



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

Distr.
GÉNÉRALE

UNEP/OzL.Pro/ExCom/95/47/Add.1
21 novembre 2024

FRANÇAIS
ORIGINAL : ANGLAIS

COMITÉ EXÉCUTIF
DU FONDS MULTILATÉRAL AUX FINS
D'APPLICATION DU PROTOCOLE DE MONTRÉAL
Quatre-vingt-quinzième réunion
Montréal, 4-8 décembre 2024
Point 9(d) de l'ordre du jour provisoire¹

Addenda

PROPOSITIONS DE PROJET : CHINE

Le présent document est publié pour ajouter une proposition de projet supplémentaire aux fins de l'examen ci-dessous.

Efficacité énergétique

- | | | |
|--|------|----------------------|
| <ul style="list-style-type: none">• Le projet pilote pour améliorer l'efficacité énergétique des technologies de refroidissement dans les centres de données grâce à la démonstration d'un système de refroidissement par immersion monophasé dans un centre de données. | PNUD | Examen
individuel |
|--|------|----------------------|

¹ UNEP/OzL.Pro/ExCom/95/1

Les documents de présession du Comité exécutif du Fonds multilatéral aux fins d'application du Protocole de Montréal sont présentés sous réserve des décisions pouvant être prises par le Comité exécutif après leur publication.

FICHE D'ÉVALUATION DU PROJET – PROJET NON PLURIANNUEL**Chine****TITRE DU PROJET****AGENCE D'EXÉCUTION/BILATÉRALE**

•Projet pilote pour améliorer l'efficacité énergétique des technologies de refroidissement dans les centres de données grâce à la démonstration d'un système de refroidissement par immersion monophasé dans un centre de données	PNUD
---	------

OBJECTIF DU PROJET

1. Démontrer l'usage des systèmes de refroidissement par immersion monophasé dans les centres des données au moyen d'un nouvel agent de refroidissement exclusif et respectueux de l'environnement, le « Bing Yi 797 » qui ne contient pas de SAO et est sans PRP, éliminant la nécessité de nouveaux équipements de refroidissement contenant des HFC dans les centres de données
2. Intégrer un système de récupération des rejets thermiques et de source d'énergie mixte pour un centre de données stable et écoénergétique
3. Diffuser les résultats et promouvoir les systèmes de refroidissement par immersion monophasé dans des centres de données nouveaux ou existants qui comptent sur les HFC à fort PRP

AGENCE NATIONALE DE COORDINATION	Bureau de la coopération économique des affaires étrangères (FECO)/ Ministère de l'Écologie et de l'Environnement (MEE)
---	--

DERNIÈRES DONNÉES COMMUNIQUÉES EN VERTU DE L'ARTICLE 7 (Annexe F)	Année : 2022	370 903,36 tm	669 563 731 tonnes éq. CO ₂
--	---------------------	---------------	--

* Les données de consommation pour 2022 ont été mises à jour à 666 491 379 tonnes éq. CO₂ et les données de consommation pour 2023 étaient de 769 361 542 tonnes éq. CO₂ et elles ont été affichées sur le site Web du Secrétariat de l'ozone en novembre 2024. Le Secrétariat du Fonds multilatéral ne possédait pas la répartition de la consommation en tm au moment de publier le présent document.

Détails	Unités	HFC-410A
HFC évités dans le cadre de ce projet :	tm	4 320
	Tonnes éq. CO ₂	9 020 160
Substituts à introduire :	Un liquide de refroidissement exclusif, le Bing Yi 797, appartenant à l'entreprise Tianjin Tier, une filiale d'Anhui Tier Liquid Cooling Technology Co., Ltd. qui a élaboré la technologie de refroidissement par immersion et qui dirigera la mise en œuvre du projet. Il s'agit d'un agent de refroidissement à base d'huile synthétique principalement composé polidocanol hydrogéné (90 à 99,8 pour cent) et d'un composé antioxydant (0,2 à 0,9 pour cent), sans HC aromatiques.	
Durée du projet (en mois) :		24
Montant initial demandé (\$ US) :		2 456 900
Coûts finaux du projet (\$ US) :		
Coût en capital :		1 790 800
Éventualités (10 %) :		Non demandées
Coût d'exploitation :		Non demandé
Coût total du projet :		1 790 800
Prise en charge locale (%) :		100
Volet d'exportation (%) :		0
Subvention demandée (\$ US) :		1 790 800
Coût d'appui de l'agence d'exécution (\$ US) :		125 356
Coût total du projet pour le Fonds multilatéral (\$ US) :		1 916 156
Économies en efficacité énergétique (\$ US/MWh) :		3,55
État du financement de contrepartie (O/N) :		O
Étapes du suivi du projet comprises (O/N) :		O
Normes minimales de performance énergétique disponibles pour le secteur pertinent (O/N) :		Sans objet

RECOMMANDATION DU SECRÉTARIAT	Examen individuel
--------------------------------------	-------------------

DESCRIPTION DU PROJET

Contexte

1. Au nom du gouvernement de la Chine, le PNUD a présenté, en accord avec la décision 91/65, une demande pour un projet de démonstration pour un système de refroidissement par immersion monophasé dans un centre de données, pour un montant de 2 456 900 \$ US, plus des coûts d'appui d'agence de 171 983 \$ US, conformément à la soumission initiale². La préparation de projet pour ce projet a été approuvée à la 94^e réunion.

État d'avancement de la mise en œuvre des activités relatives à l'efficacité énergétique financées par le Fonds multilatéral

2. Dans le cadre des phases approuvées du plan de gestion de l'élimination des HCFC (PGEH) pour la Chine, certains volets du projet ont inclus la promotion d'équipement écoénergétique. La quatrième tranche de la phase I du PGEH pour le plan sectoriel de la fabrication des climatiseurs individuels comprenait un volet pour réaliser une étude sur les normes en matière d'efficacité énergétique de divers frigorigènes et une recherche sur l'impact environnemental des appareils. Dans le cadre de la phase II du PGEH, le projet de conversion du plan sectoriel de la fabrication des climatiseurs individuels comprenait la diffusion des résultats du projet, les avantages de la technologie de R-290, ainsi que la performance en matière d'efficacité énergétique de la technologie. Dans le cadre de la phase II du PGEH, dans le plan sectoriel de l'entretien, le volet sur l'élaboration de normes et de codes pour l'entretien dans les secteurs de la réfrigération et de la climatisation commerciales et industrielles comprenait des codes de spécifications techniques afin de promouvoir les bonnes pratiques, y compris les compétences et les connaissances relatives à la sécurité pour la nouvelle génération de frigorigènes ainsi que pour améliorer et maintenir l'efficacité énergétique de l'équipement. Le projet de conversion approuvé à la 82^e réunion afin d'effectuer une conversion du HFC-245fa vers les HFO dans la fabrication de la mousse isolante chez un fabricant de réfrigérateurs ménagers (Hisense Kelon) a été financé à la condition que les changements en matière d'efficacité énergétique du produit soient évalués et communiqués dans un rapport, ainsi que tout changement relatif dans les politiques gouvernementales.

Cadre politique, réglementaire et institutionnel

3. Le gouvernement de la Chine a ratifié l'Amendement de Kigali le 17 juin 2021. En réponse à la ratification de l'Amendement de Kigali, la Chine a révisé le Règlement sur la gestion des substances appauvrissant la couche d'ozone, qui a été approuvé en décembre 2023. Le règlement révisé, en vigueur à compter du 1^{er} mars 2024, comprenait les HFC dans la liste des substances réglementées et appliquait des quotas sur la production et les importations de HFC pour 2024. La Chine a présenté une demande de financement préparatoire pour la phase I du plan de mise en œuvre de l'Amendement de Kigali sur les HFC (KIP) à la 94^e réunion. Après des discussions bilatérales, le Comité exécutif a convenu de reporter l'examen de la demande à la présente réunion.

4. La norme nationale GB40879-2021 *Valeurs maximales autorisées de l'efficacité énergétique et de classes d'efficacité énergétique pour les centres de données* a été mise en œuvre le 1^{er} novembre 2022. Ce règlement précise les normes techniques pour un classement de l'efficacité énergétique, la mesure de la consommation énergétique, ainsi que le calcul et l'évaluation de l'efficacité énergétique des centres de données. Le classement de l'efficacité énergétique créé pour les centres de données est basé sur une mesure de l'indicateur d'efficacité énergétique (PUE)³ et comporte trois niveaux : le niveau I est moins de

² Conformément à la lettre du 6 septembre 2024 adressée au PNUD par le ministère de l'Écologie et de l'Environnement de la Chine.

³ Le PUE, pour « Power usage effectiveness », est le rapport de la quantité totale d'énergie utilisée par un établissement de centre de données informatiques par rapport à l'énergie livrée à l'équipement informatique.

1,20 PUE, le niveau II se situe entre 1,20 et 1,30 PUE, et le niveau III est supérieur à 1,30 PUE⁴. En juillet 2024, la Commission nationale du développement et de la réforme et le ministère de l'Industrie et de la Technologie de l'information ont publié un plan d'action sur le développement écologique des centres de données, qui définit des exigences pour l'équipement des centres de données, comme le PUE maximal inférieur à 1,5 PUE à partir de 2025. L'énergie renouvelable doit également représenter un pourcentage graduellement plus important de la consommation énergétique totale des centres de données, ciblant une augmentation de 10 pour cent par an en utilisation de l'énergie renouvelable⁵.

HFC et consommation énergétique dans les centres de données en Chine

5. Les centres de données constituent un secteur à croissance rapide en Chine et ils ont engendré, en raison de leur demande élevée en matière de refroidissement, une rapide augmentation de la consommation de HFC⁶. En 2024, les centres de données en Chine devraient compter pour environ 10 pour cent du total mondial. Les centres de données sont d'importants moteurs de croissance pour ce qui est de la demande en électricité, avec une consommation mondiale estimée à 460 térawattheures (TWh) en 2022, et une consommation électrique projetée atteignant potentiellement plus de 1 000 TWh en 2026, mondialement⁷. En Chine en 2023, la consommation des centres de données a été estimée à environ 267 TWh d'électricité⁸.

6. Les HFC sont largement utilisés dans les systèmes de réfrigération, de climatisation et de pompes à chaleur en Chine. Historiquement, la méthode de refroidissement utilisée dans les centres de données en Chine était les salles informatiques climatisées, ce qui implique des systèmes de réfrigération mécaniques utilisant des frigorigènes pour refroidir l'air avec un flux d'air, puis en transférant la chaleur loin de l'équipement de TI. Les frigorigènes les plus fréquemment utilisés dans ces systèmes sont le HFC-134a et le R-410A. Par exemple, dans un centre de données avec une charge thermique en TI de 7 200 kW, le système de réfrigération mécanique typique nécessiterait environ 4,32 tm (9 020 tonnes éq. CO₂) de R-410A. De plus, en raison des limites en ce qui a trait aux propriétés thermiques de l'air, l'efficacité de l'échange thermique de ces systèmes est relativement faible. Par conséquent, la consommation énergétique du système de refroidissement compte habituellement pour 30 à 50 pour cent de l'énergie totale utilisée dans un centre de données traditionnel. En général, la technologie de refroidissement de l'air peut supporter une consommation d'énergie de seulement 30 kW⁹ par armoire.

7. La Chine importe et exporte du R-410A et du HFC-134a. Selon les données déclarées en vertu de l'article 7, la consommation combinée du R-410A et du HFC-134a en 2022 était négative, puisqu'il y avait plus d'exportation de R-410A que d'importations cette année-là. Dans les données relatives au programme du pays (PP) pour 2022, l'utilisation du R-410A est déclarée à 116 711 tm (243 692 067 tonnes éq. CO₂) et compte pour 32 pour cent de l'utilisation déclarée de HFC pour cette année-là. Pour ce qui est du HFC-134a, l'utilisation a été déclarée à 72 500 tm (103 674 500 tonnes éq. CO₂), ce qui représente à peu près

⁴ Rapport de l'Agence internationale de l'énergie : Policy development on energy efficiency of data centres [développement politique sur l'efficacité énergétique des centres de données], page 44 <https://www.iea-4e.org/wp-content/uploads/2024/02/Policy-development-on-energy-efficiency-of-data-centres-draft-final-report-v1.05.pdf>

⁵ English.gov.cn, la plateforme officielle de communication en anglais du Conseil des affaires de l'État de la République populaire de Chine https://english.www.gov.cn/news/202407/24/content_WS66a0b167c6d0868f4e8e96ba.html

⁶ The climate cost of China's digital infrastructure rush [le coût climatique de la ruée vers l'infrastructure numérique de la Chine], Dialogue Earth <https://dialogue.earth/en/energy/11960-the-climate-cost-of-china-s-digital-infrastructure-rush/>

⁷ Agence internationale de l'énergie (AIE) [en anglais seulement] <https://www.iea.org/reports/electricity-2024/executive-summary>

⁸ Dans un reportage de Greenpeace East Asia et de la North China Electric Power University [en anglais seulement] <https://www.techcrati.com/news-hub/data-centres-china-renewables-energy/>

⁹ Copenhagen Centre on Energy Efficiency, Innovative Data-Centre Cooling Technologies in China – Liquid Cooling Solution [Centre de Copenhague sur les technologies écoénergétiques et novatrices de refroidissement des centres de données en Chine – solution de refroidissement liquide], https://c2e2.unepccc.org/kms_object/innovative-data-centre-cooling-technologies-in-china-liquid-cooling-solution/

20 pour cent de l'utilisation de HFC déclarée pour cette année-là. Pour les deux substances, environ 30 pour cent de l'utilisation déclarée en 2022 concernait le secteur de l'entretien des équipements de réfrigération et de climatisation.

Tableau 1. Données de l'article 7 et du PP pour le HFC-134a et le R-410A en Chine (2020-2022)

Substance	PRP*	Article 7 (2020)	Article 7 (2021)	Article 7 (2022)	PP (2020)	Programme de pays (2021)	Programme de pays (2022)
Tonnes métriques							
HFC-134a	1 430	89 165	100 729	82 030	s. o.	85 625	72 500
R-410A	2 088	-68 464	-74 522	-106 255	s. o.	102 538	116 711
Total	s. o.	20 700	26 206	-24 225	s. o.	188 163	189 210
Total du secteur de l'entretien pour le HFC-134a	1 430	s. o.	s. o.	s. o.	s. o.	34 943	23 920
Total du secteur de l'entretien pour le R-410A	2 088	s. o.	s. o.	s. o.	s. o.	24 828	35 780
Tonnes équ. CO₂							
HFC-134a	1 430	127 505 365	144 041 928	117 302 710	s. o.	122 443 664	103 674 500
R-410A	2 088	-142 918 864	-155 565 505	-221 807 965	s. o.	214 099 553	243 692 067
Total		-15 413 499	-11 523 577	-104 505 255	s. o.	336 543 217	347 366 566
Total du secteur de l'entretien pour le HFC-134a	1 430	s. o.	s. o.	s. o.	s. o.	49 967 832	34 205 786
Total du secteur de l'entretien pour le R-410A	2 088	s. o.	s. o.	s. o.	s. o.	51 839 820	74 709 183

8. Les besoins en électricité des unités centrales de traitement (UC) ont augmenté de 100 W à environ 400 W, et la puissance nécessaire pour une unité de traitement graphique (UTG) utilisée pour l'intelligence artificielle (IA) peut être aussi élevée que 2,6 kW¹⁰. Les systèmes de climatisation traditionnels utilisant une technologie de refroidissement de l'air se sont avérés incapables de satisfaire les exigences en matière de refroidissement des centres de données à forte densité¹¹. En réaction aux besoins croissants, le refroidissement liquide a été introduit en Chine dans les centres de données en 2015, incluant la dissipation thermique par circulation de fluide, le refroidissement liquide par immersion et le refroidissement liquide par pulvérisation. Il existe deux principales catégories de technologies de refroidissement liquide basées sur la manière dont l'agent de refroidissement interagit avec la source de chaleur : refroidissement liquide sans contact et refroidissement liquide par contact.

Refroidissement liquide sans contact

9. Le refroidissement liquide sans contact dans les centres de données comprend la dissipation thermique par circulation de fluide et le refroidissement par caloducs :

- (a) La dissipation thermique par circulation de fluide comporte une plaque de refroidissement avec un liquide de refroidissement (habituellement de l'eau) pour conduire et des composantes pour refroidir les températures élevées. Ces systèmes sont habituellement faits de métal et comportent de nombreux petits canaux par lesquels le liquide de refroidissement peut circuler et absorber la chaleur, qui est ensuite transportée dans un système de circulation.
- (b) Les caloducs sont des tubes de cuivre, des ailettes en aluminium et un fluide caloporteur qui change de phase passivement pour transporter la chaleur. Tandis que l'air circule du côté chaud (passage de l'air chaud depuis l'air de retour du centre de données) du caloduc,

¹⁰ Ibid.

¹¹ Ibid.

le frigorigène s'évapore, absorbant de l'énergie, puis se déplace vers le côté froid (air extérieur) où il se condense, libérant de l'énergie, puis retourne du côté chaud. Ces systèmes sont des appareils de transfert thermique efficaces; toutefois, ils s'appuient toujours sur des frigorigènes à base de fluorocarbones.

10. Le refroidissement liquide sans contact convient bien aux composantes à flux de chaleur élevé comme les UC et les UTG, où la dissipation efficace de la chaleur est cruciale. Il est cependant utilisé conjointement avec d'autres systèmes de refroidissement comme les salles informatiques climatisées, pour gérer les aires de chaleur plus faible dans tout le centre de données.

Refroidissement liquide par contact

11. Le refroidissement liquide par contact dans les centres de données comprend le refroidissement par immersion biphasé et le refroidissement par immersion monophasé :

- (a) Les systèmes de refroidissement par immersion biphasé utilisent un fluorocarbure qui bout à environ 50 °C. La chaleur engendrée par les serveurs fait bouillir ce liquide diélectrique, le transformant en vapeur qui assume passivement le transfert. Puis la vapeur se condense de nouveau en liquide grâce à un serpentin de condensation, le liquide refroidi est ensuite réintégré dans le cycle. Ce cycle simple élimine la nécessité du matériel de refroidissement comme des ventilateurs.
- (b) Le refroidissement par immersion monophasé est une méthode où l'agent de refroidissement ne change pas de phase pendant l'échange thermique. Dans cette technologie, les serveurs sont immergés dans un liquide de refroidissement non conducteur et la chaleur générée par les serveurs est retirée grâce à la circulation forcée du liquide. La chaleur est ensuite transférée à l'environnement externe au moyen d'un échangeur thermique à plaques.

12. Le refroidissement par immersion biphasé démontre un rendement plus élevé en matière d'échange thermique; toutefois, pendant son fonctionnement, le centre de données fonctionne essentiellement comme un réservoir sous pression. Par conséquent, l'entretien d'un serveur précis nécessite d'éteindre tout le système, ce qui est la principale raison pour laquelle cette technologie n'a pas connu une adoption généralisée. Dans le refroidissement par immersion monophasé, un frigorigène est requis, mais l'utilisation d'un échangeur à plaques réduit la quantité de frigorigène nécessaire et permet de fonctionner avec divers frigorigènes, y compris l'ammoniac, le dioxyde de carbone et les hydrocarbures¹². En raison des propriétés physiques de l'agent de refroidissement, comparativement à l'air, cette technologie permet une distribution plus élevée de la température sans avoir besoin d'appareils de réfrigération mécanique supplémentaires dans l'ensemble du système de refroidissement du centre de données.

13. Il existe actuellement deux principaux types de liquides de refroidissement utilisés dans les systèmes de refroidissement par immersion monophasé : les liquides fluorés et les huiles synthétiques. Le tableau 2 présente les propriétés des liquides de refroidissement actuellement utilisés, mettant en évidence les différences en ce qui a trait à leur effet sur l'environnement, leur conductivité thermique et d'autres caractéristiques importantes.

- (a) Les liquides fluorés sont constitués de composés fluorocarbonés, comme le perfluorocarbure (PFC) et le polyéther perfluoré (PFPE). Ces liquides de refroidissement sont efficaces, mais engendrent des préoccupations environnementales en raison de leurs valeurs de PRP

¹² <https://www.hvacinformed.com/news/dfc-explains-advantages-plate-heat-exchangers-in-refrigeration-technology-co-1711435756-ga.1711435878.html>; <https://www.swep.net/refrigerant-handbook/10.-systems/asdf8/>; <https://www.alfalaval.us/industries/refrigeration/industrial-refrigeration/> [pages en anglais seulement]

élevées.

- (b) Les huiles synthétiques sont principalement composées d'hydrocarbures, y compris les esters à base de polyol (EBP) et la polyalphaoléfine (PAO). Contrairement aux liquides fluorés, les huiles synthétiques ne contribuent pas aux émissions de gaz à effet de serre, ce qui en fait un choix plus respectueux de l'environnement. Le tableau 2 présente les propriétés des liquides de refroidissement actuellement utilisés, mettant en évidence les différences en ce qui a trait à leur effet sur l'environnement, leur conductivité thermique et d'autres caractéristiques importantes.
- (c) Le Bing Yi 797, une huile synthétique de refroidissement inventée et enregistrée par Tianjin Tier, est principalement composé de 90 à 99,8 % de polidocanol hydrogéné et de 0,2 à 0,9 % de composés antioxydants, sans hydrocarbures aromatiques. Cette composition est conçue pour maximiser la performance de refroidissement et le respect de l'environnement. Le projet de démonstration validerait l'efficacité du système de refroidissement par immersion monophasé dans le centre de données en utilisant le Bing Yi 797.

Tableau 2. Liquides de refroidissement utilisés dans le refroidissement par immersion monophasé

Liquide de refroidissement		Performance thermique				Effet sur l'environnement		Performance de sécurité	
		Conductivité thermique W/(m·°C)	Capacité thermique kJ/(kg·°C)	Masse volumique kg/m ³	Viscosité dynamique mm ² /s	PAO	PRP	Point d'éclair °C	Point d'allumage °C
Liquide fluoré	FC-40	0,065	1,1	1 855	2,2	0	>5 000	/	/
	Novec7500	0,065	1,128	1 614	0,77	0	100	/	/
	SF-10	0,077	1	1 580	0,71	0	2,5	/	/
	HT-135	0,065	0,963	1 720	1	0	>5 000	/	/
Huile synthétique	Bing Yi 797	0,342	1,987	797	13	0	0	175	164
	VP-3	0,117	1,630	930	2,79	0	0	113	104
	EC-110	0,1376	2,155	820	16,94	0	0	>350	203

Renseignements sur l'entreprise

14. L'entreprise Anhui Tier Liquid Cooling Technology Co., Ltd., (Anhui Tier) est une entreprise technique spécialisée dans les solutions avancées de refroidissement pour les centres de données. La technologie de liquide de refroidissement qui sera utilisée a été élaborée par sa filiale, Tianjin Tier Technology Co., Ltd, qui a été fondée en 2019. Anhui Tier dirigera le projet pilote pour la conception, la fabrication, l'installation, l'ingénierie et la maintenance.

15. Le projet sera mis en œuvre dans un nouveau centre de données; il n'existe donc pas d'utilisation actuelle de HFC et de consommation énergétique, mais le projet éviterait l'utilisation des HFC et réduirait les besoins énergétiques habituels d'un centre de données. Le site pour ce projet de démonstration est confirmé, dans la ville de Wuhu, et comporte plus de 20 000 m², ainsi qu'une double alimentation électrique de 5 000 kVA, un approvisionnement en eau et un réseau à bande passante pour les besoins opérationnels.

Aperçu du projet et demande de financement

16. Ce projet pilote été soumis conformément à la décision 91/65 c).

Objectif du projet

17. Le projet propose de commencer par la conception, la construction et l'exploitation du centre de données, y compris la mise à niveau des serveurs et la conception de six armoires de refroidissement par

liquide avec une capacité totale de 7 200 kW, intégrant 10 cartes de traitement GRP en un serveur unique, suivi par la conception, la construction et l'exploitation d'un système de récupération des rejets thermiques utilisant une pompe à chaleur au R-290 et un système d'alimentation hybride, et il vise 50 pour cent d'énergie renouvelable. Ce projet comprendrait une évaluation complète et une analyse comparative par rapport à d'autres centres de données avec refroidissement à air et la mesure de l'efficacité énergétique, ainsi qu'un examen des normes en matière d'efficacité énergétique pour les centres de données à l'aide des données d'exploitation du projet de démonstration et ferait la promotion des résultats du projet grâce à diverses activités de sensibilisation et de diffusion.

Activités proposées

18. Il y a six éléments principaux dans ce projet, et chaque élément est décrit ci-dessous.

- (a) *Centre de données* : Les activités comprendraient l'optimisation des serveurs pour améliorer le champ d'écoulement interne et augmenter l'échange thermique entre les microcircuits intégrés et le liquide de refroidissement; la conception, l'assemblage et l'exploitation du système, l'analyse des effets des paramètres structurels, des propriétés physiques et des paramètres d'exploitation des serveurs refroidis par liquide; la conception des armoires de refroidissement par liquide et l'analyse des paramètres d'exploitation, comme le débit et la température du liquide de refroidissement; la conception de la logique opérationnelle pour l'équipement de refroidissement externe;
- (b) *Récupération des eaux usées* : Le centre de données utilisera des eaux usées pour fournir de la chaleur au parc de centre de données, tirant parti de sa température élevée (plus de 50 °C) pour la récupération écoénergétique; cela comprendra la conception d'un système de récupération des eaux usées, incluant des appareils de pompe à chaleur et des conceptions de tuyaux; le développement d'une logique d'exploitation à l'aide de méthodes d'IA afin d'optimiser la performance du système, garantissant que le centre de données est refroidi de manière efficace tout en fournissant de la chaleur au parc; et le traitement, l'assemblage et les tests de fonctionnement.
- (c) *Système d'alimentation électrique hybride* : Introduire deux sources d'alimentation électrique municipales, chacune capable de supporter 50 pour cent de la charge dans des conditions normales et 100 pour cent si l'une des sources fait défaut; évaluer les exigences thermiques supplémentaires; utiliser les données recueillies pendant les tests de fonctionnement sur la dissipation thermique du système et les exigences d'approvisionnement en chauffage; déterminer les besoins en matière de chauffage pour le parc de centre de données afin de déterminer si le système de récupération des rejets thermiques peut répondre efficacement à ces besoins; élaborer des stratégies d'exploitation fondées sur les données recueillies; traiter et assembler en vue de l'alimentation électrique mixte; et effectuer les tests de fonctionnement pour l'alimentation électrique mixte;
- (d) *Étude comparative* : Effectuer une analyse en profondeur des centres de données avec refroidissement par immersion monophasé en se concentrant sur la comparaison de la performance, de l'efficacité énergétique, de l'effet sur l'environnement et des avantages économiques du refroidissement par immersion monophasé par rapport aux centres de données traditionnellement refroidis par air; l'effet sur l'environnement du cycle de vie du liquide de refroidissement et les émissions de carbone du système au cours de son cycle de vie; l'efficacité énergétique et les aspects et paramètres économiques, comme le PUE, l'efficacité de l'utilisation de l'eau, les coûts d'investissement et les coûts d'exploitation pour le système analysé; rapport de recherche complet;
- (e) *Amélioration des normes* : Évaluation du marché de la demande pour les systèmes de

refroidissement par immersion monophasé dans les installations nouvelles et existantes qui comptent actuellement sur des systèmes de refroidissement à base de HFC, y compris une analyse des tendances de l'industrie, les taux potentiels d'adoption et le paysage réglementaire; la norme nationale pour les valeurs de consommation maximale autorisée et les classements d'efficacité énergétique pour les centres de données examinés, y compris les réunions de consultation avec les experts de l'industrie et le comité national de normalisation; un rapport avec des recommandations sur l'amélioration de la norme préparée;

- (f) *Sensibilisation à la technologie et diffusion* : Comprend un séminaire technique et une participation à un salon de l'industrie; et une formation pour les concepteurs, les techniciens, les gestionnaires de production, les techniciens d'installation et le personnel de maintenance de l'équipement.

19. Le projet sera mis en œuvre entre décembre 2024 et décembre 2026.

Total des coûts du projet pilote

20. Le coût total du projet pilote, tel que soumis, est résumé au tableau 3.

Tableau 3. Coûts estimés pour le projet pilote sur l'efficacité énergétique dans un centre de données, tel que soumis (\$ US)

Coûts détaillés		Coût total du projet	Cofinancé par la Chine	Fonds du FML
Infrastructure physique	Division du terrain	1 540 000	1 540 000	0
	Construction civile du site	400 000	400 000	0
Sous-total		1 940 000	1 940 000	0
Conception	Développement du volet pour le bloc de refroidissement liquide par immersion	65 000	32 500	32 500
	Développement de la carte mère pour le refroidissement liquide par immersion	120 000	60 000	60 000
	Développement de l'algorithme de contrôle du liquide d'immersion	195 000	97 500	97 500
	Développement du dissipateur de chaleur et de la structure de serveur	150 000	75 000	75 000
	Conception du réservoir de liquide de refroidissement	55 000	27 500	27 500
	Conception de la circulation du liquide de refroidissement	20 000	10 000	10 000
	Conception pour la récupération des rejets thermiques	70 000	35 000	35 000
	Développement du logiciel pour la plateforme de gestion de l'infrastructure	88 500	44 250	44 250
	Développement de l'algorithme d'IA	100 000	50 000	50 000
	Ingénieur logiciel MFN	80 000	40 000	40 000
	Conception du système général du centre de données	55 000	38 500	16 500
Sous-total		998 500	510 250	488 250
Processus et assemblage	Verre pour les centres de données	59 040	59 040	0
	Production et assemblage de conteneur	520 000	520 000	0
	Armoire de refroidissement liquide	1 285 000	642 500	642 500
	Carte mère de refroidissement liquide	1 714 000	1 199 800	514 200
	Coque des serveurs pour le refroidissement liquide	342 800	171 400	171 400
	Volets du bloc spécial de refroidissement liquide	342 000	171 000	171 000

Coûts détaillés		Coût total du projet	Cofinancé par la Chine	Fonds du FML
	Module de microcircuit	24 000 000	24 000 000	0
	Mémoire, UC, carte réseau	1 650 000	1 650 000	0
	Liquide de refroidissement	857 000	728 500	128 500
	Déploiement et mise en service de la plateforme de gestion d'infrastructure du centre de calcul intelligent	142 500	99 750	42 750
	Plateforme d'IA auto-réglable	66 000	46 200	19 800
	Module hydrodynamique	250 000	250 000	0
	Aérorefroidisseur	500 850	500 850	0
	Système d'alimentation électrique hybride ininterrompu (système d'alimentation électrique mixte)	1 141 800	1 141 800	0
	Pompe à chaleur (système de récupération des eaux usées)	120 000	120 000	0
Sous-total		32 990 990	31 300 840	1 690 150
Tests de fonctionnement¹³	Coûts d'installation et de mise en service	30 000	15 000	15 000
	Coût administratif	12 000	6 000	6 000
Sous-total		42 000	21 000	21 000
Exploitation du système¹⁴	Coût de maintenance	45 000	22 500	22 500
	Coût d'alimentation	852 700	852 700	0
Sous-total		897 700	875 200	22 500
Recherche comparative	Traitement des données et analyse	15 000	7 500	7 500
	Évaluation complète – effet sur l'environnement	10 000	5 000	5 000
	Évaluation complète – efficacité énergétique et analyse économique	10 000	5 000	5 000
	Recherche comparative – enquête pour le centre de données avec refroidissement par air	15 000	7 500	7 500
	Recherche comparative – optimisation de la performance entre le refroidissement par air et le projet	10 000	5 000	5 000
	Rapport de recherche	10 000	5 000	5 000
Sous-total		70 000	35 000	35 000
Amélioration des normes	Évaluation du marché	50 000	25 000	25 000
	Amélioration de la norme	50 000	25 000	25 000
Sous-total		100 000	50 000	50 000
Sensibilisation et diffusion	Diffusion de la technologie – séminaire technique	50 000	25 000	25 000
	Diffusion de la technologie – partage de l'étude de cas	50 000	25 000	25 000
	Diffusion de la technologie – participation dans les salons de l'industrie	50 000	25 000	25 000
	Formation pour les concepteurs et techniciens concernés	50 000	25 000	25 000
	Formation pour les personnes dirigeant la production, les travailleurs de la fabrication	50 000	25 000	25 000
	Formation pour le personnel de la maintenance de l'équipement	50 000	25 000	25 000
Sous-total		300 000	150 000	150 000
Total		37 339 190	34 882 290	2 456 900

¹³ Cela concerne l'exploitation du centre de données à titre d'essai afin de recueillir des données pour l'optimisation de la performance du système relativement aux aspects de la température et du transfert thermique qui affectent les fluctuations de températures et ont une incidence sur la consommation énergétique.

¹⁴ Cela concerne les coûts pour le personnel technique et de maintenance pour l'exploitation sur place de l'équipement.

OBSERVATIONS ET RECOMMANDATION DU SECRÉTARIAT

OBSERVATIONS

21. Le Secrétariat a passé en revue la proposition de projet à la lumière de la décision 91/65 et la préparation de projet qui a été fournie pour ce projet à la 94^e réunion.

Questions techniques et financières

Validation de la technologie

22. Le Secrétariat a pris note à partir de la présentation que le Bing Yi 797, une huile synthétique de refroidissement inventée et enregistrée par Tianjin Tier, est principalement composé de 90 à 99,8 pour cent de polidocanol hydrogéné et de 0,2 à 0,9 pour cent de composés antioxydants, sans hydrocarbures aromatiques. En ce qui concerne les tests de performance de ce produit en matière de sécurité et de performance du produit, le PNUD a expliqué qu'ils ont été approuvés par des laboratoires indépendants.

État de l'adoption du Bing Yi 797

23. Le Secrétariat a demandé des renseignements supplémentaires sur l'état d'adoption de la technologie proposée. Le PNUE a expliqué que cette technologie a été validée dans des contextes de laboratoires et adoptée à petite échelle dans les centres de données en Chine. Initialement, elle a été appliquée dans un centre de données universitaire avec une seule armoire, et a plus tard été élargie à un centre de données commercial avec six armoires. Ces utilisations traitent des charges thermiques relativement faibles et sont principalement utilisées pour des services informatiques de base. En outre, la rétroaction des clients est positive; les utilisateurs apprécient la propreté de la technologie, la conception compacte, les niveaux de bruits réduits et les coûts énergétiques contrôlables. Le PNUD a également expliqué que comparativement aux systèmes traditionnels, cette solution a été bien reçue pour son efficacité et ses avantages en matière d'exploitation dans les centres de données à plus petite échelle. Le PNUD a également précisé que le refroidissement par immersion monophasé pouvait être utilisé dans d'autres applications, comme les dispositifs de gestion thermique des batteries pour les véhicules électriques (VE) et les systèmes de stockage d'énergie par batterie (SSEB) ainsi que les piles de recharge pour les VE. Cette technologie résout principalement la dissipation de la chaleur pour les scénarios de flux de chaleur élevé, en évitant l'utilisation de systèmes de climatisation.

Processus de récupération de la chaleur

24. Le Secrétariat a demandé des précisions concernant le processus de récupération de la chaleur, en prenant note que cela ne fait pas directement partie du système utilisé pour le refroidissement du centre. Le PNUD a expliqué que pour assurer la grande efficacité de refroidissement et la récupération efficace des rejets thermiques dans les centres de données, il est crucial que les paramètres des deux systèmes – comme la température, le débit et les capacités de transfert thermique – soient harmonisés avec précision; les inadéquations entraînent une perte d'efficacité et affecteraient la performance du système dans son ensemble. De plus, il a également mentionné que le déséquilibre dans la correspondance des flux thermiques entraînerait un déséquilibre thermique affectant la performance du liquide de refroidissement, une consommation énergétique excessive dans les différentes opérations de l'unité, une usure plus importante des composantes, une instabilité du système contribuant aux risques de temps d'arrêt, ainsi que de plus faibles niveaux de récupération de chaleur qui entraîneraient indirectement une inefficacité. Selon les consultations, le PNUD a convenu de retirer les coûts relatifs à ce volet de la proposition.

Besoins supplémentaires en matière de refroidissement

25. Au sujet des besoins supplémentaires en matière de refroidissement, le PNUD a expliqué que selon les données des tests en laboratoire, ces systèmes n'ont pas besoin de refroidissement supplémentaire. Le serveur pourrait fonctionner normalement même si la température d'arrivée¹⁵ du liquide de refroidissement est aussi élevée que 50 °C. Parallèlement, la température de sortie¹⁶ du liquide de refroidissement pourrait se situer autour de 60 °C; cette technologie pourrait donc être appliquée tant dans des climats chauds que froids partout dans le monde.

Échange de renseignements sur l'achèvement de projet

26. Le Secrétariat a demandé des renseignements sur ce qui allait être partagé avec les clients après la démonstration réussie de la technologie. Le PNUD a expliqué que les renseignements généraux sur le système couvrent les détails touchant à la configuration du système (comme celle des serveurs et des armoires); l'exploitation des paramètres (couvrant les principales données d'exploitation comme les variations de température du serveur et incluant les UTG et les UC); les mesures de température et de débit du système aux points critiques; et l'analyse des données d'exploitation, y compris une étude comparative avec des systèmes fonctionnant aux HFC, les métriques de consommation énergétique et une analyse économique seront mises à disposition du Fonds multilatéral et des autres parties intéressées. Certains aspects de la technologie demeureront exclusifs, y compris le processus de conception du système qui sera retenu comme les renseignements exclusifs et les renseignements relatifs au liquide de refroidissement, puisqu'il s'agit d'une substance chimique exclusive qui serait fournie directement aux clients par Tier. En outre, Tier garantit la fonctionnalité du liquide de refroidissement jusqu'à 10 ans (ce qui surpasse les données moyennes de durée de vie des centres de données d'environ 8 ans) et traitera le recyclage du liquide de refroidissement à la fin de la vie du centre de données.

Élaboration des normes pour les centres de données selon les résultats

27. Au sujet de l'élaboration des normes, le Secrétariat a eu des discussions sur le temps nécessaire pour la mise en œuvre de ces normes, en prenant note que l'élaboration des normes peut être un important débouché pour l'amélioration de l'efficacité énergétique des centres de données. Le PNUD a expliqué que l'examen des normes minimales de performance énergétique (MEPS) est un aspect essentiel des projets dans le cadre de la fenêtre de financement pour l'efficacité énergétique. Cela facilite non seulement la diffusion de la technologie écologique, mais met également sur pied un repère pour des pratiques écoénergétiques et connexes¹⁷ dans les centres de données qui engendreraient des « centres de données écologiques ». En gardant à l'esprit le temps nécessaire pour la mise en œuvre des normes, il a été convenu de retirer ce volet du projet, en prenant note que les résultats relatifs à la performance énergétique du projet contribueront à l'élaboration des normes pour les centres de données uniquement après l'achèvement du projet.

Programmes de sensibilisation et de rayonnement

28. En ce qui concerne les programmes de sensibilisation et de rayonnement des résultats, le PNUD a expliqué que Tier entreprendrait une gamme d'activités de sensibilisation et de rayonnement relatives à la performance du produit et aux résultats du projet et ciblerait des publics constitués des représentants de l'industrie, de concepteurs et de techniciens pour des utilisations similaires, du personnel de maintenance, et d'autres parties prenantes concernées. L'entreprise partagera également les résultats de ce projet ainsi que d'autres développements en matière de technologie écologiques dans les équipements de réfrigération,

¹⁵ La température du liquide de refroidissement au point où il entre dans un système.

¹⁶ La température du liquide de refroidissement au point où il sort d'un système.

¹⁷ D'autres paramètres en matière d'efficacité seraient l'efficacité de l'utilisation de l'eau, le facteur de charge de l'énergie renouvelable, l'indicateur d'efficacité énergétique partiel; ces indicateurs seront également calculés pour évaluer la performance d'un projet.

de climatisation et de pompes à chaleur, qui pourraient être présentés lors de réunions internationales, comme celles relatives au Protocole de Montréal.

Coûts convenus du projet pilote

29. Le Secrétariat a tenu des échanges sur les coûts pour divers volets de ce projet en prenant note que certains des coûts sont basés sur des estimations faites par l'entreprise avec les apports de ses experts techniques. Le Secrétariat a tenu des consultations détaillées sur les différents volets de coûts du projet, en gardant à l'esprit que certains éléments de coûts n'étaient pas directement reliés au refroidissement et en prenant note que certains des coûts relevaient des conceptions techniques (p. ex., les coûts concernant le processus et l'assemblage) qui sont propres au projet proposé. Selon ces consultations, les coûts relatifs à la conception ont été rectifiés à 74 pour cent de la demande initiale; les coûts pour les composants du processus et de l'assemblage concernant l'armoire de refroidissement liquide, de la carte mère de refroidissement liquide, de la coque de refroidissement liquide des serveurs ainsi que du bloc spécial de refroidissement liquide ont été rectifiés à 77 pour cent de la demande initiale; les coûts pour les tests, l'exploitation des systèmes et la recherche comparative ont été rectifiés à 60 pour cent de la demande initiale; les coûts pour les améliorations des normes ont été retirés de la demande; et les coûts pour la sensibilisation et la diffusion des renseignements ont été rectifiés à 50 pour cent de la demande initiale. Le tableau 4 présente la proposition telle que soumise et les coûts convenus.

Tableau 4. Coûts convenus pour le projet pilote de démonstration du refroidissement par immersion monophasé dans un centre de données

Paramètres	Tel que proposé (\$ US)	Coûts convenus (\$ US)
Conception	488 250	362 500
Processus et assemblage	1 690 150	1 306 200
Tests de fonctionnement	21 000	12 600
Exploitation du système	22 500	13 500
Recherche comparative	35 000	21 000
Amélioration des normes	50 000	-
Sensibilisation et diffusion des renseignements	150 000	75 000
Total	2 456 000	1 790 800

Prévention des émissions

30. Comparativement aux systèmes de climatisation fonctionnant au R-410A répondant aux besoins pour une charge thermique de 7 200 kW et en tenant compte d'un niveau de récupération des rejets thermiques de 40 pour cent ainsi que d'un niveau indirect des émissions des gaz à effet de serre de 0,997 kg de CO₂/kWh en électricité, les économies directes et indirectes d'émissions au cours de cycle de vie du centre de données (soit 20 ans) sont de 9 020 tonnes éq. CO₂ et de 1,17 million tonnes éq. CO₂, respectivement.

Durabilité, reproductibilité du projet pilote et évaluation des risques

31. Le projet devrait démontrer des résultats sur l'utilisation des systèmes de refroidissement par immersion monophasé dans les centres de données au moyen d'un nouveau liquide de refroidissement exclusif et respectueux de l'environnement, le « Bing Yi 797 ». Cela fournirait de l'information sur la performance de la technologie en matière d'impact sur la possible réduction de la consommation des HFC qui serait évitée et sur les niveaux globaux de consommation énergétique comparativement à un système de refroidissement traditionnel fonctionnant aux HFC pour un centre de données similaire. Le projet devrait également fournir des résultats relativement à la manière dont l'impact sur le climat peut être maximisé par la récupération de chaleur et l'utilisation possible de sources d'énergie renouvelables avec l'alimentation électrique traditionnelle pour créer une alimentation électrique stable, fiable et écoénergétique pour le

centre de données. Le projet comporterait également un investissement considérable de différents volets provenant du bénéficiaire (Anhui Tier), démontrant son engagement envers la mise en œuvre du projet. Le gouvernement se conformera aux conditions précisées à l'alinéa b(iv) de la décision 91/65. Ce projet fournira aussi des renseignements sur la performance de cette technologie, ce qui peut contribuer à de futurs développements et au renforcement des normes en matière d'efficacité énergétique ainsi qu'aux paramètres de performance pour les centres de données.

RECOMMANDATION

32. Le Comité exécutif peut souhaiter d'envisager l'approbation du projet pilote pour améliorer l'efficacité énergétique des technologies de refroidissement dans les centres de données par la démonstration d'un système de refroidissement par immersion monophasé dans un centre de données, au montant de 1 790 800 \$ US, plus des coûts d'appui d'agence de 125 356 \$ US pour le PNUD, en prenant note :

- (a) Que la réduction directe des émissions prévue est de 9 020 tonnes éq. CO₂ au cours du cycle de vie estimé à 20 ans;
 - (b) Que le projet sera achevé au plus tard le 31 décembre 2026 et qu'un rapport de projet détaillé sera présenté au Comité exécutif dans les six mois suivant la date d'achèvement du projet.
-