



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

Distr.
GÉNÉRALE

UNEP/OzL.Pro/ExCom/96/60
6 mai 2025

FRANÇAIS
ORIGINAL: ANGLAIS

COMITÉ EXÉCUTIF
DU FONDS MULTILATÉRAL AUX FINS
D'APPLICATION DU PROTOCOLE DE MONTRÉAL
Quatre-vingt-seizième réunion
Montréal, 26-30 mai 2025
Point 11 de l'ordre du jour provisoire¹

**MISE À JOUR DU RAPPORT SUR LE PROBLÈME DES SOLUTIONS DE REMPLACEMENT
DANS LA FABRICATION DE MOUSSE DE POLYURÉTHANE, EN METTANT L'ACCENT
SUR LES PETITES ET MOYENNES ENTREPRISES, EN PARTICULIER POUR LES
APPLICATIONS DE MOUSSE PULVÉRISÉE ET DE MOUSSE ISOLANTE
(DÉCISION 94/58(c))**

Introduction

1. En réponse à une demande faite par le Comité exécutif à sa 93^e réunion, le Secrétariat avait préparé pour la 94^e réunion un "Document sur le problème des solutions de remplacement dans la fabrication de mousse de polyuréthane" (document UNEP/OzL.Pro/ExCom/94/58) qui contenait un récapitulatif des projets d'élimination des HCFC approuvés dans le secteur de la mousse de polyuréthane (PU) ayant bénéficié de l'aide du Fonds multilatéral, de l'expérience acquise durant la mise en œuvre de ces projets, des pratiques exemplaires appliquées, de l'information sur chaque solution de remplacement avec un faible potentiel de réchauffement de la planète (PRG) adoptée dans le secteur de la mousse PU à travers les projets financés, des prix ainsi que de la disponibilité des agents de gonflage, des défis recensés et de la rétroaction sur l'adoption de ces techniques, par région.

2. Lors des discussions à la 94^e réunion, un membre a mentionné le manque persistant de disponibilité des HFO et leurs prix élevés, questionné la pérennité de la reconversion à d'autres solutions de remplacement dont plusieurs étaient jugées inappropriées par les entreprises pour certaines applications, et insisté sur les répercussions économiques plus vastes pour les pays visés à l'article 5, le risque de non-conformité à leurs obligations dans le cadre des Accords de financement avec le Comité exécutif et le paiement subséquent de pénalités. Les difficultés persistantes auxquelles sont confrontées les petites et moyennes entreprises (PME) concernant la disponibilité des HFC ont été soulignées tandis que deux membres ont signalé que certains pays avaient réussi leur transition tandis que la mise en œuvre semblait plus difficile pour d'autres, avec des progrès variables entre et à l'intérieur des régions.

¹ UNEP/OzL.Pro/ExCom/96/1

3. À l'issue de ces discussions, le Comité exécutif avait décidé de demander au Secrétariat, entre autres :

- (a) D'élaborer, en collaboration avec les agences d'exécution, un document pour examen par le Comité exécutif à sa 95^e réunion, qui mette à jour les informations sur la disponibilité des technologies; les prix des solutions de remplacement déjà sélectionnées dans les projets non encore achevés du secteur de la mousse PU pour les PME; les programmes visant à faciliter l'accès aux solutions de remplacement à faible PRG; et les obstacles à l'accès de ces programmes pour les organismes locaux dans les pays visés à l'article 5; et
- (b) De mettre à jour son rapport contenu dans le document UNEP/OzL.Pro/ExCom/94/58 pour examen à la 96^e réunion, en mettant l'accent sur les PME dans le secteur de la fabrication de mousse PU, en particulier pour les applications de mousse pulvérisée et de mousse isolante.²

4. À la 95^e réunion, en réponse à la décision 94/58(b) et suite à des consultations avec les agences d'exécution et des représentants de trois entreprises productrices de HFO, le Secrétariat a présenté des "Informations actualisées sur les technologies de remplacement dans le secteur de la fabrication des mousses de polyuréthane dans les pays visés à l'article 5" (document UNEP/OzL.Pro/ExCom/95/85), incluant la disponibilité et les prix des technologies, les programmes pour faciliter l'accès à des solutions de remplacement à faible PRG et les obstacles auxquels se heurtent les entreprises locales pour accéder à ces programmes. Lors de l'examen du document, un membre a reconnu qu'en dépit des progrès accomplis pour améliorer l'accès à des technologies de remplacement pour les pays visés à l'article 5, le problème n'était pas encore pleinement résolu. Un autre membre a constaté avec satisfaction que certains pays avaient opté pour des solutions de remplacement autres que les HFO tandis qu'un troisième a précisé que le document visait à soutenir les PME pour l'adoption de solutions de remplacement ininflammables et non-corrosives. Un membre a insisté sur la nécessité d'obtenir des données plus détaillées afin d'aider les pays visés à l'article 5 à évaluer la pérennité de l'adoption de la technologie à base de HFO. Un autre a reconnu les progrès réalisés, quoique inégaux entre les pays, et souligné les différences de prix importantes dans les solutions de remplacement, en demandant au Secrétariat une mise à jour à la 96^e réunion afin de savoir si le Comité exécutif devrait prendre d'autres mesures. Un autre membre, tout en reconnaissant les progrès réalisés pour garantir de meilleurs prix pour les HFO mais rappelant que le problème n'était toujours pas résolu, jugeait important que le Comité exécutif fasse un suivi de cette question à la 96^e réunion.

5. À la suite de ces discussions, le Comité exécutif a décidé, entre autres :

- (a) D'examiner les informations contenues dans le document UNEP/OzL.Pro/ExCom/95/85, tout en discutant de la question des solutions de remplacement dans le secteur des mousses de PU; et
- (b) De noter que le Secrétariat mettra à jour le rapport contenu dans le document UNEP/OzL.Pro/ExCom/94/58 pour examen à la 96^e réunion, conformément à la décision 94/58.

6. Par conséquent, le présent document a été préparé conformément aux décisions 94/58(c) et 95/85(c), à partir des contributions écrites du PNUD, de l'ONUDI et de la Banque mondiale, présentant leurs expériences de mise en œuvre des projets dans ce secteur. Il constitue une mise à jour des documents UNEP/OzL.Pro/ExCom/94/58 et UNEP/OzL.Pro/ExCom/95/85 et devrait être lu conjointement avec ces deux documents³.

² Décision 94/58 (b) et (c)

³ Inclus comme documents de contexte au point 11 de l'ordre du jour.

Mise à jour sur les projets d'élimination des HCFC et de réduction progressive des HFC dans le secteur de la fabrication de la mousse de polyuréthane, soutenus par le Fonds multilatéral

7. Les paragraphes 4 à 8 du document UNEP/OzL.Pro/ExCom/94/58 fournissent des informations détaillées sur le nombre de projets approuvés pour le secteur de la mousse PU dans le cadre des plans de gestion de l'élimination des HCFC (PGEH) et des plans de réduction progressive des HFC (KIP), et sur la consommation ainsi traitée. Depuis, à la 95^e réunion, le Comité exécutif a approuvé, dans le cadre du KIP pour le Nigeria, un projet d'assistance technique pour éliminer 472,50 tm ou 375 165 tonnes d'équivalent CO₂ (éq.-CO₂) de HFC-365mfc dans deux entreprises de mousse PU et adopter le cyclopentane, les HFO et autres solutions de remplacement à faible PRG. À la 96^e réunion, le Comité exécutif examine aussi des projets dans le secteur de la mousse PU, soumis dans le cadre du KIP pour l'Égypte.

Mise à jour sur la disponibilité et les prix des solutions de remplacement à faible potentiel de réchauffement de la planète et les défis connexes pour les fabricants de mousse pulvérisée, incluant les petites et moyennes entreprises

8. Pour la mise à jour des rapports contenus dans les documents UNEP/OzL.Pro/ExCom/94/58 et UNEP/OzL.Pro/ExCom/95/85, le Secrétariat a demandé de l'information aux agences d'exécution impliquées dans les projets de mousse PU. Les agences étaient priées notamment de présenter des mises à jour sur la disponibilité actuelle et les prix des technologies à faible PRG dans les pays visés à l'article 5; les principaux défis rencontrés par les PME pour l'adoption de technologies à faible PRG dans le secteur de la mousse PU, en particulier pour les applications de mousse pulvérisée et de mousse isolante; les mesures prises pour relever ces défis, incluant les questions techniques, la sécurité, les préoccupations environnementales et autres obstacles; et les défis encore non résolus et des stratégies potentielles ou des idées pour les surmonter. Les informations fournies par les agences d'exécution sont présentées ci-dessous.

9. Le PNUD a fourni des mises à jour sur les projets de mousse PU mis en œuvre dans huit pays :

- (a) Au Brésil, le plan sectoriel pour la mousse PU s'est achevé avec la reconversion des grandes entreprises au cyclopentane, par l'intermédiaire des sociétés de formulation pour reconvertir 200 utilisateurs en aval, incluant des PME, au formate de méthyle, à des formulations à base d'eau, au méthylal et aux HFO. Les défis signalés lors des réunions précédentes (par ex. la disponibilité de HFC à des prix concurrentiels) persistent mais les utilisateurs finaux ont adopté des solutions de remplacement à faible PRG. Les HFO sont disponibles actuellement, à des prix de l'ordre de 14,00 - 18,00 \$US, le kilogramme (kg);
- (b) Au Chili, le projet de mousse PU, incluant des PME, est achevé. Tel que rapporté précédemment, les grands utilisateurs (à savoir, les fabricants de panneaux continus) utilisent du cyclopentane et les petits et moyens, incluant les utilisateurs de mousse pulvérisée, utilisent des HFO, l'eau, le formate de méthyle et des HFC. Toutes les technologies sont importées et il n'y a aucun problème d'approvisionnement pour les polyols entièrement formulés contenant des HFO, du formate de méthyle ou des HFC, mais il y a eu quelques retards dans les soumissions et l'expédition pour les HFO. Les prix des polyols entièrement formulés par des sociétés de formulation chiliennes demeurent de 3,30 \$US/kg pour les formulations aqueuses et 5,50 \$US pour les mélanges à base de HFO. Les différences entre les polyols formulés avec des HFC et des HFO sont de 5 pour cent plus élevées pour les applications pulvérisées et de 10 pour cent pour les applications injectées;
- (c) En Colombie, le projet de mousse PU, incluant des PME, est achevé. Tandis que la disponibilité des HFO n'a pas posé de problème, le défi des prix persiste toutefois et affecte l'approvisionnement en catalyseurs et autres additifs requis pour élaborer des formulations de polyol à base de HFO. Aucune variation de prix n'a été signalée (17,00 - 19,00 \$US/kg

pour les HFO). Une société de formulation a signalé des retards dans l'approvisionnement dus aux contraintes logistiques du principal producteur de HFO;

- (d) Au Costa Rica, le projet de mousse PU est achevé (il n'incluait pas de PME). Le pays importe de petites quantités de formulations à base de HFO dont l'approvisionnement semble stable; tel que rapporté précédemment, aucun problème n'a été identifié;
- (e) En Égypte, le projet de mousse PU, incluant des PME, est achevé. Les grandes entreprises ont adopté le cyclopentane, disponible aisément sur le marché. Les PME utilisent des technologies différentes selon le fournisseur de formulations, incluant les HFC, le formate de méthyle et les HFO. L'unique défi pour les PME provenait initialement des prix plus élevés des solutions de remplacement, par rapport au HCFC-141b; toutefois, le problème a été résolu par une plus grande disponibilité des solutions de remplacement;
- (f) En Inde, le plan sectoriel pour la mousse PU, incluant des PME, s'est achevé avec la reconversion de 158 entreprises au cyclopentane, au formate de méthyle et, dans plusieurs cas, aux HFO. Les prix restent inchangés depuis les derniers rapports, soit 24,00 \$US/kg pour les HFO; 2,00 \$US/kg pour le cyclopentane pur ou 3,00 \$US/kg pour le pré-mélangé; et 2,00 \$US/kg pour le formate de méthyle et les formulations à base d'eau;
- (g) Au Mexique, les activités approuvées, impliquant des sociétés de formulation dans le cadre du KIP pour le plan sectoriel de la mousse PU, ont débuté. Les PME sont incluses dans le projet et des solutions de remplacement des formulations à base de HFC seront analysées;
- (h) En Uruguay, tel que mentionné à la 94^e réunion, sur les 21 entreprises incluses dans le plan, une s'est reconvertie au cyclopentane, trois aux HFO, et les 17 autres n'ont pas terminé leur reconversion à cause de l'indisponibilité de formulations à base de HFO; les soldes inutilisés ont été retournés au Fonds.

10. L'ONUDI a fourni des mises à jour sur les projets de mousse PU mis en œuvre dans cinq pays :

- (a) En Argentine, tandis qu'un fournisseur continue de signaler l'impossibilité de livrer des HFO sur le marché intérieur avant 2026, deux autres ont reconfirmé leur capacité d'approvisionnement immédiat, avec la possibilité pour les achats futurs, de réduire de 120 à 90 jours, les délais de livraison estimés initialement. Les sociétés locales de formulation ont confirmé avoir trouvé un prix abordable pour la transition; la plupart d'entre elles ont passé leur première commande d'achat de HFO et les premières importations seront livrées dans des contenants d'une tonne qui devront être retournés pour réutilisation. Un fournisseur a indiqué qu'il ne pouvait pas garantir les quantités demandées par les sociétés de formulation en raison de la pénurie de contenants pour l'expédition, une situation qui reste à résoudre. Tandis que certaines entreprises utilisent encore les HFC comme solution de remplacement du HCFC-141b à titre transitoire, le gouvernement a réitéré qu'il ne s'agissait pas d'une solution à long terme et fait remarquer que le pays avait encore besoin du soutien des pays producteurs de HFO pour assurer l'approvisionnement local;⁴
- (b) En Équateur, les formulations à base de cyclopentane étaient utilisées surtout pour la réfrigération commerciale et la fabrication de panneaux (continus et discontinus). Quelques entreprises ont testé les formulations à base de HFO, avec des résultats prometteurs, et d'autres prévoient mener des essais à court terme. Les PME se fient à des distributeurs liés à des sociétés de formulation étrangères. Certains distributeurs

⁴ Situation discutée également dans le document UNEP/OzL.Pro/ExCom/96/11 sur les projets comportant des exigences spécifiques de remise de rapports.

tiennent encore des inventaires de polyols pré-mélangés à base de HFC qui devraient durer jusqu'en 2026. Le prix des polyols à base de HFC est de 4,00 \$US/kg et celui des polyols à base de HFO, de 7,00 \$US/kg. Les prix ont augmenté récemment en raison des coûts plus élevés du fret international et des ajustements nationaux des droits de douane sur les intrants chimiques importés. Les problèmes auxquels sont confrontés les PME incluent la disponibilité et les coûts relativement plus bas des formulations à base de HFC qui ont retardé la transition vers des technologies à base de HFO, les questions de sécurité et les investissements en capital élevés, requis pour l'adoption des hydrocarbures (HC);

- (c) Au Maroc, la reconversion au cyclopentane n'est pas encore achevée; par conséquent, aucune mise à jour n'a été fournie sur la disponibilité, ni sur le prix des substances. Les formulations à base de cyclopentane (et de formate de méthyle) disposent généralement de canaux d'approvisionnement plus stables et offrent le coût le plus bas (2,63 - 2,66 Euros/kg de mousse, comparé à 3,28 Euros/kg pour les formulations à base de HFO-1233zd(E) et 3,49 Euros/kg pour les formulations à base de HCFC-141b).⁵ Les formulations à base de HFO font face aussi à des risques dans la chaîne d'approvisionnement;
- (d) Au Pakistan, le prix du HFO-1233zd(E) en vrac est de 20,00 \$US/kg, et de 30,00 \$US/kg pour le HFO-1336mzz(Z) en vrac, celui des polyols à base de HFO est estimé à 4,75 \$US/kg. Les HFO posent certains défis, notamment le fait que les matières premières doivent être maintenues à une température de 20-25 degrés Celsius avant d'être transférées dans la machine de moussage ou de mousse pulvérisée pour éviter des problèmes de traitement; et les formulations utilisant du HFO-1233zd(E) (ou formate de méthyle) contiennent des niveaux d'agent de gonflage moins élevés qui peuvent causer des gonflements à la surface des produits isothermes – un problème qui reste à résoudre; et
- (e) En Tunisie, une entreprise de mousse PU a attendu plusieurs mois pour recevoir un échantillon de 28 kg de HFO-1233zd(E) pour le tester sur des chaînes de production reconverties. L'échantillon, obtenu par un intermédiaire, a coûté 67,44\$US/kg – un prix insoutenable, surtout pour des PME. En revanche, l'achat direct en vrac (par ex. 9 000 litres) auprès du producteur pourrait ramener le coût à près de 16,00 Euros/kg.⁶ L'entreprise est maintenant en contact direct avec le producteur qui devrait assurer un approvisionnement régulier à ce taux plus abordable.

11. La Banque mondiale a fourni des mises à jour sur les projets de mousse PU mis en œuvre dans quatre pays :

- (a) En Chine, la mise en œuvre du plan sectoriel pour la mousse PU, incluant les PME, est en cours. Les prix des solutions de remplacement sont de 12,00 - 16,00 \$US pour le HFO-1233zd(E), 30,00 - 35,00 \$US/kg pour le HFO-1336mzz(Z) et de 8,00 - 10,00 \$US/kg pour le HFC-245fa, étant donné que la Chine est le principal fournisseur de HFO et de HFC-245fa pour la région. Une société locale de formulations a développé sa propre technologie au dioxyde de carbone (CO₂) supercritique pour la mousse pulvérisée, en collaboration avec une université locale, elle a débuté la fabrication de la formulation et de l'équipement pour l'application, et communiqué les conclusions suivantes :
 - (i) Le CO₂ supercritique peut être utilisé seul ou avec de petites quantités de HFC ou de HFO. Tandis qu'il peut produire une mousse de meilleure qualité que la mousse

⁵ Basé sur un taux de change de l'Euro au dollar américain de 1 :1,13 (le 5 mai 2025), ces prix correspondent à 2,98 - 3,01 \$US/kg pour la mousse à base de cyclopentane, comparés à 3,71 \$US/kg pour des formulations à base de HFO-1233zd(E) et 3,95 \$US/kg pour des formulations à base de HCFC-141b.

⁶ Ce qui correspond à 76,31 \$US/kg et 18,11 \$US/kg, respectivement.

simple gonflée à l'eau, il faudrait néanmoins ajouter des HFO et des HFC dans la formulation pour répondre à la norme chinoise pour la valeur isolante; toutefois il s'agirait d'une fraction de HFO ou HFC plus faible que dans les formulations normales sans CO₂ liquide;

- (ii) Une machine pour la mousse pulvérisée a été développée pour cette technologie, avec trois apports de matières premières (à savoir, MDI⁷, formulation de polyol aqueuse ou à base de HFO ou de HFC, et CO₂ liquide). La machine transformerait le CO₂ liquide en CO₂ supercritique, comme intrant additionnel dans le pistolet pulvérisateur;
 - (iii) Les techniciens auraient besoin d'une formation supplémentaire sur l'utilisation de la machine, car une application continue est requise pour garantir le mélange uniforme des trois intrants;
 - (iv) La société de formulation loue actuellement une telle unité à des entrepreneurs qui utilisent leur propre formulation. Ces unités ne sont pas en vente à cause des préoccupations d'ingénierie inverse qui empêcherait la récupération d'un investissement estimé dans la recherche et le développement;
- (b) En Indonésie et au Vietnam, les projets incluant des SME sont achevés. Aucun problème de disponibilité des technologies n'a été signalé; toutefois le coût des matériaux demeure le principal facteur décisionnel dans le choix de la technologie. Les prix des HFO et du HFC-242fa en Chine peuvent servir de référence, en ajoutant de légères augmentations dues au transport, à la manipulation et autres facteurs; et
- (c) En Thaïlande, le projet de mousse PU, incluant des PME, est en cours. Le coût des formulations à base de HFO est le principal obstacle à une large adoption dans le secteur de la mousse pulvérisée. Le prix du HFO-1233zd(E) est d'environ 18,00 \$US/kg et celui du HFO-1336mzz(Z) de 35,00\$US/kg environ. Les augmentations de coûts estimées pour les deux formulations à base de HFO, par rapport aux formulations à base de HCFC-141b, sont de 70,6 et 127 pour cent, respectivement. Le poids moléculaire du HFO-1336mzz(Z) (164g/mol) qui est supérieur à celui du HFO-1233zd(E) (130,5g/mol) est un facteur qui affecte le coût puisqu'il requiert une quantité plus élevée de HFO-1336mzz(Z) pour le système, avec une fraction molaire similaire.

Observations

12. Le PNUD, l'ONUDI et la Banque mondiale ont fourni des mises à jour sur les projets de mousse terminés ou en cours d'achèvement dans 16 pays, dans le cadre de PGEH, et un dans le cadre d'un KIP. De ces projets, 16 incluaient des PME; 11 étaient terminés; un avait été fermé; et cinq sont encore en cours.

13. Concernant la disponibilité des solutions de remplacement à faible PRG, les mises à jour communiquées n'indiquent pas de variations majeures par rapport aux informations présentées dans les rapports précédents : les technologies à base de HC, formate de méthyle, méthylal et d'eau restent disponibles et sont utilisées par de nombreuses entreprises de mousse PU, selon leur taille, leurs caractéristiques et type d'application. Les HFO deviennent disponibles dans un nombre croissant de pays (par ex. Brésil, Colombie, Costa Rica, Chili, Indonésie, Thaïlande et Vietnam). Toutefois, d'autres pays ont indiqué qu'en dépit de progrès substantiels dans les discussions et les arrangements logistiques avec les fournisseurs, les HFO ne peuvent encore être considérés comme disponibles à une échelle commerciale (par ex. en Argentine et en Tunisie).

⁷ Diisocyanate de diphenylméthane (MDI)

14. Quant aux prix, tel qu'indiqué dans les rapports précédents, il existe des variations de prix importantes entre les solutions de remplacement à l'intérieur du même pays, ainsi que des différences dans les prix de solutions de remplacement identiques entre les pays. D'après les informations actualisées, plusieurs pays ont connu une baisse graduelle des prix du HFO-1233zd(E) (par ex. Argentine, Thaïlande), et certains ont rapporté des prix inférieurs à 20,00 \$US/kg (par ex. Brésil, Chine, Colombie, Indonésie, Thaïlande et Vietnam).

15. Parmi les principaux obstacles à l'adoption par les SME de solutions de remplacement à faible PRG figurent encore les investissements importants et les enjeux de sécurité associés à l'utilisation des HC, notamment dans l'application de mousse pulvérisée, ainsi que le prix et la disponibilité commerciale insuffisante des HFO dans plusieurs pays.

16. Quant aux technologies de mousse pulvérisée qui pourraient convenir aux PME, la Banque mondiale a signalé qu'une société de formulation en Chine a développé une technologie à base de CO₂ supercritique qui remédie aux préoccupations de sécurité associées aux solutions de remplacement inflammables et aux performances limitées des formulations aqueuses. Le Secrétariat a souligné que cette technologie avait précédemment fait l'objet, avec succès, d'une démonstration dans le cadre d'un projet du Fonds multilatéral mis en œuvre par le gouvernement du Japon en Colombie.⁸ La démonstration avait confirmé que le CO₂ supercritique est une solution de remplacement techniquement viable pour le HCFC-141b dans les applications de mousse pulvérisée, offrant une meilleure performance que la mousse conventionnelle (aqueuse) à base de CO₂. Toutefois, il avait été constaté aussi qu'en raison de sa conductivité thermique plus élevée que celle du HCFC-141b, cette solution pourrait nécessiter une mousse plus épaisse et entraîner une hausse des coûts d'exploitation. Les coûts en capital élevés pour modifier l'équipement de pulvérisation et les coûts d'exploitation de polyols exclusifs représentent des obstacles majeurs. Il est à noter que dans le cas de la société de formulation chinoise, l'entreprise loue les machines de moussage à utiliser avec ses formulations, ce qui élimine potentiellement le fardeau des coûts en capital pour les utilisateurs de mousse.

RECOMMANDATION

17. Le Comité exécutif pourrait souhaiter :

- (a) Prendre note du document UNEP/OzL.Pro/ExCom/96/60, incluant le rapport sur le problème des solutions de remplacement dans la fabrication de mousse de polyuréthane (PU), en mettant l'accent sur les petites et moyennes entreprises, en particulier pour les applications de mousse pulvérisée et de mousse isolante (décision 94/58(c));
- (b) Examiner les informations contenues dans le document mentionné à l'alinéa ci-dessus, lors des discussions sur les solutions de remplacement dans le secteur de la fabrication de la mousse PU.

⁸ Rapport final disponible dans le document UNEP/OzL.Pro/ExCom/71/6/Add.1