



RAPPORT ANNUEL SUR LES TECHNOLOGIES PROPRES

À la frontière des technologies propres : **L'INCIDENCE DE L'IA SUR L'INNOVATION**

Services économiques d'EDC

Prerna Sharma

Canada



EDC

UN MONDE À CONQUÉRIR

Table des matières

Sommaire	3
Introduction	4
Les technologies propres utilisant l'IA	6
IA et énergie nucléaire	8
Le marché mondial des technologies propres et des technologies propres utilisant l'IA	9
Estimations des investissements en capital-risque dans les technologies propres utilisant l'IA	10
Technologies propres utilisant l'IA : atténuer les entraves à l'innovation et les risques	12
Autres technologies propres d'intérêt	14
Capture, séquestration et utilisation du carbone (CSUC)	15
Nouveaux produits énergétiques : hydrogène et autres combustibles de remplacement	16
Stockage d'énergie à long terme	17
Marché canadien des technologies propres	18
Tendances du marché canadien et des investissements	18
Contribution des produits environnementaux et de technologies propres au PIB du Canada	19
Flux commerciaux des technologies propres	19
À la frontière des technologies propres : occasions et exportations	22
Conclusion	24
Annexe	25
Références	26
À propos du présent rapport	28
À propos d'Exportation et développement Canada	28

Sommaire

L'intégration de l'intelligence artificielle (IA) dans les secteurs des technologies propres peut changer la façon dont nous créons, distribuons et consommons de l'énergie. De la réduction des émissions à l'optimisation des réseaux, en passant par la découverte scientifique et la modélisation climatique, les cas d'utilisation de l'IA dans les technologies propres sont extrêmement diversifiés.

Voilà pourquoi les innovations et les investissements dans cette filière et les technologies disruptives (*deep tech*) utilisant l'IA ont connu une croissance fulgurante (totalisant 28,5 milliards de dollars américains entre 2018 et 2023). Cependant, force est de constater que l'utilisation de l'IA dans les technologies propres n'est pas sans répercussions sur l'environnement, notamment en raison des besoins élevés en énergie et en eau des centres de données d'IA. Or, ces répercussions accélèrent la cadence à laquelle il faut mettre en place les infrastructures d'énergie propre et les sources d'électricité vertes nécessaires à l'essor de l'IA.

Les nouvelles technologies, autres que les technologies propres utilisant l'IA, sont très prometteuses. Nous nous intéressons ici à trois d'entre elles :

- le captage, l'utilisation et le stockage du carbone (CUSC);
- l'hydrogène et les autres combustibles de remplacement;
- le stockage de l'énergie, en particulier le stockage de l'énergie à long terme.

Bon nombre de ces technologies sont essentielles aux efforts de décarbonisation et de transition énergétique à l'échelle mondiale. Au Canada, elles présentent d'importants débouchés et offrent des avantages concurrentiels majeurs. Dans ce rapport, nous nous penchons également sur le potentiel que recèlent les petits réacteurs modulaires (PRM) comme moyen de produire rapidement de l'énergie nucléaire et les cas d'utilisation de l'IA dans le secteur.

Compte tenu de l'urgence de la décarbonisation et de la nécessité de respecter les engagements mondiaux en matière de carboneutralité, les investissements en capital-risque dans le secteur des technologies propres ont bondi depuis 2020. En parallèle, le ralentissement de l'économie, les taux d'intérêt élevés et la récession imminente ont entraîné une baisse des investissements mondiaux dans les technologies propres en 2023 (à hauteur de 41 milliards de dollars américains). L'investissement en capital-

risque canadien est demeuré inchangé depuis 2022, s'établissant à 1,2 milliard de dollars en 2023. En outre, le secteur de l'environnement et des technologies propres (ETP) contribue de façon substantielle au produit intérieur brut (PIB) et aux exportations du Canada. En 2022, l'apport du secteur a atteint 80 milliards de dollars, soit 3,5 % du PIB canadien. La même année, les exportations canadiennes du secteur ETP se sont élevées à 20,9 milliards de dollars, soit 2,2 % des exportations. Bien que des progrès aient été réalisés, les exportations ont augmenté en moyenne à un taux de croissance annuel composé de 0,6 % au cours des dix dernières années. Parallèlement, les exportations canadiennes d'électricité propre ont enregistré une hausse sensible en 2022, ce qui témoigne de l'importance croissante de l'énergie propre dans les exportations canadiennes.

Dans le présent rapport, Prerna Sharma, économiste principale à Exportation et développement Canada (EDC), explique comment l'IA inaugure une nouvelle ère pour le secteur des technologies propres, dans un contexte où la tendance à la décarbonisation pousse les pays à transformer les premières innovations en technologies propres en avantages concurrentiels. À ce propos, nous pouvons affirmer que plus le problème que ces technologies cherchent à résoudre est fondamental, plus leur potentiel d'exportation est grand. Comme pour toutes les technologies innovatrices, l'interaction de plusieurs facteurs en déterminera le succès : des politiques favorables, le soutien aux investissements du secteur privé, une main-d'œuvre qualifiée et un écosystème d'entreprises en démarrage dynamique contribueront tous à stimuler la croissance. Pour ce qui est des autres technologies nouvelles, la recherche et le développement (R-D), le financement critique et la commercialisation contribueront au développement de marchés et de possibilités d'exportation. Si la synergie entre l'IA et les technologies propres intervient à grande échelle, elle pourrait énormément dynamiser les efforts en matière de carboneutralité et de décarbonisation, au pays et ailleurs

dans le monde. Le Canada est bien placé pour s'imposer comme un chef de file.

Depuis 2012, EDC a appuyé des exportations de technologies propres de près de 41 milliards de dollars; elle est un acteur financier de premier plan auprès du secteur canadien des technologies propres. Nous soutenons des entreprises de tous les sous-secteurs, notamment la production d'énergie renouvelable, les biocarburants, l'efficacité énergétique et le bâtiment durable. Nous avons aidé des entreprises canadiennes de technologies propres de toutes tailles à réussir sur la scène internationale.

« EDC est fière d'épauler le secteur des technologies propres du Canada. Depuis 2012, nos programmes de financement, d'atténuation des risques, du savoir et de jumelage d'affaires facilitent le parcours de croissance de certaines d'entreprises de technologies propres et les aident à poursuivre leur objectif de carboneutralité, explique Jeff Keats d'EDC, responsable national, Écosystèmes des technologies propres. »

En 2022, EDC s'est fixé pour objectif de porter son soutien aux entreprises de technologies propres à 10 milliards de dollars d'ici 2025. Le 31 décembre 2023, cette cible a été dépassée grâce à la prestation de solutions de financement et d'assurance d'une valeur de plus de 12 milliards de dollars à plus de 440 entreprises de technologies propres; en 2022, nous avons soutenu 392 entreprises à hauteur de 8,8 milliards de dollars.

« Depuis sept ans, EDC tient son édition annuelle du Sommet sur l'exportation des technologies propres. J'espère que vous pourrez assister à l'événement hybride de cette année qui se déroulera sous le thème Vers la carboneutralité - Débouchés mondiaux pour les technologies propres canadiennes, qui aura lieu le 29 octobre. Notre équipe a hâte de réunir les innovateurs et les utilisateurs de l'écosystème des technologies propres, de discuter des tendances du secteur, de mettre les entreprises en contact avec des investisseurs et des acteurs du secteur financier et, surtout, de les fédérer autour de l'objectif commun qu'est la carboneutralité, affirme M. Keats. ».



Introduction

À l'heure actuelle, près de 10 000 satellites nous observent depuis le ciel. Sur Terre, les technologies de détection suivent les mouvements de l'eau qui s'infiltra dans les sols et les écosystèmes.

Cette nouvelle génération de technologies s'appuie sur des millions d'algorithmes qui alimentent de grands modèles de langage permettant d'effectuer des simulations climatiques, d'améliorer l'efficacité et de découvrir de nouveaux matériaux. Ces nouvelles technologies axées sur les données et les modèles physiques constituent des territoires inexplorés, ce qui nous amène à nous demander comment nous pouvons utiliser l'intelligence artificielle (IA) pour répondre aux besoins de notre planète.

Selon certaines estimations, les technologies propres utilisant l'IA pourraient contribuer à réduire jusqu'à 10 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre (GES) d'ici 2030¹. En effet, l'IA offre un vaste éventail d'applications pour lutter contre les changements climatiques. Bon nombre d'entre elles diffèrent des cas d'utilisation les plus connus découlant de l'IA générative², bien que certaines des applications puissent en contenir des éléments.

À l'heure actuelle, les innovateurs des secteurs des technologies propres intègrent des capacités de l'IA dans diverses facettes de leurs activités. Les innovations et les gains d'efficacité qui en découlent transforment la manière dont nous abordons les réductions d'émissions, l'utilisation du réseau, la gestion des terres, la sécurité de l'eau et la décarbonisation. En comprenant les systèmes complexes qui produisent les résultats liés au climat – notamment grâce à l'amalgamation et au traitement d'immenses ensembles de données –, l'IA peut mettre au jour des modèles susceptibles d'accélérer le rythme de la décarbonisation. En outre, l'IA peut aider à optimiser le volet opérationnel, suivre les progrès vers l'atteinte des objectifs de carboneutralité et faciliter la découverte de matériaux.

Les avantages tirés de l'IA ne sont pas anodins. Des études semblent indiquer que le recours à l'IA pour résoudre les problématiques climatiques pourrait abaisser les émissions de GES de 2,6 à

5,3 gigatonnes et apporter une valeur ajoutée de 1 000 à 3 000 milliards de dollars américains à la durabilité des entreprises d'ici 2030³.

Or, l'IA pose un problème de consommation d'énergie. Certes, l'IA peut contribuer à réduire les émissions de carbone, mais pour y parvenir elle doit faire appel à des infrastructures à forte intensité de carbone. Au cours de la dernière décennie, les centres de données de l'infonuagique ont représenté de 1 à 2 % de la demande mondiale en énergie. L'IA générative, en particulier, modifie l'ampleur de l'énergie requise pour répondre à ses besoins, car l'entraînement d'un seul modèle consomme plus d'électricité que 120 ménages américains en un an ou émet autant d'émissions que 110 voitures en une année entière⁴.

D'ailleurs, on s'attend à ce que les grands modèles de langage fondamentaux exercent des tensions accrues sur les réseaux d'énergie. Une recherche dans un agent conversationnel d'IA qui exploite le traitement du langage naturel (NLP) devrait consommer dix fois plus d'électricité qu'une simple recherche sur Google. L'Agence internationale de l'énergie (AIE) prévoit que

1 Accelerating Climate Action with AI, Dannouni et coll (2023), Boston Consulting Group : [bcg-accelerating-climate-action-with-ai-nov-2023-rev.pdf](https://www.bcg.com/-/media/assets/bcg/our-thinking/accelerating-climate-action-with-ai-nov-2023-rev.pdf) (en anglais seulement)

2 La principale différence entre l'IA traditionnelle et l'IA générative réside dans ses capacités et ses applications. Les systèmes d'IA traditionnels sont principalement utilisés pour analyser les données et faire des prédictions, tandis que l'IA générative va plus loin en créant de nouvelles données similaires aux données d'entraînement.

3 [Reduce Carbon and Costs with the Power of AI | BCG](https://www.bcg.com/-/media/assets/bcg/our-thinking/reduce-carbon-and-costs-with-the-power-of-ai-BCG.pdf) (en anglais seulement)

4 AIE. [Why AI and energy are the new power couple](https://www.iea.org/reports/why-ai-and-energy-are-the-new-power-couple) (en anglais seulement)

d'ici 2026 les centres de données pourraient consommer deux fois plus d'électricité qu'il y a deux ans, soit autant qu'un pays de la taille du Japon⁵. En fait, les centres de données devraient constituer un tiers de toute la nouvelle demande d'électricité aux États-Unis⁶ au cours des deux prochaines années. Du fait de l'essor des véhicules électriques, les entreprises de services publics ne disposent pas, pour l'heure, des moyens pour construire de nouvelles capacités d'énergies renouvelables aussi rapidement que l'exige le marché.

En raison de l'environnement macroéconomique actuel et des taux d'intérêt élevés, il en coûte plus cher pour réaliser des projets dans l'éolien et le solaire. Compte tenu de la pénurie d'énergies renouvelables et des contraintes pesant sur le réseau, les services publics pourraient ne pouvoir faire face à l'ampleur des besoins en électricité pour alimenter l'essor de l'IA. Il y a néanmoins une lueur d'espoir : l'IA pourrait être mise à contribution pour remédier à certains de ces problèmes – et plusieurs sont prêts à faire ce pari.

Nous pouvons utiliser des algorithmes d'IA pour surveiller, prédirer et réduire les émissions et ainsi décarboner les infrastructures de l'IA de manière plus efficace. Mais jusqu'où cette IA à vocation écologique peut-elle nous mener ?

Le long de la frontière des technologies propres, il existe toute une gamme d'autres produits offrant également de nouvelles solutions aux problèmes fondamentaux que posent les changements climatiques, ce qui comprend la consommation d'énergie à forte intensité en carbone de l'IA. Parmi les principaux engagements à l'égard de la carboneutralité, y compris ceux pris lors de la Conférence des Nations Unies sur les changements climatiques (COP28) de 2023, on trouve l'accord scellé entre les pays visant à abandonner les combustibles fossiles, à tripler les capacités d'énergie renouvelable et à doubler l'efficacité énergétique à l'horizon 2030.

Il y a certes urgence à passer à des sources d'énergie plus propres. Toutefois, la mise en place de ces infrastructures ne sera pas du jour au lendemain. Si ces engagements sont impératifs pour atteindre les objectifs climatiques à l'horizon 2050, d'autres technologies d'avant-garde seront essentielles pour y parvenir.

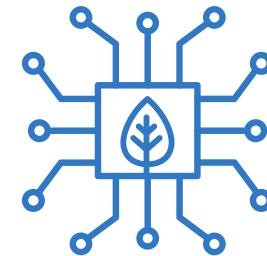


On dénombre plusieurs solutions, mais nous nous concentrerons sur trois d'entre elles qui sont essentielles et prometteuses :

- le captage, l'utilisation et le stockage du carbone (CUSC);
- l'hydrogène et les autres combustibles de remplacement;
- le stockage de l'énergie, en particulier le stockage de l'énergie à long terme.

Selon nous, ces technologies peuvent être adaptées à des secteurs dont l'activité est cruciale pour l'économie, en particulier ceux qui sont traditionnellement difficiles à décarboner. Si ces technologies sont déployées à des degrés divers dans les décennies à venir, leur potentiel semble d'ores et déjà énorme, qu'il s'agisse de diversifier l'économie, de renforcer la sécurité énergétique ou d'encourager l'innovation.

Le présent rapport donne également un aperçu des données relatives aux investissements en capital-risque dans les technologies propres utilisant l'IA et dans le secteur des technologies propres du Canada et du monde. Nous ferons un survol des exportations canadiennes de biens et de services du secteur de l'environnement et des technologies propres (ETP). Nous présenterons aussi les perspectives à l'exportation pour les technologies propres et d'autres technologies avant-gardistes utilisant l'IA, en mettant l'accent sur les débouchés pour le Canada.



Des études semblent indiquer que le recours à l'IA pour résoudre les problématiques climatiques pourrait abaisser les émissions de GES de 2,6 à 5,3 gigatonnes et apporter une valeur ajoutée de 1 000 à 3 000 milliards de dollars américains à la durabilité des entreprises d'ici 2030.

5 Electricity 2024: Analysis and forecast to 2026 (iea.blob.core.windows.net) (en anglais seulement)

6 Cliquer ici pour obtenir de plus amples renseignements sur le site de l'Agence internationale de l'énergie (AIE) (en anglais seulement) : [Data Centres and Data Transmission Networks](#)

Les technologies propres utilisant l'IA

Les technologies propres utilisant l'IA comprennent un éventail de produits et de services. Il s'agit d'applications logicielles de base (par exemple, un grand modèle de langage qui peut s'entraîner avec des données sur les émissions pour offrir des solutions d'optimisation du réseau) ou de l'intégration de logiciels d'IA dans des composants matériels (par exemple, des capteurs, des systèmes de vision ou des robots) qui contrôlent des processus complets ou améliorent une partie ou la totalité de la technologie.

Les solutions de technologies propres utilisant l'IA pourraient se fonder sur des approches en amont, comme celles qui ont recours à de grands algorithmes sophistiqués, ou des solutions de pointe qui saisissent de nouvelles formes de données.

Quelle que soit leur utilisation, les technologies propres utilisant l'IA devraient apporter une valeur ajoutée à l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement des filières de l'énergie et des technologies propres de diverses façons :

- l'IA peut approfondir notre compréhension des données climatiques en exploitant les grands modèles de langage pour combler les lacunes et anticiper les tendances futures;
- l'IA peut optimiser la conception de solutions de technologies propres existantes et nouvelles, y compris le matériel informatique comme les électrolyseurs ou les PRM;

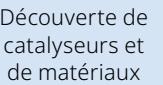
- l'IA peut améliorer le rendement en analysant les données de façon rapide et rentable et contribuer à réduire les délais de mise sur le marché des technologies ou des produits;
- l'IA peut fournir des renseignements analytiques aux utilisateurs, en particulier des analyses en temps réel pour optimiser l'utilisation;
- l'IA peut être utilisée pour la découverte et le développement scientifique et de produits (par exemple, cathodes, matériaux, catalyseurs);
- l'IA peut aider les régions, les citoyens et les entreprises à prévoir les risques liés au climat et à réagir en temps réel aux crises.

Tableau 1 : Technologies d'IA et applications liées au climat

Technologies d'IA	Exemples d'applications liées au climat
Analyses approfondies Utilisation de techniques mathématiques avancées pour obtenir des renseignements à partir de données.	Optimisation de la consommation d'énergie Optimisation de l'empreinte carbone d'un bâtiment en modifiant le chauffage, la climatisation et l'éclairage au moyen de l'analyse avancée de données provenant de capteurs et de prévisions météorologiques.
Apprentissage automatique Entraînement des ordinateurs à faire des prédictions à partir de données historiques.	Prévision des incendies de forêt Les modèles d'apprentissage automatique peuvent analyser les images satellites et les données météorologiques pour prédire la probabilité des feux des incendies de forêt.
Apprentissage profond Apprentissage automatique qui utilise des réseaux de neurones artificiels pour générer des renseignements à partir de divers ensembles de données, y compris des images, des sons et du texte. Ces modèles spécialisés peuvent reconnaître des modèles et des caractéristiques dans les données.	Prévision des phénomènes météorologiques extrêmes Des modèles d'apprentissage profond peuvent analyser des tonnes de données météorologiques et satellitaires historiques et en temps réel pour prévoir les ouragans, les tornades et les typhons.
Grands modèles de langage Modèles d'IA avancés entraînés à partir d'une multitude de données textuelles et qui peuvent exploiter des modèles probabilistes sophistiqués pour générer des textes semblables à ceux d'un être humain dans le cadre de cas d'utilisation de l'IA générative.	Innovation en matière de technologies propres Les grands modèles de langage sont capables d'accélérer l'innovation en procédant à des analyses documentaires très rapides d'articles scientifiques et de demandes de brevet afin de cerner les lacunes en matière de connaissances. Cela peut avoir des répercussions considérables sur les nouvelles technologies propres en accélérant le rythme auquel les produits ou les technologies arrivent sur le marché. Les innovations peuvent également aider les entreprises à automatiser les processus, à résoudre les problèmes de matériel technologique et à accroître l'efficacité des processus de fabrication, ce qui permet de réduire l'empreinte carbone et de promouvoir la prise de mesures efficaces d'atténuation des émissions.

Sources : Boston Consulting Group (BCG); Services économiques d'EDC

Infographie 2 : Valeur ajoutée de l'IA dans les sous-secteurs des technologies propres

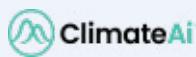
					
Valeur ajoutée de l'IA	Agriculture et alimentation	Énergie et électricité	Matériaux et produits chimiques	Ressources et environnement	Transport et logistique
Affectation des ressources	Agriculture intérieure	Gestion du réseau		Tri des rebuts	Gestion des actifs énergétiques
Découverte et prévision de la demande	Prévision de la reproduction	Analyse prédictive et maintenance		Modélisation des risques climatiques	Bornes de recharge pour véhicules électriques
Efficacité des procédés	Épandage de produits agrochimiques	Production de batteries	Optimisation de l'acier et du fer	Traitement des eaux usées	Optimisation des itinéraires et des transports
Analyse et surveillance des données	Classement des produits agricoles	Optimisation du marché	Optimisation des processus chimiques	Suivi des émissions de carbone	Gestion de la circulation

Sources : Cleantech Group 2024; Services économiques d'EDC

Contrairement à ce que certains pourraient croire, la proposition de valeur de l'IA dans les secteurs des technologies propres est multidimensionnelle. Elle va au-delà du logiciel spécialisé (un produit informatique qui se concentre uniquement sur la production de biens pour un seul secteur et la vente de ces produits sur Internet à des clients de ce secteur) pour intégrer des applications ou des solutions d'IA dans le matériel en vue de recueillir de nouvelles données et d'appliquer des solutions spécifiques à des secteurs. Le rôle de l'IA sur le marché des technologies propres pourrait très bien être observé dans tous les groupes de secteur.

Encadré 3 : Utilisation de l'IA dans le domaine des risques liés aux changements climatiques^{7,8}

L'IA et la modélisation de scénarios climatiques permettent de cerner, de mesurer et de tarifer les risques liés aux changements climatiques. Dans certains cas, les modèles peuvent également fournir des mesures d'adaptation qui aident les entreprises et les régions à élaborer des stratégies de résilience. À mesure que se développe le domaine de la divulgation obligatoire des risques liés aux changements climatiques et de la souscription d'assurance fondée sur les données climatiques, l'établissement de tels scénarios pourrait devenir une obligation réglementaire pour certaines entreprises et industries. Les principales transactions climatiques utilisant l'IA dans l'espace des risques liés aux changements climatiques en 2023 sont les suivantes :



Elle a obtenu un financement de série B de 22 millions de dollars américains en 2023, ce qui lui a permis d'étendre sa présence en Inde, au Japon et dans d'autres pays du Sud, qui subissent les effets néfastes des risques climatiques. ClimateAI est une plateforme technologique de résilience climatique pour les entreprises.



Elle a amassé 17 millions de dollars américains en fonds de croissance. Les activités de Pano se situent à la jonction de l'analyse des données géospatiales et des solutions de surveillance utilisant l'IA pour les incendies de forêt.



Elle a mobilisé 600 millions de dollars pour un nouveau fonds axé sur l'adaptation aux changements climatiques en 2023.

Sources : Cleantech Group 2024; Services économiques d'EDC

7 Les renseignements liés au climat devraient être exigés dans 40 % de l'économie mondiale, y compris aux États-Unis, en Europe et au Canada.

8 Pour en savoir plus, veuillez consulter les renseignements supplémentaires sur les divulgations obligatoires liées au climat partout dans le monde, en particulier aux États-Unis ([Final rule: The Enhancement and Standardization of Climate-Related Disclosures for Investors \[sec.gov\]](#)), en Europe ([Corporate sustainability reporting – Commission européenne \[europa.eu\]](#)) et au Canada ([Bureau du surintendant des institutions financières \[osfi-bsif.gc.ca\]](#)).



IA et énergie nucléaire

Les secteurs de l'énergie nucléaire et de l'électricité sont particulièrement bien placés pour bénéficier de l'IA dans des domaines tels que l'automatisation, l'optimisation de la conception, l'analyse des données, la prédiction et l'extraction de renseignements. Les applications d'apprentissage automatique de la filière nucléaire existent depuis un certain temps déjà, car les exploitants s'appuient sur des algorithmes d'apprentissage automatique pour la surveillance et la maintenance prédictive, le tout en temps réel. Bien que la technologie ne soit pas encore en mesure de remplacer l'analyse humaine, elle peut fournir des résultats rapides et pointus en améliorant la précision, en réduisant les coûts et en optimisant le contrôle humain lorsque cela est nécessaire. Plus récemment, les applications d'IA dans les PRM et les microréacteurs ont pris beaucoup d'ampleur.

À l'heure actuelle, la construction de réacteurs nucléaires prend plusieurs années. Notons que ces réacteurs utilisent des systèmes analogiques qui limitent les avantages que l'IA peut apporter à leur fonctionnement. Les PRM sont dotés de jauge et de capteurs numériques qui permettent une intégration harmonieuse de l'IA pour la collecte de données ou l'amélioration de la conception et du rendement. Ainsi, l'énergie nucléaire produite par les PRM, qui pourrait répondre aux besoins énergétiques à venir (y compris ceux des modèles d'IA), a suscité l'intérêt et l'enthousiasme des acteurs du capital-risque et des secteurs privé et public.



Encadré 4 : Énergie nucléaire et petits réacteurs modulaires (PRM) au Canada

Le Canada dispose d'un secteur du nucléaire bien établi et sécuritaire, qui compte plus de 60 ans d'activité et de présence sur la scène de l'exportation de technologies. La Saskatchewan possède la plus grande quantité d'uranium à forte teneur au monde. Le Canada était le deuxième producteur et exportateur mondial d'uranium en 2022. Aujourd'hui, cinq centrales nucléaires, réparties dans trois provinces canadiennes, fournissent environ 15 % de l'électricité du Canada, soit 84,6 millions de mégawatts par heure (MWh). À l'heure actuelle, toutes les centrales nucléaires du Canada sont dotées de réacteurs canadiens à deutérium-uranium (CANDU), une technologie de réacteur hautement sûre et fiable.

L'énergie nucléaire est une source d'énergie propre qui permet de produire de l'électricité sans émissions. Les innovations, notamment la conception de nouveaux réacteurs, permettent de repousser les limites de la technologie nucléaire. L'une de ces applications est le petit réacteur modulaire, une technologie qui a fait ses preuves au Canada. Les PRM sont des versions plus adaptables des grands réacteurs nucléaires existants. Bien qu'ils ne soient pas encore commercialisés, les PRM sont censés accélérer le calendrier des projets nucléaires, réduire les coûts et apporter l'énergie nucléaire dans les zones géographiques dotées de petits réseaux. Le Canada est un chef de file mondial dans le domaine de la technologie des PRM, et plusieurs projets annoncés sont proches de la phase de démonstration. Une fois cette phase terminée, le marché canadien des PRM pourrait bénéficier d'un avantage crucial en tant que pionnier sur la scène mondiale, ce qui représenterait un grand potentiel d'exportation pour le Canada. Les technologies d'IA sont aussi très prometteuses pour les applications dans les centrales nucléaires qui utilisent des réacteurs de type CANDU, et elles offrent des solutions potentielles pour améliorer la sécurité, l'efficacité et la fiabilité.

Le secteur de l'IA – plutôt énergivore – devrait stimuler l'activité entourant les réacteurs nucléaires et les PRM, à mesure que les besoins en sources d'énergie fiables et non polluantes augmentent⁹. En fait, selon le Nuclear Energy Institute (NEI), les exploitants de centrales nucléaires aux États-Unis s'attendent à doubler leur production au cours des 30 prochaines années, et la majeure partie de cette énergie proviendra de nouveaux PRM¹⁰.

D'après la Régie de l'énergie du Canada (REC), le Canada pourrait économiser 41 mégatonnes d'émissions en moyenne chaque année de 2030 à 2050 en recourant aux PRM plutôt qu'au gaz naturel¹¹.

9 Pour en savoir plus sur les investissements dans l'énergie nucléaire par des acteurs clés de la technologie et de l'IA, cliquez ici : [AI Is Fueling A 'Nuclear Renaissance.' Bill Gates And Jeff Bezos Are In The Mix. | Investor's Business Daily \(investors.com\)](#) (en anglais seulement) et [AI surge boosts the ambitions of a nuclear startup \(axios.com\)](#) (en anglais seulement).

10 Nuclear Energy Institute : [Nuclear industry hopes to expand output with new reactors | AP News](#) (en anglais seulement).

11 Avenir énergétique du Canada, Régie de l'énergie du Canada, 2023 : <https://www.cer-rec.gc.ca/fr/donnees-analyse/avenir-energetique-canada/2023/avenir-energetique-canada-2023.pdf>



Le marché mondial des technologies propres et des technologies propres utilisant l'IA

Selon le rapport *World Energy Investment 2024* de l'Agence internationale de l'énergie, les investissements mondiaux dans le secteur de l'énergie devraient dépasser les 3 000 milliards de dollars américains en 2024, dont 2 000 milliards seront consacrés aux technologies et aux infrastructures d'énergie propre¹².

Malgré des investissements en hausse dans les énergies propres depuis 2020, la conjoncture marquée par le ralentissement de l'économie, les taux d'intérêt élevés et la récession imminente a fait chuter, en rythme annuel, l'activité mondiale d'investissement en capital-risque en 2023. Le secteur mondial des technologies propres a attiré des investissements en capital-risque de 41 milliards de dollars américains en 2023¹³, ce qui représente une baisse notable de 10 milliards de dollars américains depuis 2022. (Voir le graphique 4 et l'annexe 1 pour un aperçu détaillé des faits saillants de l'investissement en capital-risque dans les technologies propres à l'échelle mondiale.)

Une évolution cruciale a eu lieu en 2023 dans le secteur des technologies propres : l'intensification de l'innovation et des investissements dans la sphère des technologies disruptives ou de rupture (*deep tech*), qui allient le numérique et les composantes physiques. Ces technologies ciblent les améliorations de la productivité des éléments matériels de base dans la nouvelle génération de produits durables et de technologies propres. Le gros de cette évolution a été impulsé par le recours à l'IA et à l'apprentissage automatique à l'ensemble de la sphère des technologies propres.

Selon les calculs du Cleantech Group, 13 % de tous les investissements dans les technologies propres en 2023 visaient les produits ou les services offerts par les technologies disruptives, notamment les piles à combustible, les électrolyseurs, les matériaux pour batteries (électrodes et électrolytes), les batteries au lithium, les intrants de culture ainsi que le ciment et le béton écologiques. L'introduction de l'IA dans le processus de développement et de déploiement des technologies a encore plus estompé la distinction entre logiciels spécialisés et matériel technologique, ce qui a favorisé les innovations axées sur les gains d'efficacité et fait passer le matériel technologique à un niveau supérieur.

12 [World Energy Investment 2024 \(iea.blob.core.windows.net\)](https://www.iea.org/reports/world-energy-investment-2024) (en anglais seulement)

13 Cleantech Group 2024

Ces développements viennent accroître l'efficacité des procédés de fabrication et les capacités à prédire la demande énergétique par la voie des modèles informatiques; ils donnent aussi un véritable coup d'accélérateur aux innovations touchant le matériel technologique.

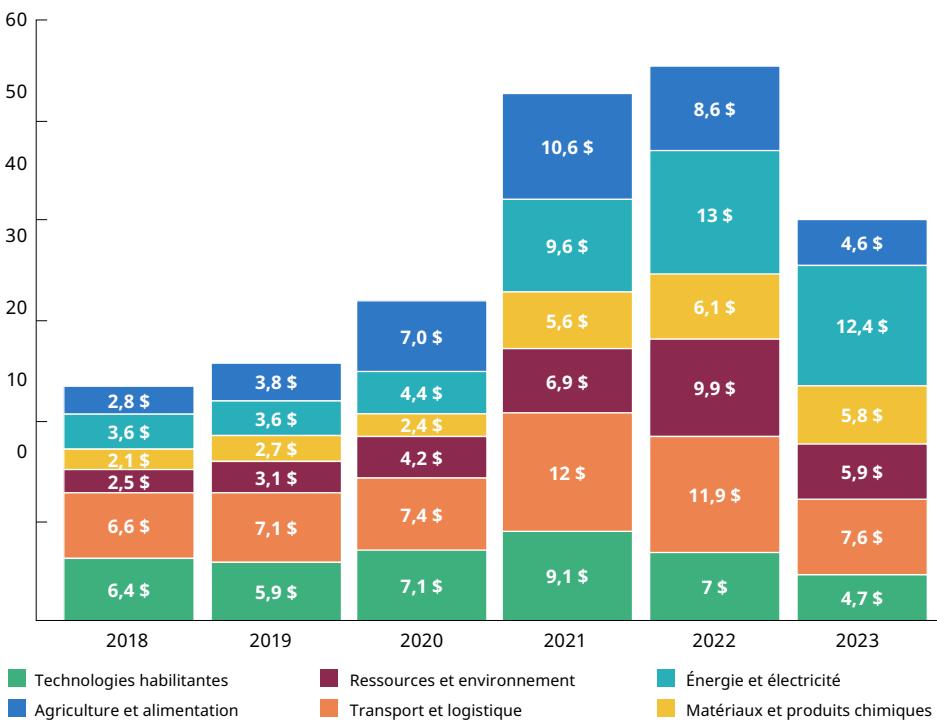
D'ailleurs, ces innovations devraient transformer les systèmes de gestion des bâtiments, améliorer les méthodes de construction grâce à l'automatisation et à l'assemblage, créer et découvrir de nouveaux matériaux, et perfectionner les systèmes de recyclage et de gestion des déchets. Les répercussions et les avantages de l'IA aux étapes de la R-D peuvent être considérables. Les innovateurs qui intègrent l'IA spécialisée dans leurs activités et leurs procédés sont susceptibles d'en tirer profit, car la propriété intellectuelle et la nature exclusive de leurs produits matériels et logiciels deviendront lucratives au fil du temps.

Estimations des investissements en capital-risque dans les technologies propres utilisant l'IA

Les investissements dans les technologies disruptives ayant recours à l'IA et évoluant dans la sphère des technologies propres sont en hausse malgré le repli de l'activité mondiale du capital-risque. Selon le Cleantech Group, ces cinq dernières années (2018-2023), les investissements dans les technologies propres utilisant l'IA ont totalisé 28,5 milliards de dollars américains¹⁴, soit 12 % du total des investissements mondiaux dans le secteur. Fait à noter, de 2018 à 2023, cinq entreprises au stade du capital-développement et de la série B ont été visées par dix transactions de plus de 350 millions de dollars américains. Ces transactions ne sont pas comptabilisées dans le nombre total d'investissements, mais elles ont permis de mobiliser 86 milliards de dollars américains au cours des cinq dernières années.



Graphique 4 : Investissement total dans les technologies propres, par secteurs (milliards de dollars américains), 2018-2023



14 Les données en question sont uniquement des données sur les investissements en capital-risque et en capital-croissance, tels que les transactions de démarrage, de série A, de série B et visant des fonds de croissance. Il ne s'agit pas de données sur les transactions exceptionnelles de plus de 350 millions de dollars américains.

Sources : Cleantech Group 2024; Services économiques d'EDC

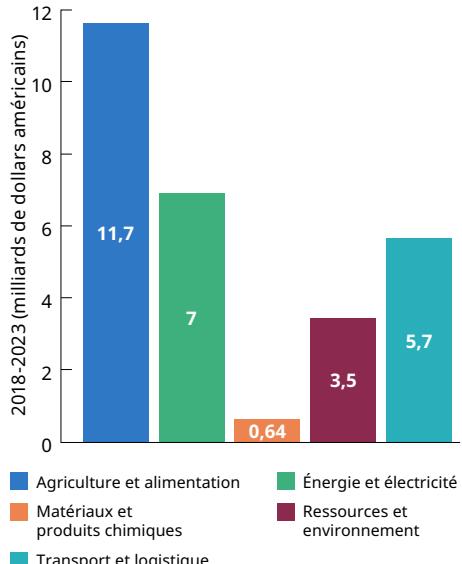
Les fonds de 28,5 milliards de dollars américains investis dans les technologies propres utilisant l'IA ont été répartis dans un peu moins de 2 000 transactions, dont la majorité était axée sur le capital de croissance. Entre 2018 et 2023, les fonds de démarrage et de série A ont augmenté de 160 %, ce qui est une bonne nouvelle pour les nouveaux venus et les jeunes pousses évoluant dans cette sphère. Les fonds de démarrage et de série A pour les entreprises de technologies propres utilisant l'IA ont également augmenté de manière notable ces cinq dernières années, passant de 26 % du total des investissements en 2018 à 38 % en 2023. Cette croissance illustre l'importance que la communauté des investisseurs accorde aux entreprises innovantes en phase de démarrage, alors que l'IA gagne en puissance dans le secteur des technologies propres.

L'afflux de capital-risque provenant des investissements du secteur public et le soutien octroyé par les programmes d'accélération de l'IA (dont certains sont axés sur l'IA climatique) ont contribué à alimenter la croissance des technologies propres utilisant l'IA.

Entre 2018 et 2023, les investissements en capital-risque dans les entreprises se sont élevés à plus de 6,9 milliards de dollars américains¹⁵. Les cinq principaux accélérateurs et incubateurs ont soutenu 97 transactions liées aux technologies propres utilisant l'IA de 2018 à 2023¹⁶.

Le soutien substantiel du secteur public a également largement contribué à l'activité de développement, notamment par la voie de nombreuses transactions liées à ces technologies conclues par le département de l'Énergie des États-Unis, Technologies du développement durable Canada (TDDC), Temasek Holdings (Singapour), Bpifrance, Innovate UK et le Conseil européen de l'innovation. Les investisseurs en phase de démarrage jouent le rôle le plus actif et percutant dans les efforts pour appuyer les solutions de technologies propres utilisant l'IA. Ces transactions, dont la valeur financière reste modeste, stimulent une activité primordiale pour le secteur.

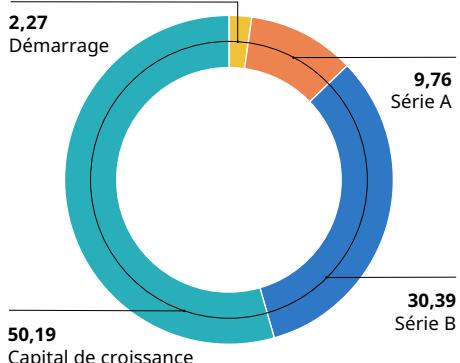
Graphique 5 : Total des investissements dans les technologies propres utilisant l'IA, par secteur (en milliards de dollars américains), 2018-2023*



*À l'exception des transactions exceptionnelles de plus de 350 millions de dollars américains

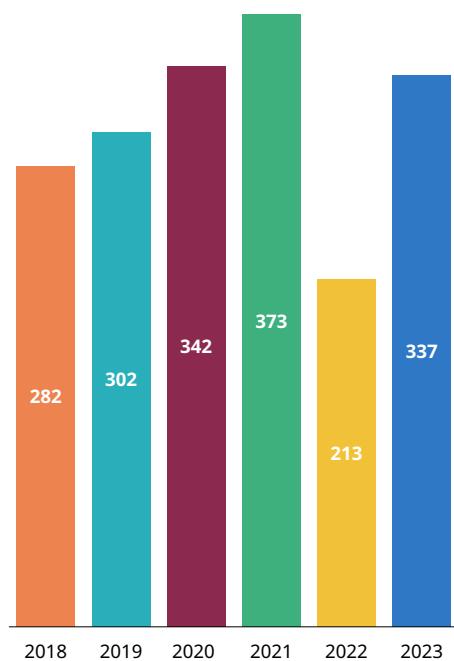
Sources : Cleantech Group 2024; Services économiques d'EDC

Graphique 6 : Taille moyenne des transactions et des tours d'investissement (milliards de dollars américains), 2018-2023



Sources : Cleantech Group 2024; Services économiques d'EDC

Graphique 7 : Nombre de transactions liées aux technologies propres utilisant l'IA, 2018-2023



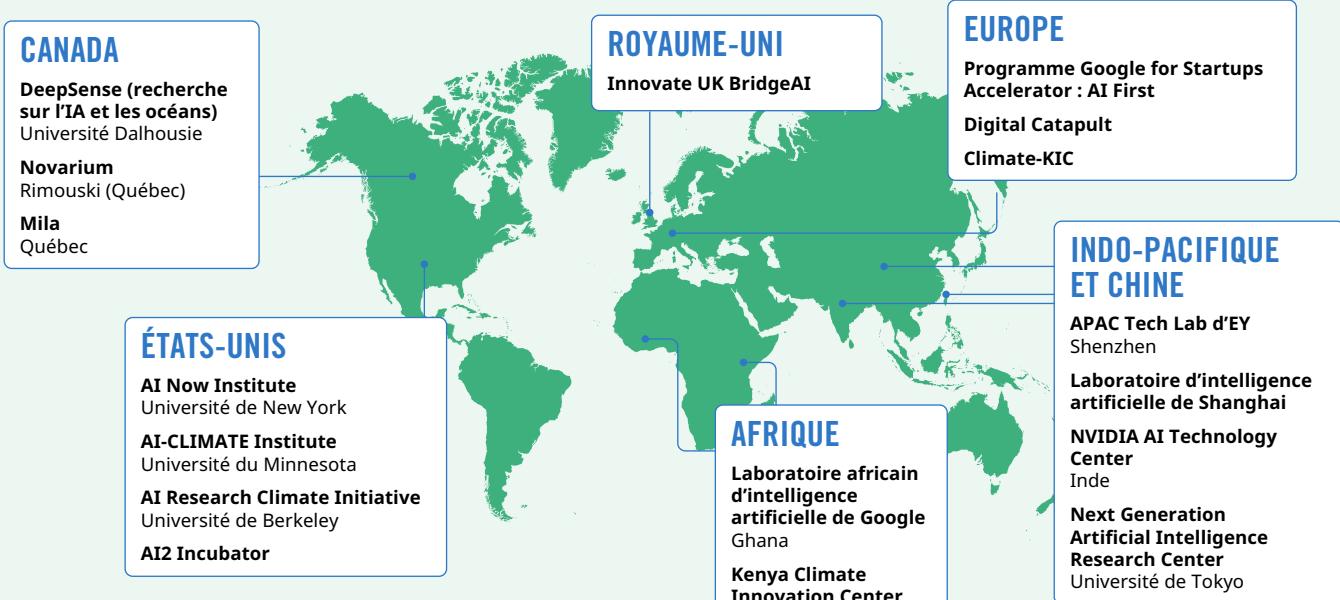
Sources : Cleantech Group 2024; Services économiques d'EDC

¹⁵ Il s'agit notamment d'investissements réalisés par Insight Partners, Breakthrough Energy Ventures, Google Ventures, S2G Ventures, Lower carbon Capital, BDC Capital, Congruent Ventures, Blue Bear Capital, LocalGlobe, AgFunder, Shell Ventures, Future Energy Ventures. Source : Cleantech Group

¹⁶ Il s'agit notamment des sociétés Rockstart, Plug and Play, Y Combinator, Techstars et EIT InnoEnergy. Source : Cleantech Group

¹⁷ Bien qu'il n'y ait pas de consensus au sein du Forum économique mondial, le total des investissements en capital-risque aux États-Unis seulement a atteint 290 milliards de dollars américains au cours des cinq dernières années. Selon l'Université Stanford, le financement de l'IA générative s'est multiplié par huit à partir de 2022, pour atteindre 25,2 milliards de dollars en 2023. Voir : [AI Index Report 2024: Artificial Intelligence Index \(stanford.edu\)](https://aiindex.stanford.edu/) (en anglais seulement).

Infographie 8 : Aperçu de la répartition géographique des entreprises de technologies propres innovantes utilisant l'IA



Sources : Cleantech Group 2024; Services économiques d'EDC

Tableau 9 : Déploiement de capitaux dans les technologies propres utilisant l'IA, projections de 2024-2029¹⁸

	Stade précoce	Stade avancé
Capital déployé, 2018-2023	7 G USD	21,5 G USD
Projections du scénario de référence : offre de capital, 2024-2029	1 G USD	58 G USD
Projections de croissance accélérée : offre de capital, 2024-2029	22 G USD	116 G USD

Sources : Cleantech Group 2024; Services économiques d'EDC

Technologies propres utilisant l'IA : atténuer les entraves à l'innovation et les risques

Malgré l'ampleur des investissements, le décalage entre les besoins des technologies d'IA en matière de consommation d'énergie et l'accès difficile aux métaux rares et aux matériaux risque d'entraver la croissance du secteur. Voilà pourquoi il ne faut ménager aucun effort pour minimiser les répercussions environnementales de l'IA et des technologies propres utilisant l'IA. On parviendra à relever ces défis en investissant dans des options d'approvisionnement et de recyclage

durable pour le matériel, d'autant que les centres de données de l'IA sont gourmands en énergie. Il sera possible de diminuer cette consommation énergétique en menant à bien l'équilibrage géographique des charges et en définissant des scénarios d'utilisation de l'IA afin de fournir et de distribuer les charges de manière efficace. En 2022, la consommation d'électricité des centres de données représentait 1 % à 1,3 % de la demande mondiale d'électricité¹⁹.

Quoique faible, la consommation d'électricité et les émissions de gaz à effet de serre devraient augmenter à mesure que la puissance de traitement de l'IA s'accentue et que les courbes d'innovation et d'adoption s'allongent.

Un autre élément doit être pris en considération : refroidir les centres de données de l'IA exige de grandes quantités d'eau. En général, une bonne partie de cette consommation ne fait pas l'objet d'une déclaration si bien que les volumes réels varient considérablement en fonction de la taille d'un centre, de son emplacement, de l'utilisation de l'infrastructure et des conditions météorologiques du site. Selon les estimations du département de l'Énergie des États-Unis de 2016, la consommation d'eau des centres de données s'élevait à 626 milliards de litres en 2014²⁰. Cela représente 1,7 milliard de litres d'eau par jour, dont 0,3 milliard de litres sont utilisés quotidiennement sur le site pour le refroidissement. Les cas d'utilisation des technologies de refroidissement avancées, comme le refroidissement direct de la puce et la mise en œuvre de systèmes de recyclage de l'eau pour minimiser la demande en eau douce, offrent des solutions pour combler les besoins en eau de l'IA à des fins de refroidissement.

¹⁸ Les calculs et les projections sont basés sur les estimations du Cleantech Group pour 2024. Elles sont basées sur le modèle de ratio demande-offre de la National Venture Capital Association, qui utilise les données de l'été 2023 du PitchBook-NVCA Venture Monitor.

¹⁹ Agence internationale de l'énergie, [Data Centres and Data Transmission Networks](#) (en anglais seulement)

²⁰ [United States Data Center Energy Usage Report \(Technical Report\) | OSTI.GOV](#) (en anglais seulement)



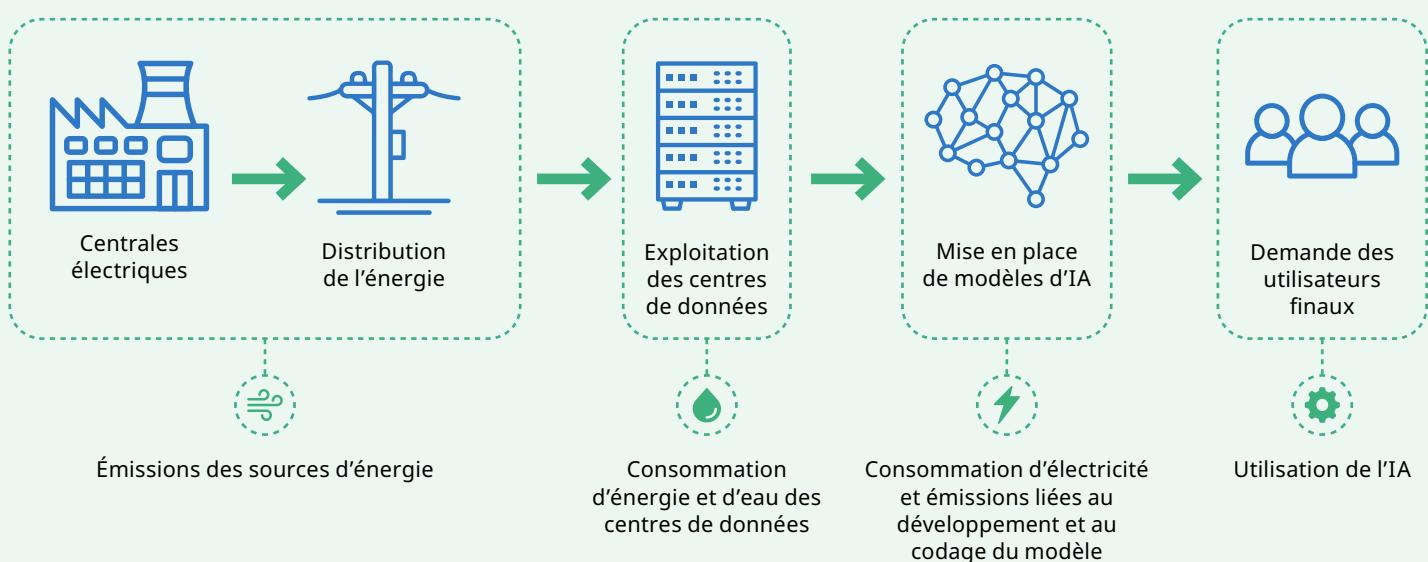
L'un des défis de taille à relever pour favoriser l'utilisation et l'adoption des technologies d'IA se trouve probablement du côté de la demande d'unités de traitement graphique et l'approvisionnement en puces spécialisées. Les chaînes d'approvisionnement en matières rares (métaux des terres rares) sont fortement concentrées sur le plan géographique, tout comme leurs installations de transformation, ce qui suscite des inquiétudes en matière de durabilité, d'habitat et de dommages causés aux communautés.

Au-delà de l'utilisation de l'IA, la criticité de nombreuses technologies carboneutres et propres dépend du bon fonctionnement de chaînes d'approvisionnement mondiales exposées à des goulots d'étranglement. Rappelons qu'une poignée de pays contrôlent une grande partie des réserves minérales critiques, ainsi que la transformation et la fabrication. La plupart des minéraux sont indispensables aux technologies renouvelables et sont difficiles à remplacer.

Parmi les mesures d'atténuation prises sur le front technologique, citons la conception de matériel informatique utilisant l'IA plus durable, l'optimisation des logiciels pour rendre plus efficaces les unités de traitement graphique et les solutions de recyclage des composants des puces et du matériel. D'une manière générale, la circularité, le recyclage et la réutilisation contribueront à résoudre de nombreux problèmes liés aux déchets électroniques de l'IA..

Infographie 10 : Consommation d'énergie et émissions de l'IA

Consommation d'énergie liée à l'IA + Intensité en carbone liée à l'IA



Sources : BCG; Services économiques d'EDC



Autres technologies propres d'intérêt

Certains secteurs, comme les transports et l'électricité, ont déjà mis au point des technologies commerciales et évolutives qui accélèrent le rythme de leur décarbonisation. Voilà pourquoi ces secteurs ont réalisé d'énormes avancées sur le plan de la réduction des émissions. Il s'agit notamment des améliorations technologiques apportées aux véhicules électriques dans le secteur des transports et de la commercialisation du solaire et de l'éolien dans le secteur de l'énergie. Le stockage de l'énergie reste d'une importance immense, car il devrait connaître des avancées technologiques considérables. De nombreux secteurs traditionnels qui sont difficiles à décarboner ont rencontré des difficultés pour réduire les émissions et se décarboner de manière efficace et efficiente.

La décarbonation exige la mise en place d'un assemblage de mesures et technologies. Les nouveaux outils, technologies et processus qui accélèrent la réduction des émissions, tout en atteignant les objectifs de carbонeutralité, ne se limitent pas aux cas d'utilisation de l'IA dans le contexte climatique. Bien qu'un grand nombre de technologies puissent être incluses dans cette liste, le présent rapport se concentre sur trois d'entre elles :

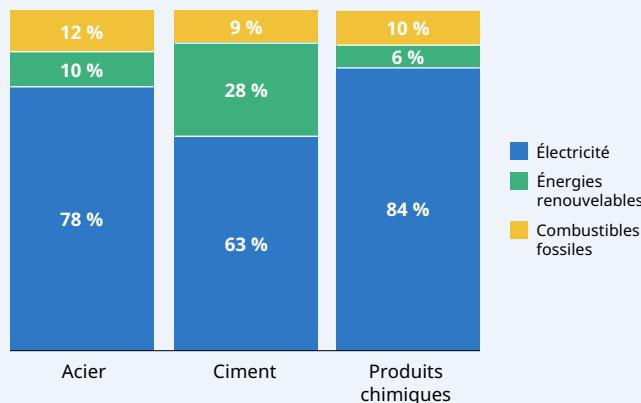
- le captage, l'utilisation et le stockage du carbone (CUSC);
- l'hydrogène et les combustibles de remplacement;
- le stockage de l'énergie, en particulier le stockage de l'énergie à long terme.

Ces technologies sont primordiales pour décarboner certains grands pans de notre économie, en particulier les secteurs traditionnels difficiles à décarboner, et pourraient bien procurer des solutions aux problèmes énergétiques engendrés par l'IA. Plusieurs de ces technologies sont loin d'être nouvelles, comme le CUSC et l'hydrogène, produits ou utilisés au Canada à divers degrés depuis de nombreuses années, mais elles sont prometteuses et se situent à un stade plus avancé de l'évolution technologique.

Encadré 11 : Décarbonisation des industries lourdes

Les émissions des industries lourdes, telles que les industries de production de produits chimiques, de métaux et de ciment, représentent environ un quart (24 %) de l'ensemble des émissions mondiales de gaz à effet de serre (GES). Par exemple, chaque livre d'acier produit 2,75 livres de dioxyde de carbone (CO_2) et la plupart des émissions proviennent de la consommation d'énergie pendant le chauffage. Les émissions du ciment proviennent non seulement de la consommation d'énergie, mais aussi des processus chimiques nécessaires à la création de ce matériau. La complexité de la fabrication industrielle rend ces émissions notablement difficiles et coûteuses à éliminer. Selon tous les scénarios climatiques, plus de la moitié de l'énergie industrielle devra provenir de l'électricité propre d'ici 2050; par conséquent, ces industries devront s'affranchir des combustibles fossiles et utiliser des solutions de stockage de l'énergie pour pallier les interruptions des énergies renouvelables.

Graphique 11 : Émissions de dioxyde de carbone des industries lourdes



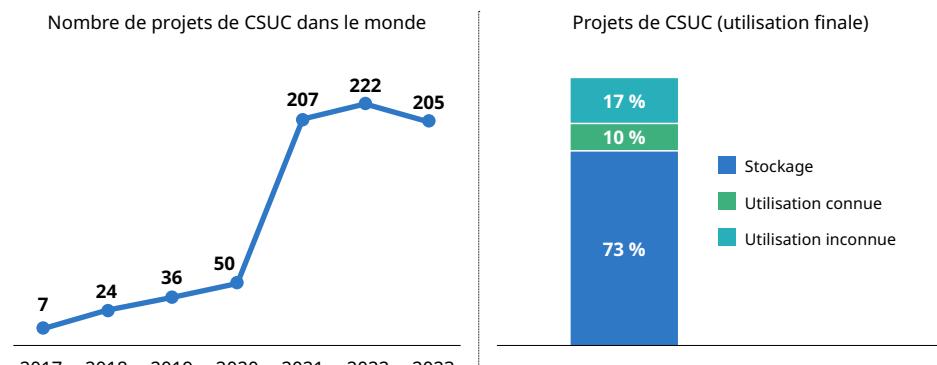
Sources : AIE 2024; Services économiques d'EDC



Capture, séquestration et utilisation du carbone (CSUC)

Les technologies de CSUC se fondent sur le captage et l'élimination du dioxyde de carbone (CO_2) à partir d'importantes sources d'émissions ponctuelles en vue d'une utilisation sur place, d'un transport ou d'une injection dans des formations géologiques profondes. Le CSUC joue un rôle prépondérant dans la transition vers les énergies propres : qu'il s'agisse de moderniser les centrales électriques et les installations industrielles existantes, d'abaisser les émissions dans les secteurs difficiles à décarboner ou d'éliminer le CO_2 de l'atmosphère pour compenser les émissions inévitables. À l'heure actuelle, les installations de CSUC capturent plus de 50 mégatonnes de CO_2 par an. Mais les estimations indiquent que les technologies de CSUC ont le potentiel d'éliminer 230 tonnes métriques d'émissions de CO_2 d'ici 2030 rien qu'aux États-Unis²¹. Bien qu'elle bénéficie d'un fort soutien politique à l'échelle mondiale, en particulier aux États-Unis (comme le crédit d'impôt 45Q pour les projets de captage du carbone), au Canada (crédits d'impôt à l'investissement) et en Europe, la technologie n'en est encore qu'à ses balbutiements.

Graphique 12 : Années de projets de CSUC dans le monde (à gauche) par utilisation finale (à droite)



Sources : Agence internationale de l'énergie 2023²⁵; Services économiques d'EDC

Les inquiétudes concernant l'exactitude des crédits d'évitement, qui sont réputées difficiles à vérifier, ont encore stimulé la demande du marché pour des produits et des technologies de séquestration du carbone de haute qualité. Les projets de CSUC annoncés devraient ajouter 1,1 gigatonne de capacité d'élimination du carbone par an d'ici 2030, ce qui est inférieur à la quantité nécessaire dans le cadre de l'objectif de carboneutralité. Bien que la plupart des projets prévus concernent pour l'heure le stockage du carbone, le marché connaît un bel élan

d'innovation, porté principalement par des entreprises technologiques financées par du capital-risque qui expérimentent de nouvelles utilisations du carbone et du captage du carbone, notamment des innovations dans les technologies de captage direct de l'air²² et de captage ponctuel du carbone²³. Des innovations technologiques prometteuses en sont à l'étape de la démonstration un peu partout sur le globe. Certaines devraient permettre de réduire les coûts de CSUC dans le secteur de la production d'électricité²⁴.

21 Climate tech competitiveness: Can the United States raise its game? | McKinsey (en anglais seulement)

22 Les technologies de captage direct de l'air permettent d'extraire le dioxyde de carbone directement de l'atmosphère à partir de n'importe quel endroit, contrairement au captage du carbone, qui est généralement effectué au point d'émission. Actuellement, il s'agit de l'application la plus coûteuse de captage du carbone.

23 On parle de captage ponctuel du carbone lorsque le carbone est capté au niveau d'une grande source d'émission (par exemple, une installation industrielle). Le captage ponctuel du carbone est généralement effectué lorsque la source d'émission est équipée d'une technologie qui permet de capter et, dans certains cas, de stocker le CO_2 , l'empêchant ainsi d'être émis à la source.

24 AEI : Carbon Capture, Utilization and Storage: Energy system (en anglais seulement)

25 AEI : Net zero by 2050. Analysis (en anglais seulement)

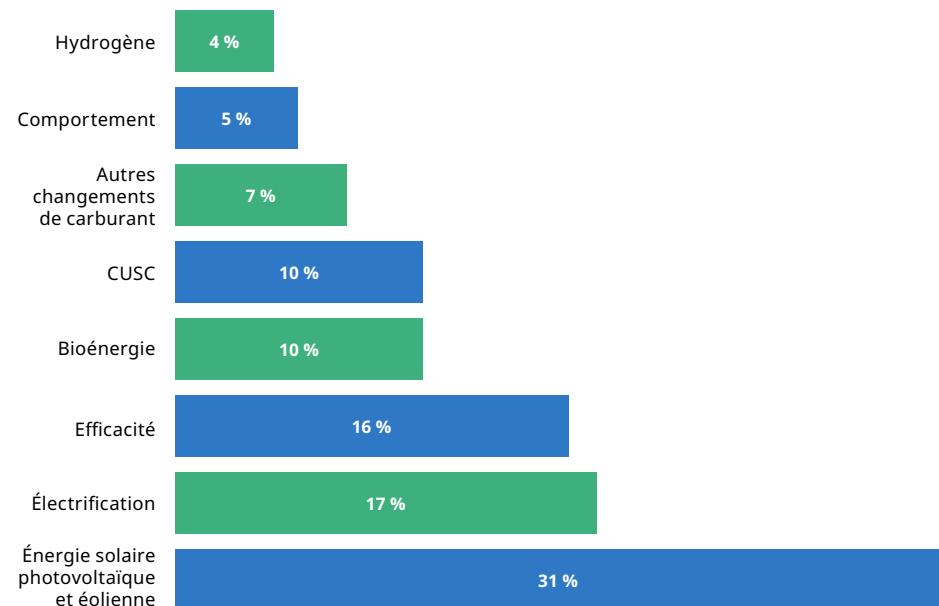


Nouveaux produits énergétiques : hydrogène et autres combustibles de remplacement

Vecteur énergétique polyvalent, l'hydrogène est très prometteur pour relever de nombreux défis énergétiques de première importance. L'hydrogène propre produit à partir de l'énergie renouvelable ou nucléaire, ou de combustibles fossiles avec captage du carbone, devrait permettre de décarboner de nombreux secteurs et industries. Il s'agit notamment des secteurs difficiles à décarboner comme la production de fer et d'acier, les produits chimiques, le raffinage, le transport par navire de charge et le transport par camion sur de longues distances. Les experts estiment que le marché mondial de l'hydrogène se situera entre 500 millions de dollars américains et 1 230 milliards de dollars américains par an d'ici 2050²⁶. Selon la plupart des prévisions sectorielles, l'hydrogène est l'une des six technologies énergétiques propres qui, cumulées, ont le potentiel concrétiser environ 50 % des réductions d'émissions d'ici 2050²⁷.

Le marché de l'hydrogène profite du robuste soutien accordé en vertu de l'Inflation Reduction Act [Loi sur la réduction de l'inflation] des États-Unis et d'autres mécanismes politiques en Europe, en Asie et au Canada – comme le Fonds pour les combustibles propres, l'initiative Accélérateur net zéro et la Stratégie canadienne pour l'hydrogène. Ce soutien a permis de mobiliser suffisamment de fonds privés et de financements à l'échelle mondiale.

Graphique 13 : Réductions d'émissions cumulées, par technologie propre ou facteur



Sources : AIE 2023; Services économiques d'EDC

En 2023 et 2024, c'est l'hydrogène à faible teneur en carbone et l'hydrogène sans carbone qui ont bénéficié de l'effort de financement le plus notable; d'ailleurs, les technologies ont été propulsées vers les chaînes de fabrication en 2024.

Les percées dans le domaine de la technologie et du financement de l'hydrogène devraient avoir des effets cumulés sur l'innovation en aval, notamment en ce qui concerne l'évolution de la technologie des piles à combustible et des carburants d'aviation durables (CAD) pour les avions à réaction. L'expansion rentable des technologies de l'hydrogène propre (l'hydrogène vert, par exemple) est toutefois tributaire de la disponibilité

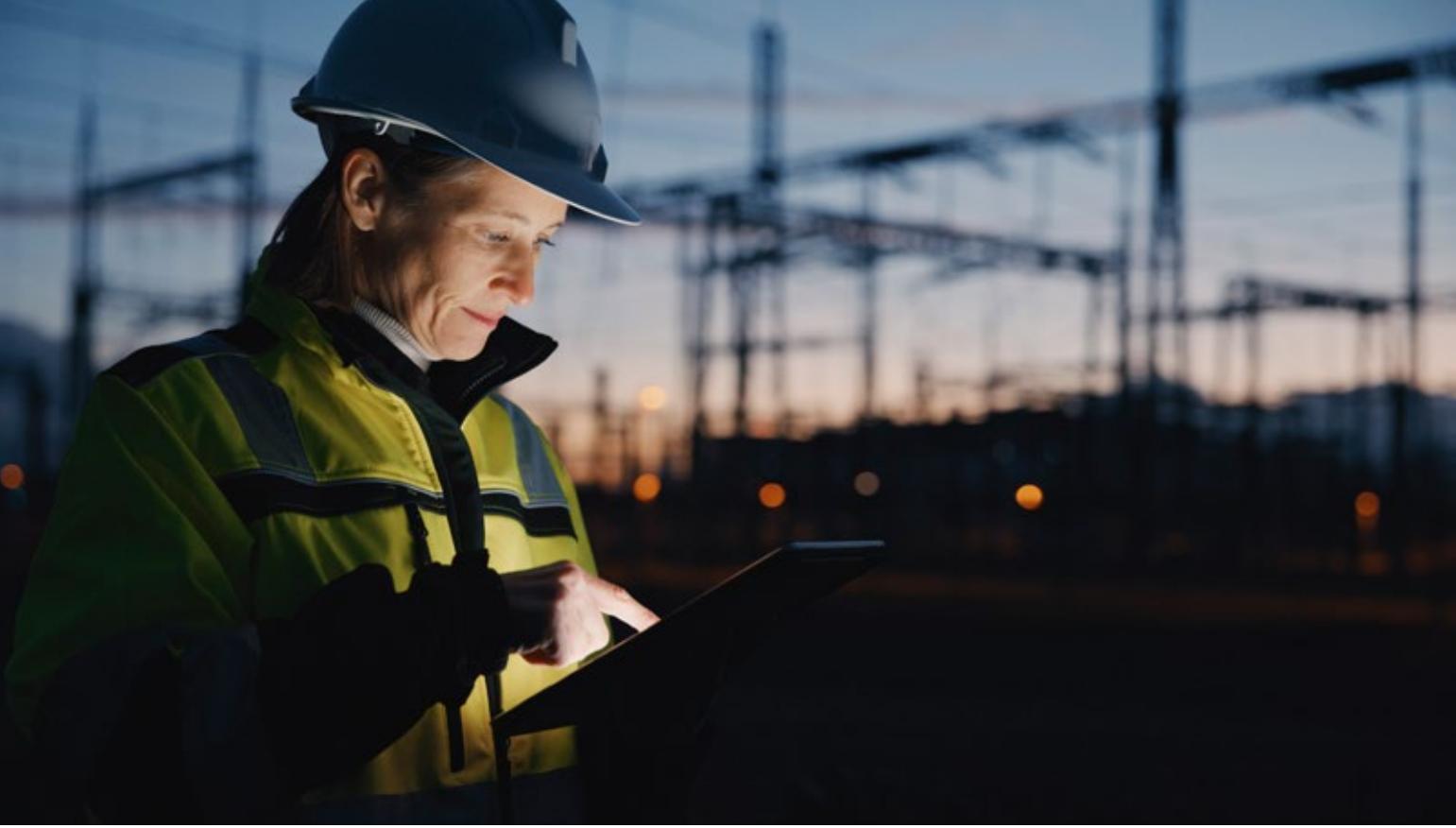
d'électricité renouvelable bon marché et de l'offre mondiale d'électrolyseurs. L'ampleur du développement de l'hydrogène bleu²⁸ est, pour l'heure, déterminée par le développement des technologies de CSUC. Les structures de coûts actuelles restent également un obstacle pour les consommateurs industriels d'hydrogène, qui ne sont pas disposés à se lancer dans des projets sans certitude en matière d'approvisionnement ni tarification concurrentielle. Cette situation se reflète dans le faible taux d'utilisation des nouveaux contrats d'écoulement²⁹. Les fabricants canadiens de piles à combustible sont des chefs de file mondiaux de la technologie et le Canada se hisse au rang des dix grands producteurs d'hydrogène.

26 Climate tech competitiveness: Can the United States raise its game? | McKinsey (en anglais seulement)

27 Perspectives des technologies énergétiques 2023 de l'AIE et selon le scénario de carboneutralité de l'AIE

28 Le gris, le bleu et le vert sont des couleurs représentant différentes méthodes de production de l'hydrogène. L'hydrogène gris est produit à partir du gaz naturel, l'hydrogène bleu, à partir du gaz naturel avec captage de carbone et l'hydrogène vert, à partir de l'énergie renouvelable. Il existe d'autres méthodes de production de l'hydrogène, notamment le vaporeformage du gaz naturel, la gazéification du charbon et la gazéification de la biomasse.

29 Clean hydrogen has a serious demand problem | Canary Media (en anglais seulement)



Les carburants de remplacement comprennent les biocarburants qui peuvent être utilisés comme carburants d'appoint dans les moteurs à combustion interne conventionnels, ce qui favorise la réduction des émissions dans le secteur des transports et soutient la décarbonisation des parcs de véhicules existants. Ces biocarburants sont, entre autres, l'éthanol, l'huile végétale hydrotraitée (HVO) et les carburants synthétiques comme l'ammoniac. Malgré une filière des véhicules électriques en plein essor, la réalisation des objectifs de réduction des émissions GES dans les transports nécessitera une contribution substantielle des carburants durables dans les parcs existants de véhicules à combustion interne.

Au-delà des segments de véhicules, les carburants durables pour l'aviation offrent également un potentiel de décarbonisation pour limiter les émissions, ainsi que des applications dans les secteurs de l'expédition et du transport maritime ou des bâtiments, en tant que source d'énergie de remplacement des combustibles fossiles. D'ici 2023, plus de 150 milliards de dollars américains en investissements dans les capacités de production de carburants propres ont été annoncés à l'échelle mondiale³⁰.

Pour le moment, la filière des carburants de remplacement – très complexe – doit prendre en compte de multiples considérations liées aux types de carburant, aux voies technologiques et aux matières premières. La plupart des carburants de remplacement sont dérivés de matières premières comme les sucres et les huiles comestibles, qui représentent 60 à 80 % des coûts de production³¹. De ce fait, l'utilisation des carburants de remplacement dépend fortement de la disponibilité de matières premières de pointe. En raison de cette complexité, il est difficile pour les acteurs du marché de comprendre pleinement la technologie et d'en tirer profit.

Stockage d'énergie à long terme

À l'origine d'un tiers des émissions mondiales de gaz à effet de serre, le secteur de l'électricité a un rôle déterminant à jouer dans la transition énergétique. L'essor des énergies renouvelables dans le bouquet énergétique a mis en évidence les failles structurelles des chaînes de production, de transport et de distribution de l'électricité existantes. Il a aussi souligné la nécessité de technologies à long terme qui aident à remédier à l'invariabilité sous-jacente de l'approvisionnement en énergie

renouvelable, y compris l'intermittence. Cette situation a conduit au développement du domaine du stockage de l'énergie à long terme, qui englobe de nouvelles technologies thermiques, chimiques, mécaniques et électrochimiques (batteries) capables de stocker de l'énergie pendant des périodes prolongées (de plusieurs heures à plusieurs jours). Parmi ces technologies, on peut citer le stockage hydroélectrique par pompage, le stockage par batterie, le stockage thermique ou le stockage par air comprimé.

Les technologies de stockage de l'énergie à long terme visent à assurer la flexibilité du réseau en effaçant et à en gérant les fluctuations de la demande et de l'offre, en stockant les surplus d'énergie et en la libérant lorsque le besoin s'en fait sentir. Bien qu'à différents niveaux de maturité et de préparation du marché, les technologies de stockage de l'énergie à long terme suscitent un vif intérêt de la part des gouvernements, des services publics et des transporteurs d'électricité, étant donné les multiples cas d'utilisation offerts par la technologie pour équilibrer les réseaux électriques et les rendre plus efficaces.

³⁰ [Global Energy Perspective 2023: Sustainable fuels outlook | McKinsey](#) (en anglais seulement)

³¹ [Global Energy Perspective 2023: Sustainable fuels outlook | McKinsey](#) (en anglais seulement)



Marché canadien des technologies propres

Le Canada abrite un écosystème dynamique de technologies propres. Présenté comme le berceau de l'IA moderne et des percées en matière d'apprentissage profond, le Canada devrait grandement bénéficier du secteur de l'IA et des technologies propres utilisant l'IA.

L'innovation canadienne, le dynamisme de la communauté des entreprises en démarrage et le soutien des programmes publics et privés ont conduit à l'établissement d'un marché important pour les secteurs des technologies propres et des technologies propres utilisant l'IA. Selon le Cleantech Group, le Canada est au troisième rang mondial pour le capital-risque déployé dans le domaine de l'innovation en technologies propres utilisant l'IA. À titre d'exemple, 13 entreprises canadiennes figurent dans la liste du Cleantech Group des 100 entreprises de technologies propres les plus innovantes à l'échelle mondiale en 2024³². Ces entreprises appartiennent à un vaste éventail de secteurs, allant des ressources et l'environnement aux matériaux en passant par les produits chimiques, l'énergie et l'électricité.

Tendances du marché canadien et des investissements

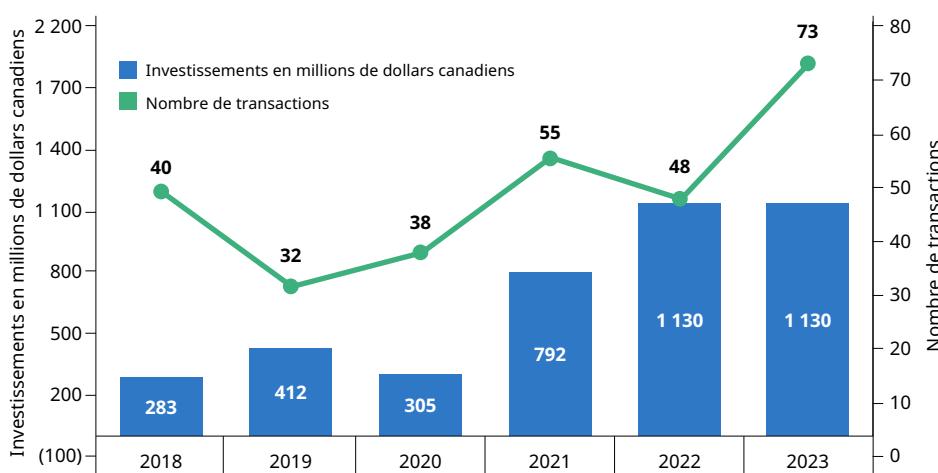
En 2023, l'activité d'investissement en capital de risque du secteur canadien des technologies propres s'est chiffrée à 1,2 milliard de dollars pour 73 transactions³³. Le nombre total d'investissements est resté inchangé par rapport à 2022, mais le nombre de transactions (73) est le plus important enregistré au cours des cinq dernières années. Le grand nombre de transactions s'est notamment traduit par une diminution de la taille moyenne des transactions par rapport à 2022 (15,5 millions de dollars en moyenne en 2023 contre 26 millions de dollars en 2022, qui étaient la taille moyenne la

plus élevée jamais enregistrée). Bien que moins intense, l'activité d'investissement canadienne en capital de risque dans le secteur des technologies propres n'a pas diminué en valeur en 2023, comme ce fut le cas dans d'autres secteurs. Une grande partie de cette activité est attribuable à la capitalisation des occasions émergentes dans le domaine des sciences de la vie et de l'IA, ce qui est de bon augure pour le secteur des technologies propres axées sur l'IA. Au cours du premier trimestre de 2024, des investissements d'une valeur de 164 millions de dollars ont déjà été réalisés dans le cadre de 11 transactions.

32 Pour en savoir plus, cliquez ici : [Global Cleantech 100 | Cleantech Group](#) (en anglais seulement)

33 Association canadienne du capital de risque et d'investissement. Canadian Cleantech Sector Gains Momentum with Record Number of Investments in Q1 2023 | CVCA Central (en anglais seulement)

Graphique 16 : Investissements dans les technologies propres au Canada, 2018-2023



Sources : Association canadienne du capital de risque et d'investissement; Services économiques d'EDC

Contribution des produits environnementaux et de technologies propres au PIB du Canada

En 2022, les produits environnementaux et les technologies propres ont contribué³⁴ à hauteur de 80 milliards de dollars au PIB canadien (3,5 %)³⁵. Plus de la moitié de cette contribution est attribuée au sous-secteur des biens et services des technologies propres (53,1 %) et le reste (46,9 %), au sous-secteur des biens et services environnementaux

d'une année sur l'autre. Les exportations de produits ETP ont constamment suivi une tendance à la hausse depuis 2012 (y compris pendant la pandémie de COVID-19) et ont atteint le niveau le plus élevé jamais enregistré en 2022. Plus concrètement, elles ont augmenté à un taux de croissance annuel composé (TCAC) de 0,6 % au cours de la dernière décennie. Parmi les sous-catégories, les exportations de produits environnementaux se trouvaient à 11 milliards de dollars, par rapport à 9,8 milliards pour les exportations de technologies propres³⁶. Les produits issus des technologies propres ont représenté une part plus importante des exportations de produits ETP au cours de la plupart des années (huit des dix années analysées). Suivant la tendance de 2020, les exportations de produits environnementaux ont augmenté de 26 % d'une année sur l'autre, principalement en raison d'une vive croissance de 73 % d'une année sur l'autre des exportations d'électricité propre et d'une modeste augmentation de 4 % d'une année sur l'autre des déchets et rebuts. Soulignons le fait que toutes les exportations canadiennes d'électricité

sont destinées aux États-Unis et, en 2022, les exportations ont été soutenues par des conditions météorologiques favorables et des augmentations de la capacité renouvelable – en particulier, l'augmentation du nombre de centrales éoliennes et solaires mises en service. Selon Ressources naturelles Canada, l'énergie éolienne et l'énergie solaire photovoltaïque (PV) sont les sources d'électricité qui se développent le plus rapidement au Canada³⁷.

Fait digne de mention, les déchets et les rebuts ont toujours représenté une part importante des exportations canadiennes de biens environnementaux (près de 50 % chaque année), mais l'importance des exportations d'électricité propre n'a cessé de grandir, ce qui est de bon augure pour les exportations canadiennes et les technologies propres en général. En revanche, les exportations de produits du secteur des technologies propres ont progressé de 15 % en rythme annuel de 2020 à 2021 (voir le graphique 21).

La plupart des technologies propres exportées sont des produits manufacturés (38 %) ou des déchets et rebuts (24 %). Cela dit, l'importance grandissante des exportations d'électricité propre (qui représentent 21 % du total des exportations de technologies propres en 2022, contre 16 % du total des exportations de produits ETP en 2012) est un signe encourageant et témoigne de la place croissante qu'occupe l'énergie propre dans les exportations du Canada. L'élan des exportations d'électricité propre est également une bonne nouvelle pour les exportateurs canadiens en raison des avantages offerts par l'intégration transfrontalière des réseaux électriques avec les États-Unis.

Flux commerciaux des technologies propres

Exportations

En 2022, les exportations canadiennes de produits ETP s'élevaient à 20,9 milliards de dollars, soit 2,2 % du total des exportations canadiennes. Cela représente une augmentation de 3 milliards de dollars par rapport à 2021, ou une hausse de 17 %

34 Statistique Canada sépare le secteur des produits environnementaux et de technologies propres (ETP) en deux grandes catégories de produits et de processus :

- Biens et services écologiques : électricité propre produite à partir d'énergie renouvelable et nucléaire, biocarburants et produits de base, et services de gestion des déchets et d'assainissement.

- Biens et services environnementaux : secteur qui comprend les biens manufacturés, les services scientifiques et de recherche et développement, les services de construction et les services de soutien. Les panneaux solaires et la construction de bâtiments écoénergétiques sont des exemples de biens et services de technologies propres.

Le Compte économique des produits environnementaux et de technologies propres (CEPETP) de Statistique Canada sert à mesurer la contribution économique du secteur en matière de production, de produit intérieur brut (PIB), de valeur ajoutée et d'autres variables économiques. Selon cette définition, la contribution des produits ETP au PIB canadien comprend « l'ensemble des processus, des produits ou des services qui réduisent les répercussions environnementales par l'une des trois stratégies suivantes : les activités de protection de l'environnement qui préviennent, réduisent ou éliminent la pollution ou toute autre dégradation de l'environnement; les activités de gestion des ressources qui débouchent sur une utilisation plus efficace des ressources naturelles, ce qui permet ainsi d'éviter leur épuisement; l'utilisation de produits qui ont été adaptés pour consommer beaucoup moins de ressources et d'énergie que les quantités établies dans la norme industrielle ». Voir la définition de Statistique Canada.

35 Le PIB est calculé selon les prix courants du marché. En 2022, il a été estimé à 2 500 milliards de dollars par Statistique Canada. Voir : https://www15.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/tv.action?pid=361002201&request_locale=fr

36 *Nota* – Tout changement par rapport aux données de l'année dernière est attribuable à la révision statistique des séries chronologiques par Statistique Canada.

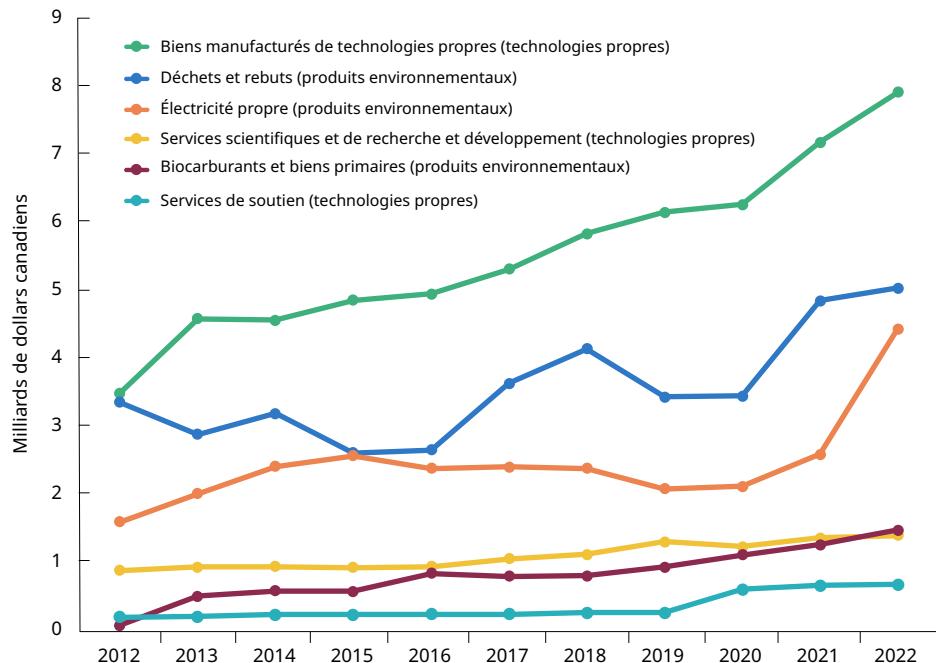
37 [À propos de l'énergie renouvelable](#), Ressources naturelles Canada



Encadré 17 : Exportations sobres en carbone du Canada^{38, 39}

Au cours de la dernière décennie, l'ensemble des exportations sobres en carbone du Canada a connu une croissance supérieure à celle de toutes les autres exportations. Entre 2013 et 2023, la valeur des exportations canadiennes de produits sobres en carbone a plus que doublé, passant de 15,8 milliards de dollars à 38,7 milliards de dollars. En plus de surpasser la croissance globale des exportations au cours de la dernière décennie, les exportations canadiennes de produits sobres en carbone ont également surpassé les exportations pétrogazières.

Graphique 17 : Exportations du secteur de l'environnement et des technologies propres (ETP), par produits, 2012-2022

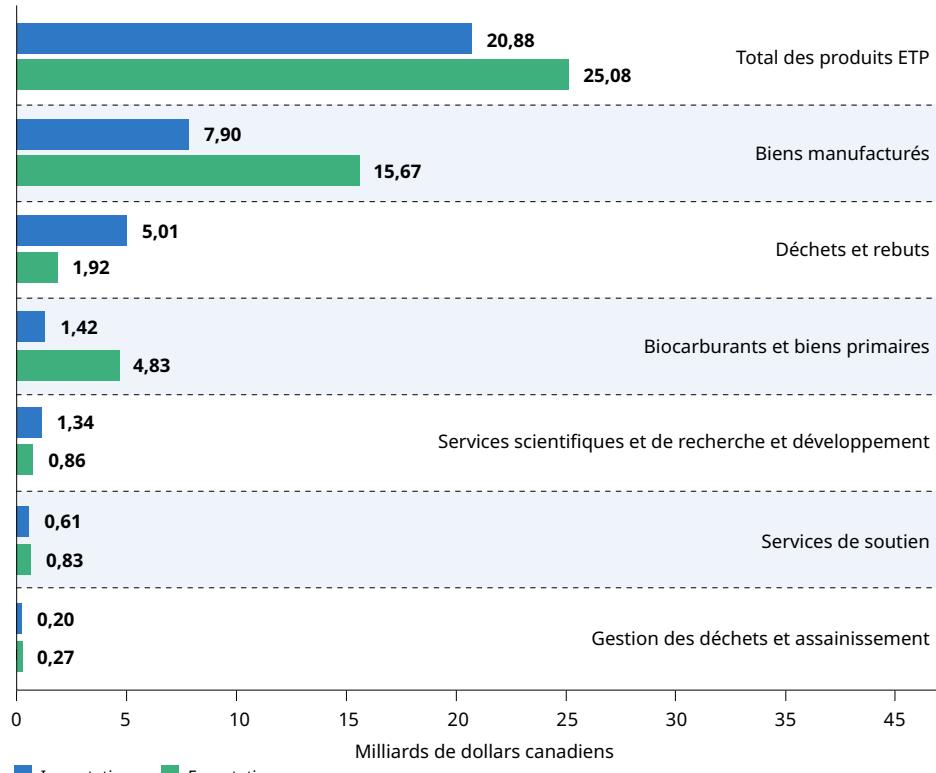


Sources : Statistique Canada; Services économiques d'EDC

Destinations des produits ETP exportés

La plupart des exportations ETP canadiennes sont destinées aux États-Unis, qui sont la destination de 77,7 % du total des exportations canadiennes du secteur de l'ETP en 2022⁴⁰. Du total des exportations de produits ETP vers les États-Unis, les biens environnementaux représentent plus de la moitié (53,4 %), suivis des biens manufacturés de technologies propres (38,6 %) et des services de technologies propres (8 %). Après les États-Unis, l'Europe était le deuxième partenaire d'exportation du Canada, recevant 2,2 milliards de dollars d'exportations canadiennes de produits ETP. Trois pays européens – le Royaume-Uni (18,1 %), les Pays-Bas (16,6 %) et la Norvège (15,5 %) – ont reçu un peu plus de la moitié de toutes les exportations canadiennes vers l'Europe.

Graphique 18 : Importations et exportations de produits ETP, 2022



Sources : Statistique Canada; Services économiques d'EDC

38 Cliquez ici pour obtenir de plus amples renseignements sur les calculs de l'Institut climatique du Canada : [Les exportations sobres en carbone du Canada augmentent presque deux fois plus vite que le reste de l'économie \(440megatonnes.ca\)](#).

39 La liste des produits d'exportation sobres en carbone comprend 141 produits individuels à faible teneur en carbone provenant d'un ensemble diversifié d'industries dans différentes classifications industrielles, y compris l'exploitation minière, les combustibles de remplacement, l'industrie propre, l'électricité propre et l'équipement énergétique. Pour en savoir plus, cliquez ici : [Canada's clean-energy gazelles are outperforming fossil fuels \(irpp.org\)](#).

40 Voir *Le Quotidien* – Commerce international des produits environnementaux et de technologies propres selon l'origine et la destination, 2022 ([statcan.gc.ca](#))



Soutien d'EDC au secteur des technologies propres



En 2022, EDC s'est donné pour objectif de fournir 10 milliards de dollars en soutien aux entreprises de technologies propres d'ici 2025. Le 31 décembre 2023, la Société l'avait déjà dépassé : c'est plus de 12 milliards de dollars qui ont été versés en solutions de financement et d'assurance à plus de 440 entreprises du secteur, contre 8,8 milliards de dollars et 392 entreprises en 2022. Depuis 2012, EDC a appuyé des exportations de technologies propres se chiffrant à près de 41 milliards de dollars; elle est une chef de file du financement du secteur des technologies propres au Canada.

Étant l'un des grands acteurs financiers de ce secteur au Canada, EDC soutient tous les sous-secteurs, notamment la production d'énergie renouvelable, les biocarburants, l'efficacité énergétique et le bâtiment durable. Nous avons aidé des entreprises canadiennes de technologies propres de toutes tailles à réussir sur la scène internationale.

Le Canada a également exporté pour 413,5 millions de dollars de produits ETP vers la Chine, suivie par l'Inde avec 348,4 millions de dollars en 2022.

Importations

En 2022, les importations de produits ETP ont atteint 25 milliards de dollars, ce qui représentait 2,6 % de l'ensemble des importations totales au Canada. Les importations de produits environnementaux ont totalisé 7,7 milliards de dollars en 2021, contre 17,4 milliards de dollars pour les importations de technologies propres. D'un point de vue historique, les importations de technologies propres ont représenté une part importante (plus de 70 % des importations totales de produits ETP de la dernière décennie) des importations totales de produits ETP du Canada par rapport aux importations de biens environnementaux.

Échanges commerciaux nets

En raison de notre dépendance aux importations de produits ETP, la balance commerciale du Canada enregistre un déficit constant depuis 2012. En 2022, la balance commerciale du secteur canadien de l'ETP s'élevait à 4,2 milliards de dollars, soit plus que le déficit commercial de l'ensemble de l'économie canadienne, qui atteignait 3,7 milliards de dollars. Notons que ce déficit est entièrement attribuable au sous-secteur des technologies propres.

En excluant l'année 2013, où le déficit commercial s'est élevé à 551 millions de dollars, la balance commerciale des produits environnementaux a toujours été positive ou excédentaire (voir le graphique 18).

À l'échelle sous-sectorielle, la principale contribution au déficit commercial du Canada en matière d'ETP provient des importations de biens manufacturés de technologies propres, notamment les services de technologies propres. Les importations de biens de technologies propres constituent en moyenne 89 % des importations totales de technologies propres depuis 2012. Par ailleurs, les déchets et les rebuts ainsi que l'électricité propre ont enregistré des excédents commerciaux constants. Or, les biens environnementaux primaires, comme les biocarburants, présentent des déficits constants. L'importance croissante de l'électricité propre dans les exportations du Canada est un signe positif et offre de riches débouchés compte tenu de l'intégration transfrontalière des réseaux avec les États-Unis et de l'importance croissante de la sécurité énergétique et des énergies renouvelables dans le monde entier.



À la frontière des technologies propres : occasions et exportations

L'effet conjugué du regain de volatilité sur les marchés de l'énergie et de la volonté de décarbonisation incitera plusieurs pays et régions à mettre à profit les premières innovations dans les technologies propres pour renforcer leur compétitivité sur la scène mondiale.

Les pays qui accélèrent le déploiement national des technologies climatiques et qui s'efforcent de développer des chaînes d'approvisionnement en technologies propres devraient tirer davantage de valeur de la nouvelle économie verte en émergence. En outre, les mesures prises par les divers pays procureront à terme une valeur ajoutée à long terme dans les technologies naissantes prometteuses et leurs applications, y compris les technologies propres utilisant l'IA, l'hydrogène ainsi que le captage, l'utilisation et le stockage du carbone (CUSC).

Des mécanismes politiques tels que la Loi sur la réduction de l'inflation du président américain Joe Biden, les crédits d'impôt canadiens pour les investissements dans les technologies propres et REPowerEU, le plan de l'Union européenne visant à réduire la dépendance de l'Europe à l'égard des combustibles fossiles et à accélérer la transition vers l'énergie verte, ont, en partie, été mis en place pour stimuler la réalisation de ces objectifs.

Concernant les produits ou les services de technologies propres utilisant l'IA, nous pouvons affirmer que plus le problème qu'ils cherchent à résoudre est fondamental, plus leur potentiel d'exportation et grand.

De ce point de vue, les applications pour les technologies propres utilisant l'IA sont plus nombreuses dans les industries traditionnelles. Comme pour toutes les technologies innovantes, ce sont les premiers arrivés qui en tireront le plus de bénéfices. Compte tenu de l'évolution actuelle, l'Amérique du Nord, où l'IA progresse le plus rapidement, est avantageusement positionnée, tout comme la Chine, le Japon et Singapour, qui connaissent une impulsion lente mais dynamique. Si certains marchés européens disposent de centres technologiques, ils sont adoptés des lois sur la protection des données et de la vie privée qui compliquent la réussite des entreprises dont les activités sont fondées sur les données ou l'IA.

Le Canada a toujours été aux avant-postes de l'innovation liée à l'IA et est considéré comme un précurseur mondial pour ce qui est de l'innovation dans les technologies propres et de l'IA. Un soutien gouvernemental affirmé – sous la forme de Stratégie panafricaine en matière d'intelligence artificielle, les crédits d'impôt à l'investissement pour les technologies propres et de multiples subventions et financements – ainsi que de jeunes entreprises dynamiques et une main-d'œuvre bien formée aideront le Canada à effectuer une intégration approfondie

de l'IA et des technologies propres. Le développement de ces nouvelles technologies, y compris le capital-risque, sera essentiel pour conférer au Canada des avantages dans la sphère des technologies propres utilisant l'IA. Pour instaurer ces écosystèmes, il sera impératif d'améliorer la prestation de solutions d'IA et l'accès à l'infrastructure connexe, et de rendre plus abordables les capacités de traitement nécessaire au l'exploitation de ces modèles d'IA. Notre réseau électrique propre, notre accès étendu aux énergies renouvelables, nos abondantes ressources hydrauliques et nos minéraux critiques offrent au pays de nombreuses possibilités de développer des infrastructures informatiques. Si le Canada veut renforcer son avantage en matière d'IA, le secteur privé devra se mobiliser et soutenir les entreprises pour qu'elles se développent, étendent leurs activités et mettent en place ces infrastructures de premier plan.



Le Canada a toujours été aux avant-postes de l'innovation liée à l'IA et est considéré comme un précurseur mondial pour ce qui est de l'innovation dans les technologies propres et de l'IA.

S'agissant des nouvelles technologies, accélérer le déploiement national des technologies climatiques matures (comme les technologies pour le solaire et l'éolien) devrait permettre le lancement de nouveaux produits exportables en aval, comme l'hydrogène et les carburants de remplacement. Ces produits énergétiques peuvent réduire l'intensité des émissions des produits finis et soutenir l'infrastructure dans sa transition vers des produits plus écologiques. Les pays qui s'efforcent de s'approprier une partie de ces nouveaux marchés pour leur usage, ainsi que pour les exportations vers les marchés ayant un accès limité à l'électricité d'origine renouvelable, pourront réaliser des gains substantiels. Dans les domaines où le Canada possède déjà un avantage concurrentiel, comme l'énergie nucléaire, l'hydrogène et le CSUC, il faudra développer et maintenir l'activité des marchés, notamment en créant des entreprises, en renforçant les capacités et le savoir-faire technologique, et en ouvrant des débouchés d'exportation dans les chaînes de valeur des nouveaux produits énergétiques. L'avènement de l'IA et de ses puissantes capacités de calcul et d'analyse des données devrait par ailleurs révolutionner la technologie nucléaire, notamment en abaissant considérablement les coûts et en transformant la conception des réacteurs.

La présence d'un secteur du nucléaire sûr et prospère ainsi que l'annonce de deux projets de PRM procurent des avantages substantiels au Canada. Les centrales nucléaires produisent de l'électricité de manière commerciale et sûre au Canada depuis le début des années 1960. Reconnaissant le rôle crucial que jouent les carburants durables et propres dans la transition énergétique et le futur portefeuille énergétique, le gouvernement canadien a annoncé trois initiatives : l'adoption de la Norme sur les combustibles de remplacement (NCP)⁴¹, l'augmentation de la tarification nationale de la pollution par le carbone, et la Stratégie canadienne pour l'hydrogène⁴².

Les technologies de CSUC offrent de nombreux avantages aux pays qui disposent de sites concentrant les émissions industrielles et qui ont accès à des zones de séquestration. Fait à noter, le Canada fait figure de chef de file mondial dans ce domaine. Les systèmes fédéral et provincial de tarification du carbone ont permis l'échange de crédits carbone, ce qui a encouragé l'innovation dans les techniques de captage du carbone.

De vastes sites de séquestration à proximité de sources d'énergies renouvelables et la R-D de calibre mondial en génie géologique sont également des atouts pour le Canada en matière de CUSC et de ressources. Compte tenu de l'accès du Canada à des ressources renouvelables de haute qualité, de son potentiel de séquestration élevé et de son expertise en matière de géologie et d'ingénierie, le captage direct de l'air apparaît également comme un domaine offrant des occasions pour le Canada sur le marché mondial de l'élimination du carbone.

D'ailleurs, le marché du stockage de l'énergie est fin prêt pour une vive croissance au Canada. Le stockage d'énergie à long terme, en particulier, recèle de réelles possibilités pour l'ensemble des technologies propres pouvant être exportées, une filière où le Canada dispose d'un avantage concurrentiel. Le stockage de l'énergie à long terme promet d'atténuer les éventuels risques et vulnérabilités liés au développement, tout en optimisant le rendement des PRM, du nucléaire à l'échelle des réseaux, de l'hydrogène bleu et vert, et d'autres ressources émergentes au Canada. Le pays a également une longue expérience en matière de stockage de l'énergie à long terme, notamment avec la centrale hydroélectrique de pompage Ontario Power Generation (OPG) à Niagara Falls. Mais l'utilisation généralisée est encore limitée, car la capacité nationale des installations de stockage d'énergie au Canada est inférieure à un gigawatt⁴³.

41 [Règlement sur les combustibles de remplacement – Canada.ca](#)

42 [Stratégie relative à l'hydrogène – Canada.ca](#)

43 Un aperçu du marché du stockage de l'énergie au Canada en 2023 : [A snapshot of Canada's energy storage market in 2023 – Energy-Storage News](#) (en anglais seulement)

CONCLUSION

La capacité d'une région ou d'un pays à acquérir des avantages concurrentiels allant au-delà de l'innovation pure sera déterminée par l'ampleur des efforts à déployer pour libérer le potentiel des technologies climatiques émergentes. Pour prospérer, la nouvelle économie verte devra s'appuyer sur plusieurs piliers : un train de mesures favorables, la propriété intellectuelle, les infrastructures, l'accès aux minéraux critiques, une main-d'œuvre qualifiée et un capital financier suffisant. Pour conserver une longueur d'avance en matière d'innovation, il faudra créer un contexte plus favorable et offrir aux nouvelles technologies de nombreuses possibilités de se développer et d'arriver à maturité, tout en améliorant le volet d'efficacité opérationnelle – autant de défis que peuvent relever l'IA et l'apprentissage profond axé sur les données.

Les cas d'utilisation de l'IA liés au climat se multiplient et les nouvelles technologies ne cessent d'évoluer. Grâce à cette effervescence, des solutions pour décarboner et faciliter la transition énergétique voient le jour. Pour les secteurs de la croissance verte et la filière des technologies propres, les territoires à explorer recèlent des filons prometteurs.

Annexe

Principaux secteurs d'investissement en capital-risque dans les technologies propres à partir de 2023

Transport et logistique

Investissement total en 2023 :
7,59 milliards de dollars américains
(43 % de moins qu'en 2022)

Principales innovations à surveiller en 2024 : Innovation en matière de recharge des véhicules électriques, véhicules routiers (y compris les véhicules utilitaires lourds et les véhicules de micromobilité novateurs⁴⁴) et solutions d'électrification et de gestion des parcs de véhicules

Priorités : Solutions de recharge et de gestion de l'énergie pour stabiliser les réseaux et répondre à la demande croissante d'énergie des consommateurs découlant de l'électrification des parcs automobiles

Énergie et électricité

Investissement total en 2023 :
12,37 milliards de dollars américains
(1 % de moins qu'en 2022)

Principales innovations à surveiller en 2024 : Technologies de l'hydrogène et de l'électrolyse, innovations en matière de stockage de l'énergie (batterie des véhicules électriques et stockage à long terme), innovations numériques et matérielles dans les bâtiments (p. ex., capteurs pour les bâtiments intelligents, les services publics et les opérateurs de systèmes, et pompes à chaleur), technologies d'optimisation du réseau, fusion nucléaire

Priorités : Amélioration des réseaux, du stockage de l'énergie et de l'optimisation énergétique des bâtiments

Matériaux et produits chimiques

Investissement total en 2023 :
5,78 milliards de dollars américains
(inchangé par rapport à 2022)

Principales innovations à surveiller en 2024 : Innovations en matière de fabrication de cathodes⁴⁵, technologies de production d'acier vert, électrocarburants produits à partir de carbone capté, d'eau et d'électricité

Priorités : Production locale pour remédier aux vulnérabilités de la chaîne d'approvisionnement, innovation en matière de matériaux, production durable de carburants et réduction des émissions industrielles

Ressources et environnement

Investissement total en 2023 :
5,85 milliards de dollars américains
(33 % de moins qu'en 2022)

Principales innovations à surveiller en 2024 : Extraction directe du lithium, recyclage des batteries, développement durable des entreprises (en particulier dans les marchés à risque les marchés de crédits carbone)

Priorités : Matériaux et minéraux critiques, exploitation minière et recyclage

Agriculture et alimentation

Investissement total en 2023 :
6,64 milliards de dollars américains
(55 % de moins qu'en 2022)

Principales innovations à surveiller en 2024 : Technologies propres axées sur les animaux, gestion du bétail, innovations en matière d'aliments pour animaux et innovations en matière de protéines de remplacement

Priorités : Durabilité et potentiel de réduction des émissions

44 Les véhicules de micromobilité comprennent les véhicules à deux roues, les scooteurs, les cyclomoteurs et les vélos-cargos.

45 Les matériaux actifs de la cathode représentent la plus grande partie du coût des batteries de véhicules électriques (plus de 30 %). La production de matériaux actifs de cathode pour les batteries au lithium-ion est un processus complexe qui comporte plusieurs étapes, y compris le séchage, le broyage et le mélange des matières premières ainsi que le raffinage et l'enrobage des matériaux actifs.



Références

1. A snapshot of Canada's energy storage market in 2023, Rangooni J., Energy Storage News, 2023
2. À propos de l'énergie renouvelable, Ressources naturelles Canada
3. AI's energy needs may boost a small modular reactor startup, Ben Geman, Axios.com, 2024
4. AI Index Report 2024, Stanford Institute for Human-Centered AI, Université Stanford, 2024
5. Accelerating Climate Action with AI, Dannouni et coll., Boston Consulting Group, 2023
6. Artificial Intelligence Is Fueling A 'Nuclear Renaissance.' Bill Gates And Jeff Bezos Are In On It, Norton K., Investor's Business Daily, Investors.com, 2024
7. Canada's clean-energy gazelles are outperforming fossil fuels, Sawyer D., Options politiques, novembre 2020
8. Avenir énergétique du Canada, Régie de l'énergie du Canada, 2023
9. Les exportations sobres en carbone du Canada augmentent presque deux fois plus vite que le reste de l'économie, Zhang A., Sawyer D., Institut climatique du Canada, avril 2024
10. China's domestic and foreign influence in the global cobalt supply chain, Gulley A. L., McCullough E. A. et Shedd K. B., Resources Policy, no 62, 2019
11. Règlement sur les combustibles propres, gouvernement du Canada, consulté en août 2024
12. Clean hydrogen has a serious demand problem, John. J., Canary Media, 2024
13. Climate tech competitiveness: Can the United States raise its game? Corb L. et coll., McKinsey and Company, 2022
14. Data centres and data transmission networks, Agence internationale de l'énergie United States Data Center Energy Usage Report, Shehabi A. et coll., États-Unis : Web. Doi : 10.2172/1372902, 2016
15. Electricity 2024 – Analysis and forecast to 2026, Agence internationale de l'énergie, 2024
16. Energy Technology Perspective 2023, Agence internationale de l'énergie, Paris, Licence : CC BY 4.0, 2023
17. From Buzz to Impact: AI's Role in Accelerating the Clean Economy, Cleantech Group, 2024
18. Global Cleantech 100: Leading cleantech solutions to solve the world's biggest challenges, Cleantech Group, 2024
19. Global Energy Outlook 2024: Peaks or Plateaus? Raimi D., Zhu Y., Newell R. G. and Prest B. C., 2024.
20. Global Energy Perspective 2023: Sustainable fuels outlook, Krutnik M., et coll., McKinsey and Company, 2024
21. Measuring the environmental impacts of artificial intelligence compute and applications: The AI footprint, OECD Digital Economy Papers, no 341, OECD, 2022, OECD Publishing, Paris
22. Net Zero by 2050, Agence internationale de l'énergie, Paris, Licence : CC BY 4.0, 2021
23. PitchBook-NVCA Venture Monitor, National Venture Capital Associations et PitchBook, 2023
24. Reduce Carbon and Costs with the Power of AI, Degot C. et coll., Boston Consultancy Group, 2021
25. Resource realism: The geopolitics of critical mineral supply chains, Goldman Sachs, 2023
26. Statistique Canada
27. Stratégie canadienne pour l'hydrogène, gouvernement du Canada, 2020
28. United States Data Center Energy Usage Report, Shehabi et coll., 2016
29. Why AI and energy are the new power couple, Rozite et coll., AIE, Paris IEA (2023), Licence : CC BY 4.0
30. World Energy Investment 2024, World Energy Investment 2024, AIE, Paris IEA (2024), Licence : CC BY 4.0



À propos du présent rapport

Le rapport sur les technologies propres fait partie d'une série de rapports concis rédigés par le personnel des Services économiques d'Exportation et développement Canada sur le potentiel futur des exportations canadiennes. Les opinions exprimées dans ce rapport sont celles de l'auteur et ne doivent être attribuées ni à Exportation et développement Canada ni à son Conseil d'administration.

Plusieurs employés d'EDC ont participé à la réalisation de ce document. Ce rapport a été rédigé par Prerna Sharma, économiste principale, et passé en revue par Jeff Keats, responsable national, Écosystème des technologies propres; Shariq Akhlaq, responsable, Technologies propres pour la transition énergétique; Meena Aier, gestionnaire, Services économiques; et Brian Goodman, conseiller principal, Relations gouvernementales. La version anglaise a été révisée par Karen Turner et Janet Wilson. La version française a été révisée par Gilles Brault.

Si vous avez des questions ou des commentaires, veuillez écrire à Prerna Sharma (psharma@edc.ca).

Pour les demandes des médias, prière d'envoyer un courriel à media@edc.ca.

À propos d'Exportation et développement Canada

Qui sommes-nous?

Société d'État à vocation financière, Exportation et développement Canada (EDC) aide les entreprises canadiennes à générer des retombées au Canada et à l'étranger. EDC leur propose les produits financiers et l'expertise dont elles ont besoin pour percer de nouveaux marchés en toute confiance, réduire le risque financier et croître en mondialisant leurs activités. Ensemble, EDC et les entreprises canadiennes bâtissent une économie plus prospère, plus forte et plus durable pour toute la population canadienne.

Pour en savoir plus à propos d'EDC ou pour découvrir comment nous pouvons aider votre entreprise, composez le 1 800 229-0575 ou visitez le www.edc.ca/fr.

Avis de non-responsabilité

Le présent document est une compilation de renseignements accessibles au public. Celui-ci ne vise aucunement à donner des conseils précis et ne devrait pas être consulté dans cette optique. Il s'agit uniquement d'un aperçu. Aucune décision ne doit être prise sans avoir d'abord effectué des recherches indépendantes approfondies et consulté un professionnel à l'égard de la nature de la décision ou de l'action en question. Bien qu'EDC ait déployé des efforts commercialement raisonnables pour s'assurer de l'exactitude des renseignements contenus dans le présent document, elle ne garantit d'aucune façon leur exactitude, leur actualité ou leur exhaustivité. Le présent document pourrait devenir périmé, en tout ou en partie, à tout moment. Il incombe à l'utilisateur de vérifier les renseignements qu'il contient avant de s'en servir. EDC n'est aucunement responsable des pertes ou dommages occasionnés par une inexactitude, une erreur ou une omission liée au présent document ou en découlant. Le présent document ne vise aucunement à donner des avis juridiques ou fiscaux et ne doit pas servir à cette fin. Pour obtenir des conseils juridiques ou fiscaux, le lecteur doit consulter un professionnel qualifié. EDC est propriétaire de marques de commerce et de marques officielles. Toute utilisation d'une marque de commerce ou d'une marque officielle d'EDC sans sa permission écrite est strictement interdite. Toutes les autres marques de commerce figurant dans ce document appartiennent à leurs propriétaires respectifs. Les renseignements présentés peuvent être modifiés sans préavis. EDC n'assume aucune responsabilité en cas d'inexactitudes dans le présent document. © Exportation et développement Canada, 2024. Tous droits réservés.