sup>18</sup>	2	2
Compresseurs efficaces	Compresseurs rotatifs à deux étages, compresseurs à spirale de haute efficacité, avec des moteurs CC**	6	19

<sup>16</sup> VSD Entrainements à vitesse variable

<sup>17</sup> 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.

<sup>18</sup> L'électricité est utilisée seulement pour activer les éléments de contrôle nécessaires, en attendant de fournir le service du système et généralement son niveau n'est pas influencé par la charge de refroidissement, quelque'elle soit.

Option	Description	Amélioration par rapport au cas de base (%)*	
		Min	Max
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*

45. 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

46. 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 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.

47. 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.

**Tableau 2. 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
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

48. 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.

49. 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'énergie<sup>19</sup>. 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.

50. 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

<sup>19</sup> Un aspect important du coût des produits de haute efficacité est relié au coût élevé des composantes.

d'entretien, et autres. Le Tableau 3 présente ces obstacles et les mesures d'atténuation.

**Tableau 3. 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 composants 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 composants d'efficacité sont souvent combinés à d'autres caractéristiques et vendus à un prix supérieur. <sup>20</sup> 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,	2-4

<sup>20</sup>La 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)
		harmonisation avec les Normes minimales de rendement énergétique	
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 <sup>21</sup>	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

51. 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.<sup>22</sup>

52. 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.<sup>23</sup>

53. 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<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> et particules) et les émissions évitées de CO<sub>2</sub>. 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.<sup>24</sup>

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

54. 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

<sup>21</sup> "Fiabilité non prouvée" car ces produits sont nouveaux sur le marché ; les installateurs, les clients, etc. peuvent être réticents à appliquer la nouvelle technologie.

<sup>22</sup> 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/>

<sup>23</sup> Cela peut se faire simultanément avec l'introduction de produits à EE élevée

<sup>24</sup> Ürge-Vorsatz et al., 2014.

standard dans le secteur<sup>25</sup> 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.

55. 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.

56. 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

57. 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.

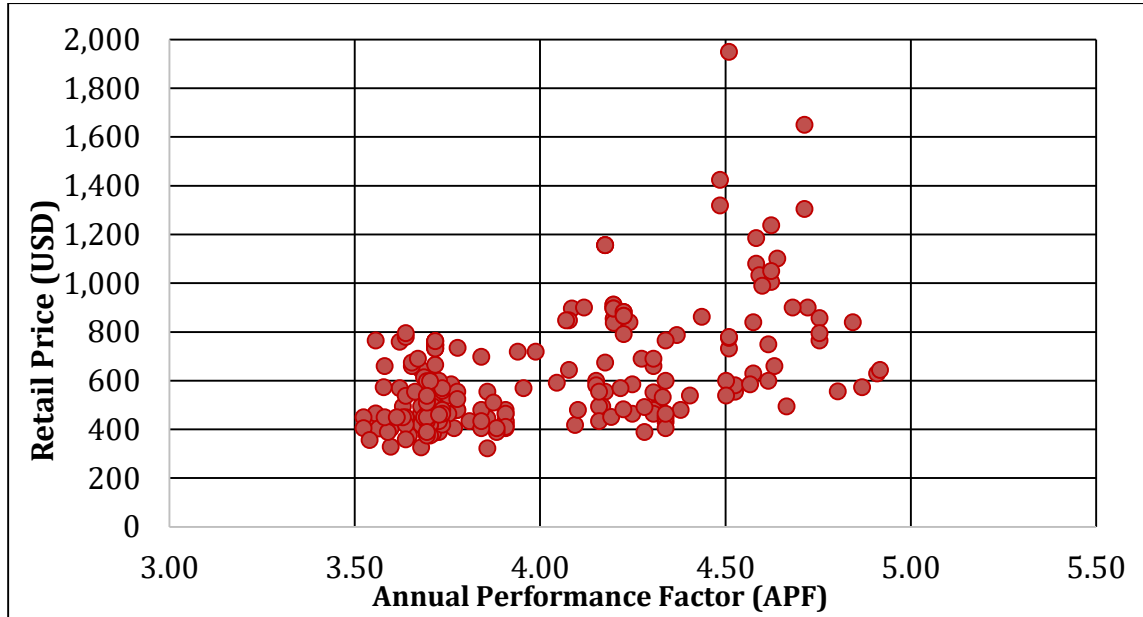
58. Plusieurs exemples de données recueillies pour élaborer la méthode sont présentés ci-dessous.<sup>26</sup>

- (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 Chine<sup>27</sup>. 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 ;

<sup>25</sup> 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].

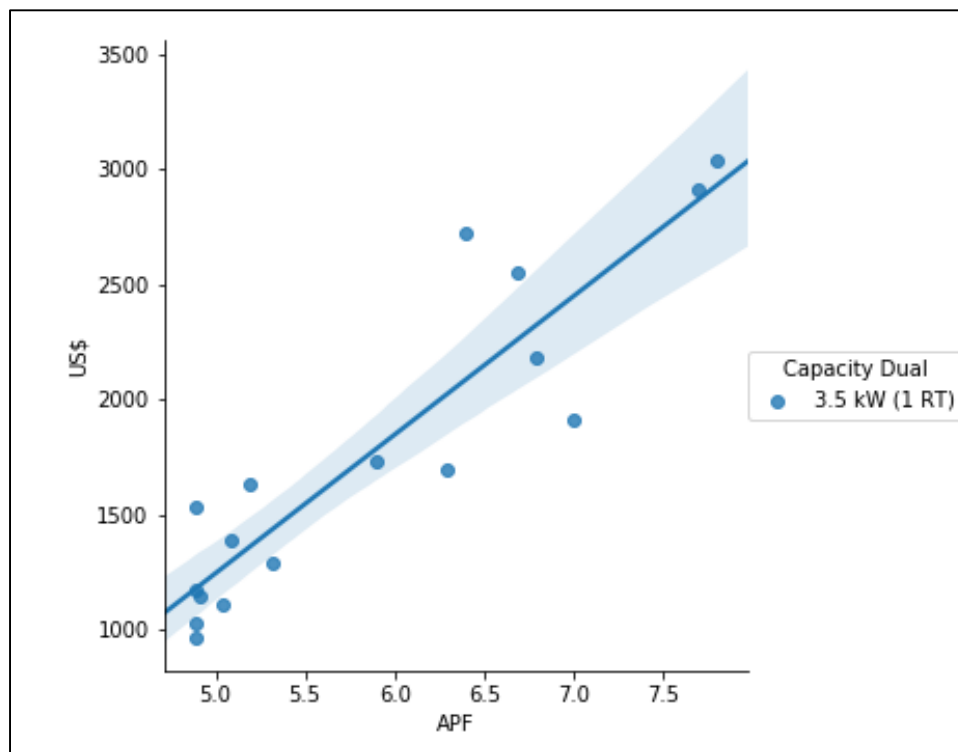
<sup>26</sup> La méthode d'évaluation des coûts a été présentée dans le rapport du groupe de travail du GETE, à partir des données recueillies, telles que présentées dans le document.

<sup>27</sup> 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 4 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 4. 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 <sup>28</sup> )
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.

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

59. 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

<sup>28</sup> 1 US \$ = INR 70.11

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 règles<sup>29</sup> 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

60. 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'efficacité<sup>30</sup> (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

#### Coûts d'investissement et d'exploitation

##### *Équipement de réfrigération commerciale autonome*

61. 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 recouvert grâce à la plus faible consommation électrique de ces systèmes plus nouveaux.

62. 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

<sup>29</sup> <https://www.regulations.gov/document?D=EERE-2014-BT-STD-0048-0098>

<sup>30</sup> Figure 2.15 du rapport du groupe de travail du GETE, demandé dans la Décision XXIX/10, convertie en tableau.

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.

63. La transition vers des options de frigorigènes à faible PRG entrainera 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*

64. La transition des HCFC et des HFC à PRG élevé vers des options à faible PRG exigera quelques investissements dans la fabrication et les équipements<sup>31</sup>, en particulier pour la transition vers des 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.

65. 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.

#### *Systèmes centralisés et répartis*

66. 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 réfrigérées<sup>32</sup>, a comparé un système réparti au R-290 à un système trans-critique au CO<sub>2</sub>. 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 CO<sub>2</sub>. Pour améliorer la performance du système au CO<sub>2</sub>, il serait possible d'ajouter des éjecto-compresseurs ou des compresseurs parallèles mais alors le coût initial (achat) augmentera.

67. 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.

<sup>31</sup> 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.

<sup>32</sup>[http://www.emersonclimate.com/europe/en-eu/About\\_Us/News/Documents/FFR196-Emerson-Fact-sheet-Integral-Display-Case-Technology-EN-1711.pdf](http://www.emersonclimate.com/europe/en-eu/About_Us/News/Documents/FFR196-Emerson-Fact-sheet-Integral-Display-Case-Technology-EN-1711.pdf)

*Secteur de la climatisation et des pompes à chaleur*

68. 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.

69. 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,<sup>33</sup> a démontré qu'avec une 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)<sup>34</sup>**

SEER (W/W)	Coûts d'investissement de la conversion (millions \$US)	Expéditions <sup>35</sup> (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

<sup>33</sup> 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

<sup>34</sup> 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).

<sup>35</sup> 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
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	Moyens
		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
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 CO<sub>2</sub>

72. Tandis que l'Amendement de Kigali se concentre sur les frigorigènes éco-énergétiques,<sup>36</sup> 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.

<sup>36</sup> Ceci dans le contexte de la réduction progressive des HFC.



## Impact de l'EE provenant d'émissions indirectes

73. Il existe plusieurs méthodes pour évaluer le total des émissions provenant d'un système. Les plus courantes sont le TEWI (Total équivalent du réchauffement)<sup>37</sup> 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.

74. Le plus grand potentiel d'amélioration de l'EE provient des améliorations de conception et des composantes qui peuvent générer des améliorations de l'efficacité<sup>38</sup> 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.

75. Le calcul des bienfaits environnementaux de l'EE dans les équipements de réfrigération, climatisation et pompes à chaleur en termes d'équivalent CO<sub>2</sub> 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" ;
- (c) Convertir les économies d'énergie en CO<sub>2</sub>-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

<sup>37</sup> 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.

<sup>38</sup> 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.

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.

76. 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.

77. 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.

78. Le Tableau 9 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 9. Economies d'énergie pour une unité de 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 <b>a</b> (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>b</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 <b>c</b> (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 <b>d</b> (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*	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 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.<sup>39</sup>

**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).

**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.

79. 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 10.

**Tableau 10. 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.<sup>40</sup>

<sup>39</sup> L'incidence des émissions de CO<sub>2</sub> provient du rapport du groupe de travail du GETE.

<sup>40</sup> L'incidence des émissions de CO<sub>2</sub> provient du rapport du groupe de travail du GETE. L'information donnée en gigajoules (GJ) correspond à la consommation annuelle.

80. 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 CO<sub>2</sub>-eq/km à 6,1 grammes de CO<sub>2</sub>-eq/km.

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

81. Lors de ses 74<sup>e</sup>, 75<sup>e</sup> et 76<sup>e</sup> réunions, le Comité exécutif a approuvé trois études de faisabilité pour le refroidissement urbain<sup>41</sup> et 17 projets de démonstration sur les technologies à faible PRG, conformément à la Décision XXV/5 et à la décision 72/40<sup>42</sup>.

82. Le Tableau 11 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 11: 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
<b>Sous-secteur de la réfrigération et de la climatisation et de l'assemblage</b>				
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 <sup>43</sup> 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 HC-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 <sup>44</sup> 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

<sup>41</sup> République dominicaine, Egypte et Koweït.

<sup>42</sup> 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).

<sup>43</sup> COP – Coefficient de Performance.

<sup>44</sup> TR – Tonne de réfrigération.

Pays	Titre du projet (code)	Financement (\$ US)*	Réunion	Mise à jour sur les progrès de la mise en œuvre
				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.
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	
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	
<b>Secteur des mousses</b>				
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.
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	

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 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	
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.
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	
<b>Étude de faisabilité pour le refroidissement</b>				
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

83. Le Tableau 12 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 12. 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.
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

84. Le Comité exécutif pourrait souhaiter examiner le Sommaire 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) et la décision 82/83(f), contenu dans le document UNEP/OzL.Pro/ExCom/83/42, 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.