

Étude financée par :



Conséquences de l'utilisation des petits réacteurs modulaires (PRM) dans l'industrie lourde sur le plan des émissions et de l'économie au Canada

Étude menée
par :

EnviroEconomics

navius
research

Résumé

- Une étude menée par EnviroEconomics et Navius Research a analysé les conséquences économiques et climatiques de l'utilisation de petits réacteurs modulaires (PRM) dans les secteurs industriels canadiens à fortes émissions.
- Si la capacité des PRM à fournir de l'électricité propre au réseau a fait l'objet d'une attention particulière, leur potentiel de décarbonisation de la chaleur et de l'électricité dans les secteurs industriels du Canada revêt une importance tout aussi grande. Les secteurs des sables bitumineux, de la fabrication de produits chimiques et de l'exploitation minière produisent actuellement plus de 30 % des émissions de gaz à effet de serre (GES) du Canada et sont confrontés à d'énormes défis pour les réduire.
- Les PRM sont particulièrement bien adaptés à ces secteurs étant donné leur capacité à produire de l'électricité et de la chaleur fiables et sans carbone, moyennant une empreinte écologique nettement inférieure à celle des réacteurs actuels. Ces PRM sont souvent construits en usine et modulaires, ce qui facilite leur transport vers des sites éloignés ou difficiles d'accès.
- Le modèle utilisé par EnviroEconomics et Navius Research, qui a été repris par plusieurs organisations dont l'Institut canadien pour des choix climatiques et le Conseil international pour le transport propre, explore une variété d'hypothèses relatives aux coûts et techniques en lien avec le déploiement des PRM, qui en sont actuellement au stade de la recherche et du développement.
- Dans tous les scénarios envisagés, les PRM ont permis d'obtenir des réductions d'émissions à faible coût, abaissant ainsi le coût de l'objectif de zéro émission nette pour l'ensemble du pays. Les déploiements étant prévus dès 2026, les PRM pourraient se généraliser d'ici 2035, en raison de la demande croissante en matière de réduction des émissions dans le secteur industriel.

Principales données

- Entre 2035 et 2050, les PRM pourraient réduire les émissions de GES de 216 mégatonnes (Mt)* dans le secteur de l'industrie lourde (les émissions à l'échelle du Canada se situent à environ 700 Mt par an). Cela équivaut à éliminer toutes les émissions actuelles du secteur pétrolier et gazier pour une période d'un an** ou à retirer plus de 3 millions de voitures des routes par an au Canada.
- Outre leur capacité à réduire de 18 % les émissions de GES dans le secteur de l'industrie lourde d'ici 2050, les PRM pourraient également réduire de plus de 5 % le coût de la réalisation de l'objectif de zéro émission nette pour le pays et contribuer jusqu'à 5 milliards de dollars par an au PIB d'ici 2050. Ce bénéfice économique résulte de bilans positifs pour l'industrie, les PRM étant, dans certaines applications, moins coûteux que les autres technologies.
- L'introduction des PRM dans le secteur industriel signifie que d'autres technologies envisagées, à savoir l'hydrogène, le captage, l'utilisation et le stockage du carbone et le gaz naturel renouvelable, qui sont très en demande et rares, pourraient être déployées ailleurs, ce qui pourrait réduire davantage les émissions de GES et les dépenses.

* Mégatonnes – Unité de mesure standard pour la réduction des GES.

** Source : [Gouvernement du Canada Émissions de GES](#)

Principaux résultats

- Les PRM pourraient réduire de plus de 5 % le coût lié à la réalisation de l'objectif de zéro émission nette pour le pays et contribuer à hauteur de 5 milliards de dollars par an au PIB d'ici 2050, par rapport à un scénario dans lequel les PRM ne seraient pas disponibles.
- Les PRM pourraient contribuer à la réalisation de l'objectif de zéro émission nette en réduisant les émissions de GES de 14 Mt par an en moyenne, ce qui équivaut à retirer plus de trois millions de voitures des routes par an.
- Entre 2035 et 2050, les PRM pourraient réduire les émissions de GES de 216 Mt dans le secteur industriel, soit plus que les émissions annuelles de GES produites par tous les types de transport au Canada.
- Le déploiement des PRM réduira le coût de la réalisation de l'initiative de zéro émission nette d'ici 2050 dans la grande industrie. Lorsque l'on compare les technologies permettant de réduire les GES, les PRM se démarquent comme une option moins coûteuse pour l'industrie par rapport aux technologies comme l'hydrogène, le captage, l'utilisation et le stockage du carbone, le gaz naturel renouvelable et d'autres approches. De plus, en introduisant les PRM dans la grande industrie, il est possible de réduire les émissions globales de GES du Canada à un coût moindre.
- Le recours aux PRM comme méthode de réduction des GES dans la grande industrie peut dispenser de l'utilisation des technologies de l'hydrogène et du gaz naturel renouvelable pour décarboniser cette industrie. Ces technologies remplacées pourront quant à elles être utilisées pour réduire les émissions de GES à moindre coût et plus facilement dans d'autres applications industrielles, domestiques et de chauffage et d'électricité dans les transports.

Principaux résultats (suite)

- Sur l'ensemble des hypothèses relatives aux coûts et à la faisabilité technique qui ont été testées, les PRM ont toujours permis d'obtenir des réductions d'émissions à faible coût.
- La modélisation a montré que les PRM occuperont une place très importante après 2035, car il faudra davantage de réductions de la part du secteur industriel pour atteindre la cible de zéro émission nette, étant donné que la plupart des autres secteurs auront déjà réduit considérablement leurs émissions à ce stade et que le secteur industriel sera contraint de rattraper son retard.

Remarque : La modélisation suppose que la tarification du carbone de 170 \$/tonne annoncée par les libéraux est le prix appliqué au début des années 2030, soit au moment de l'introduction des PRM, et que ce prix déclenche une adoption massive des PRM qui s'accélère par la suite à mesure que la tarification du carbone augmente selon divers scénarios.

Aperçu

- 1. Aperçu du projet**
- 2. Objectif de zéro émission nette du Canada**
- 3. Décarbonisation des industries lourdes**
- 4. Réduction du fardeau économique lié à la neutralité carbone**
- 5. Annexe sur la méthodologie**

Aperçu du projet

Le Secrétariat pour les PRM de l'industrie nucléaire canadienne a chargé EnviroEconomics de réaliser l'étude à l'aide du modèle gTech de Navius Research, un modèle EGC dynamique récursif, explicite à l'échelle régionale et destiné à la prévision économique, énergétique et des émissions de gaz à effet de serre à l'horizon 2050.

EnviroEconomics a divisé le projet en deux phases :

- **Phase 1 : Utilisation des PRM pour la décarbonisation de la chaleur et de l'électricité au Canada**
 - Modélisation de l'énergie et des émissions, explicite à l'échelle régionale et sectorielle, pour atteindre l'objectif de zéro émission nette d'ici 2050.
 - Modélisation et analyse terminées.
 - Utilisation des PRM pour la production de **chaleur et d'électricité de haute qualité** dans les secteurs **industriels grands émetteurs** du Canada, >75 MW.
 - Il s'agit des secteurs des sables bitumineux, de la valorisation du pétrole lourd, du raffinage de pétrole, de l'exploitation minière et de la chimie.
 - *Degré d'incertitude élevé quant au coût et à la faisabilité; multiples scénarios de coût et de faisabilité technique.*
- **Prochaine étape : Phase 2 : Utilisation des PRM pour la décarbonisation du réseau électrique canadien**
 - Modélisation du secteur de l'électricité explicite d'un point de vue régional.
 - Portée et calendrier à déterminer.

Principales conclusions de la phase 1

Les PRM constituent une technologie conforme à l'objectif de zéro émission nette pour les émetteurs industriels, qui fait concurrence à d'autres possibilités de réduction émergentes.

- Les réductions de GES sont comprises entre <1 Mt et 43 Mt, avec une moyenne de 14 Mt par an.
- Le modèle prévoit le déploiement de 60 à 190 réacteurs (de 100 à 300 MW), le scénario central prévoyant 19 000 MW d'ici 2050.

Les PRM diminuent les coûts de réduction par rapport à d'autres solutions, réduisant ainsi le prix du carbone nécessaire à la mise en place d'une stratégie zéro émission nette pour 2050.

- Les PRM peuvent éliminer 18 % des émissions de GES de l'industrie lourde.
- Les PRM libèrent des vecteurs énergétiques à faibles émissions, comme l'hydrogène et le GNR, qui peuvent être déployés dans d'autres secteurs.
- Grâce aux PRM, le Canada pourrait réaliser des gains de PIB de l'ordre de 5 milliards de dollars en 2050 (scénario central).

Aperçu

10 scénarios de déploiement des PRM ont été modélisés

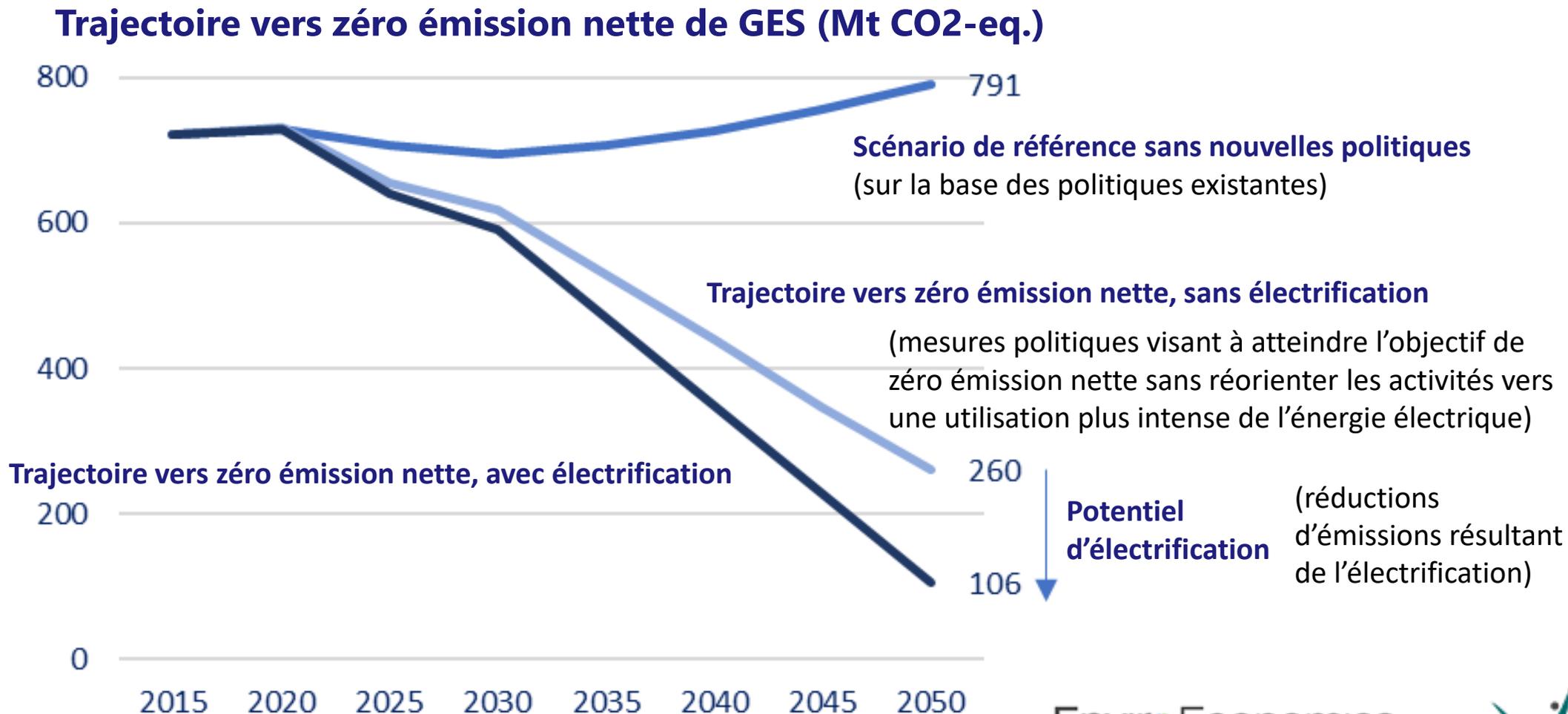
- La modélisation et l'analyse ont permis d'explorer les avantages en matière d'émissions de GES et les résultats économiques des scénarios de coût et de faisabilité des PRM, en vue d'aider le Canada à atteindre l'objectif de zéro émission nette d'ici 2050.

Trajectoires d'émissions

Objectif de zéro émission nette du Canada pour 2030 : Politique actuelle jusqu'en 2030, 105 Mt en 2050.

- L'étude a simulé 10 scénarios sur les PRM réalisant la même trajectoire en matière de GES.
- Ces scénarios ont réparti la charge de la réduction des émissions de GES entre les secteurs économiques, afin d'atteindre le même objectif.
- Les résultats montrent que les PRM contribuent à réduire les émissions par rapport à un scénario « sans PRM ».
- Dans la phase 1, les PRM ont été utilisés pour la production de chaleur et d'électricité de qualité supérieure dans les secteurs industriels gros émetteurs, ~100 MW.
- Cela met clairement en concurrence les PRM avec d'autres options émergentes en matière de réduction des émissions.
- *Remarque : le potentiel de l'hydrogène vert n'a pas été modélisé – l'inclusion de l'hydrogène pourrait élargir les avantages potentiels de l'utilisation des PRM au Canada.*

Contexte : Les trajectoires vers la cible de zéro émission nette au Canada



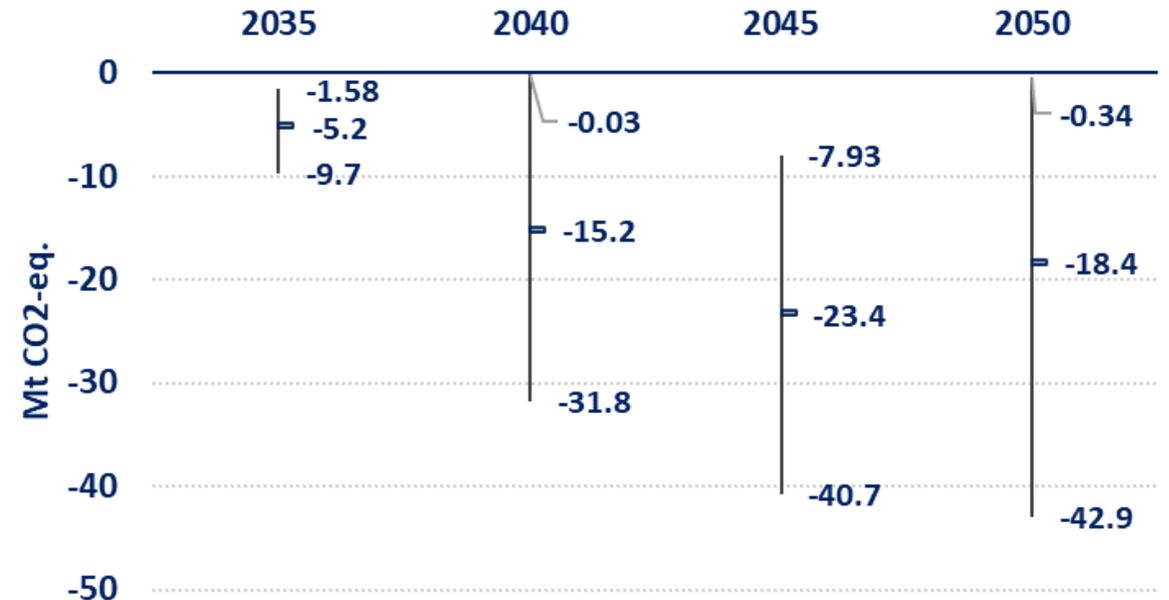
Réductions des émissions à l'échelle nationale grâce aux PRM

Les réductions de GES résultant du recours aux PRM sont comprises entre :

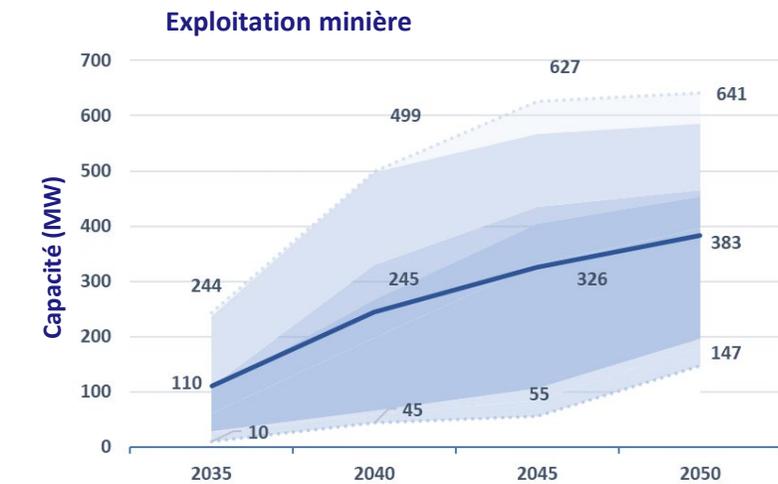
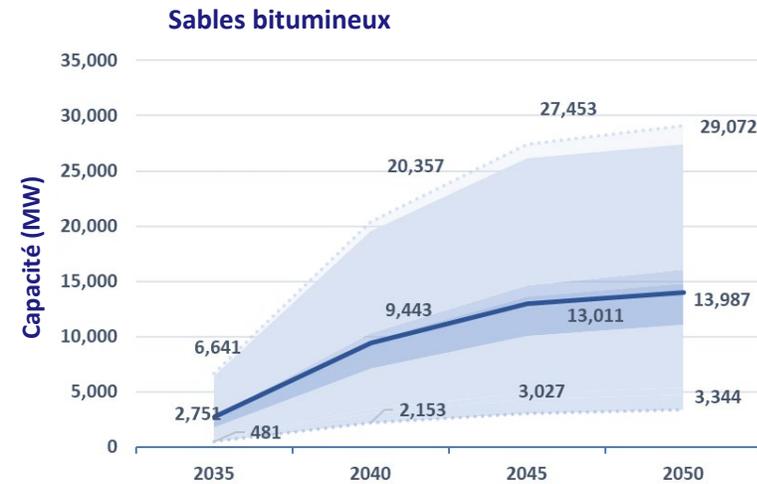
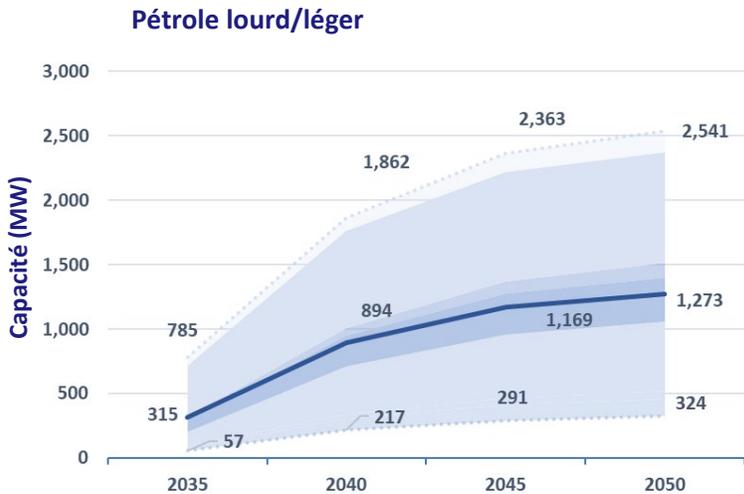
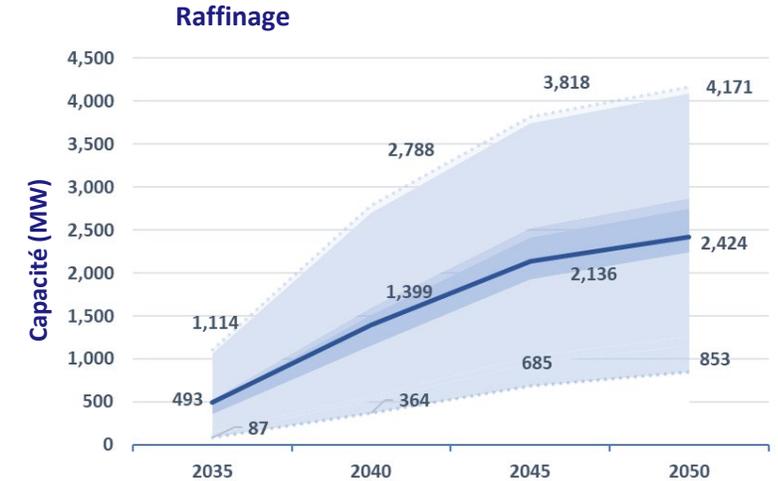
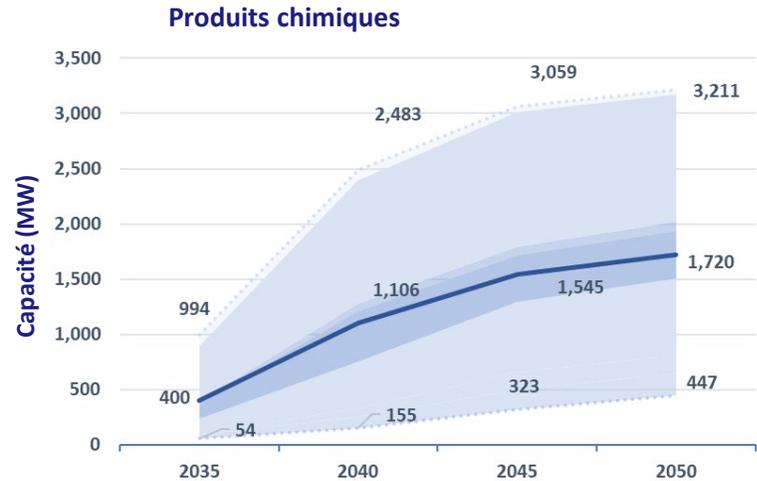
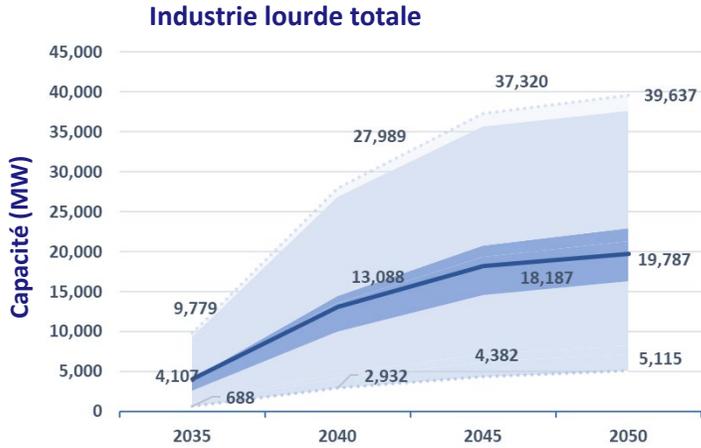
<1 Mt à 43 Mt, avec une moyenne de 14 Mt par an.

- Les PRM sont largement déployés après 2035 pour faire face aux coûts élevés du carbone dans le cadre de la trajectoire des GES vers la cible de zéro émission nette.
- Les scénarios à coût élevé montrent une faible pénétration. Avec des coûts moindres pour les PRM, le déploiement est généralisé.
- Les PRM transfèrent les réductions de GES d'autres secteurs à coût élevé et permettent d'obtenir davantage de réductions de la part des émetteurs industriels.
- Les PRM libèrent des vecteurs énergétiques à faibles émissions, tels que l'hydrogène et le gaz naturel renouvelable, qui peuvent être utilisés ailleurs, avec des avantages environnementaux potentiellement plus importants.
- Dans les simulations, les **PRM constituent une technologie transformatrice qui fait concurrence avec succès à une série de nouvelles possibilités** en matière de réduction des GES industriels.

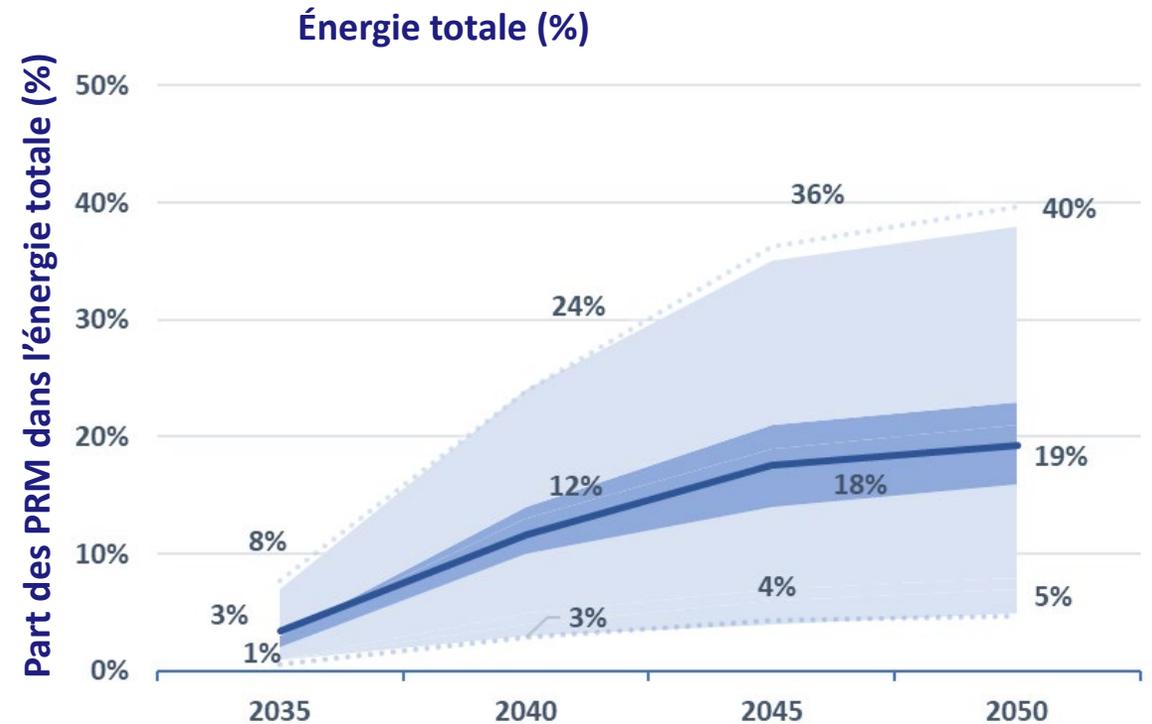
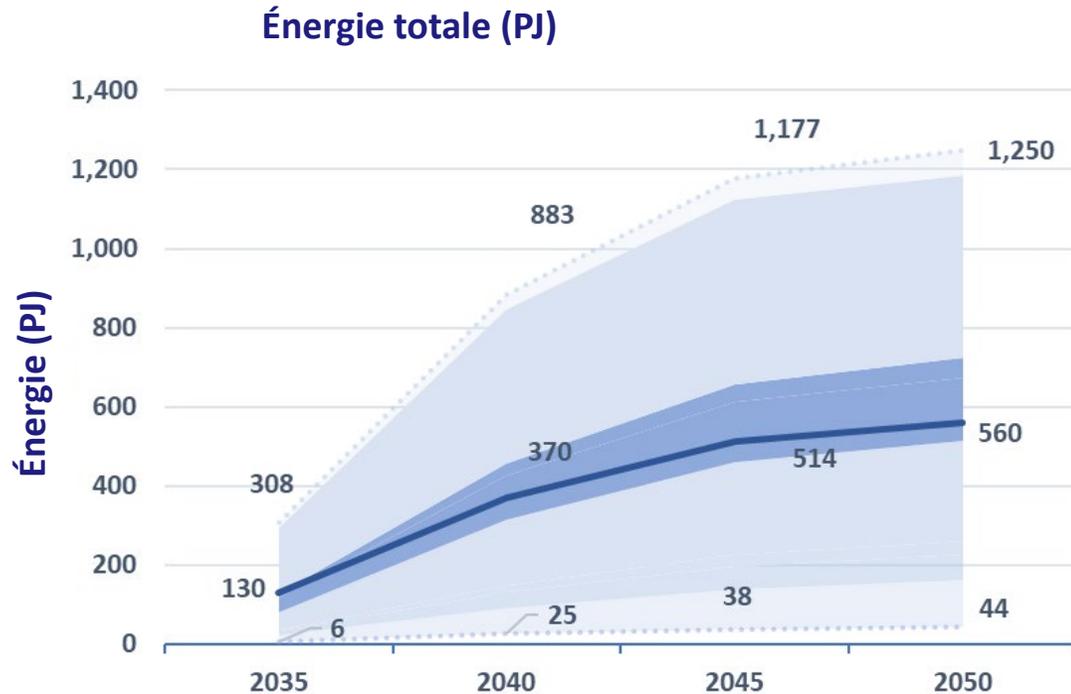
Réductions des émissions par les PRM



Puissance installée des PRM : MW dans les secteurs industriels (2035 à 2050)



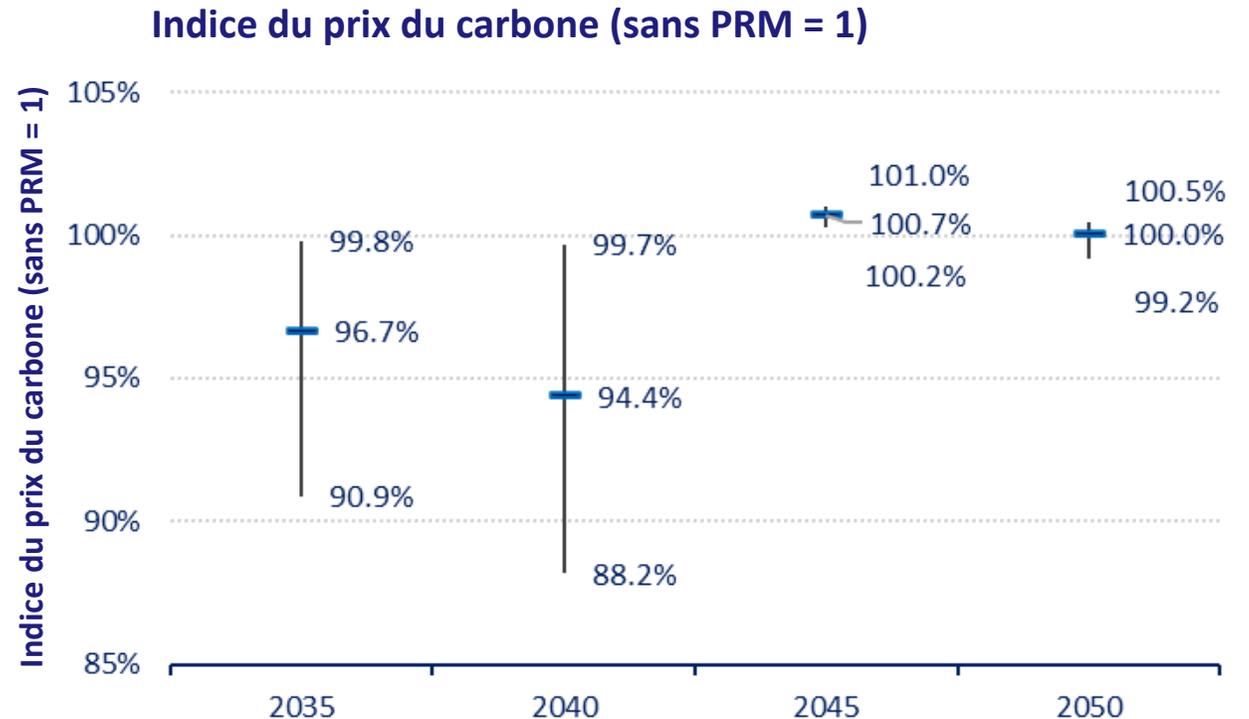
Part de l'énergie totale : Grands émetteurs industriels (PJ et % de l'énergie totale)



Prix du carbone : Indice du prix du carbone (sans PRM = 1)

La plupart des scénarios relatifs aux PRM réduisent les prix du carbone payés par les ménages et l'industrie pour atteindre la même trajectoire de GES :

- La disponibilité des PRM rend les réductions moins coûteuses pour les grands émetteurs industriels.
- Elle permet également de remplacer des options de réduction des GES plus coûteuses dans d'autres secteurs de l'économie.
- Elle libère des vecteurs énergétiques à faibles émissions de carbone, comme l'hydrogène et le gaz naturel renouvelable, qui peuvent être employés dans d'autres secteurs de l'économie.



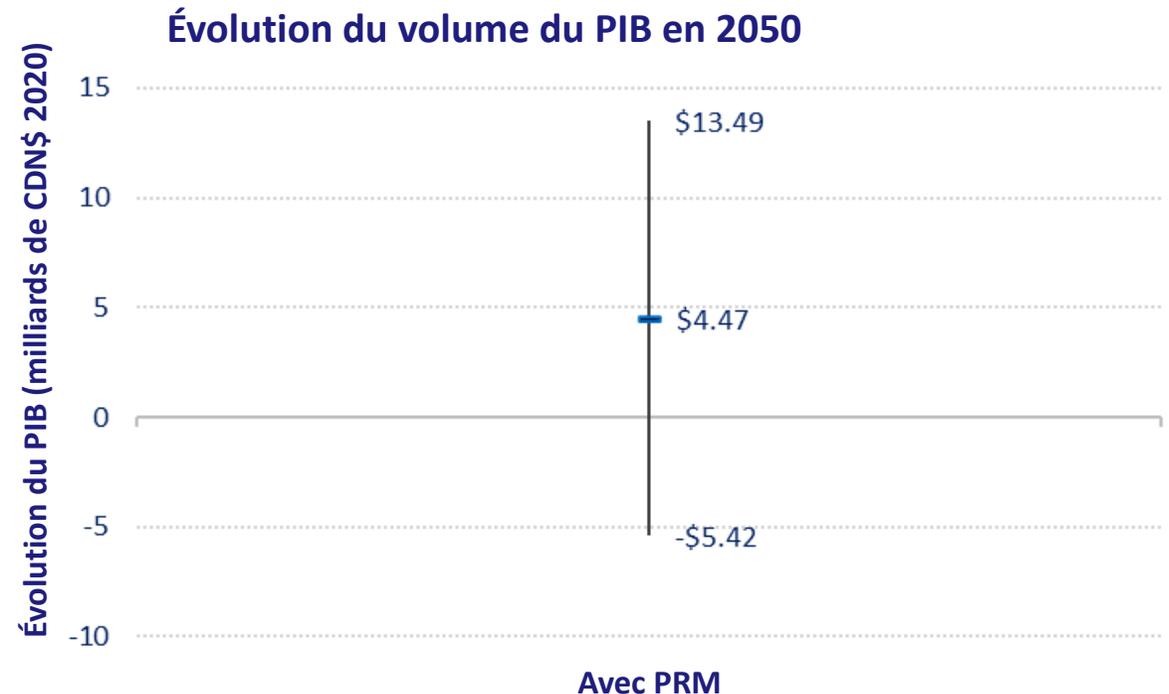
PIB : Taille de l'économie en 2050 (avantages pour la croissance cumulative de l'économie)

La baisse du prix du carbone entraîne une augmentation du PIB par rapport au scénario sans PRM. En d'autres termes, **dans les simulations, les PRM permettent d'atteindre le même objectif de réduction des GES à moindre coût** par rapport à un scénario sans PRM.

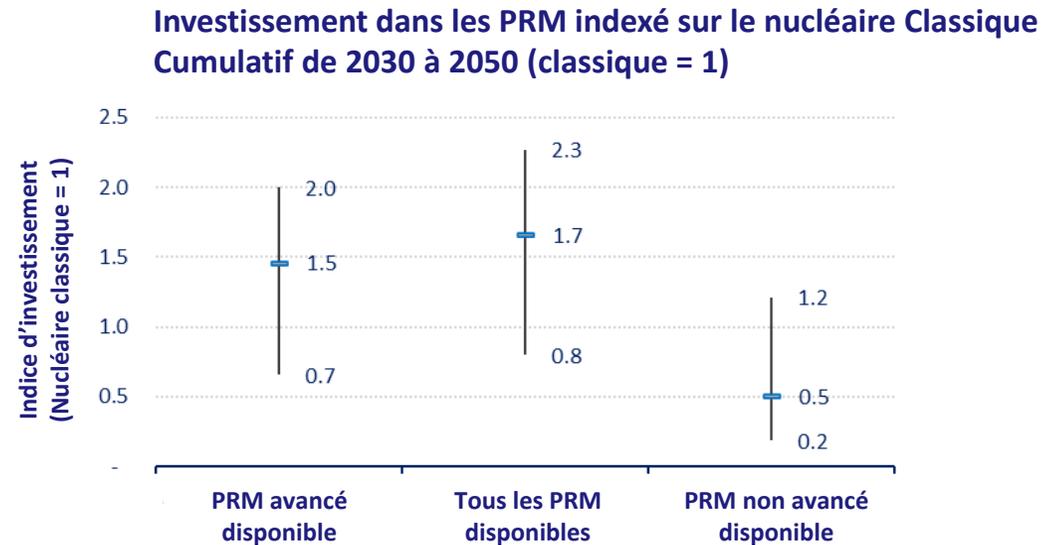
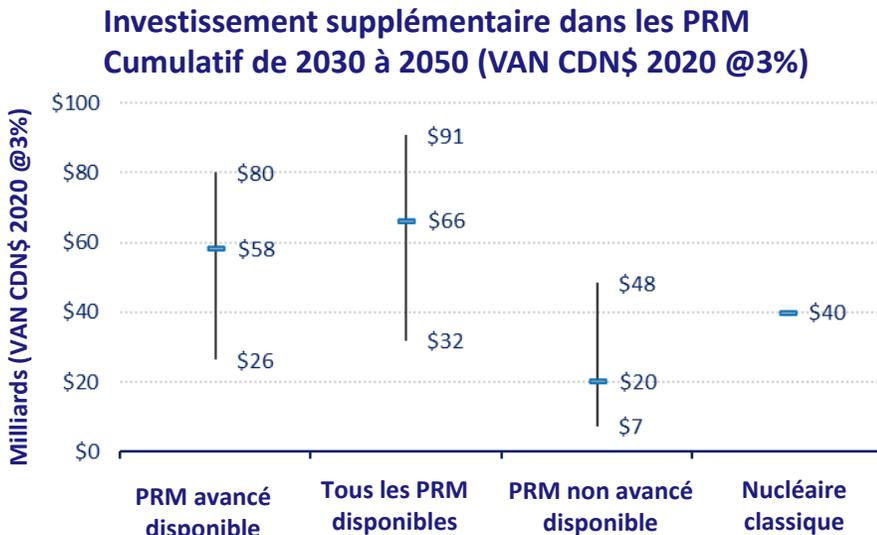
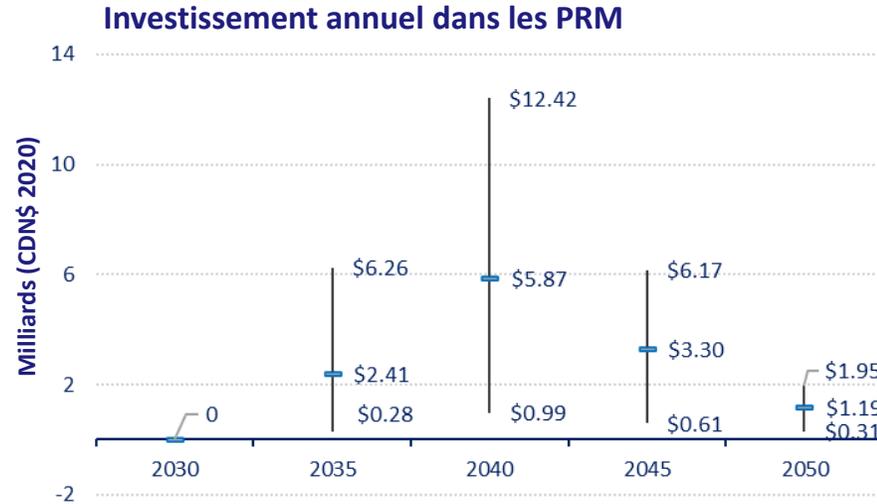
Sept des neuf scénarios relatifs aux PRM se traduisent par **une économie totale plus importante en 2050** par rapport à un scénario sans PRM :

- Avec les PRM, l'économie augmente en moyenne de 4,5 milliards de dollars en 2050.

Les scénarios de coûts liés aux PRM issus de la feuille de route sur les PRM indiquent **la possibilité de réduire les coûts d'une trajectoire vers la cible de zéro émission nette d'ici le milieu du siècle.**



Investissement dans les PRM : Cumulatif de 2030 à 2050; indexé par rapport au nucléaire classique; et annuel.



Annexe sur la méthodologie

Degré d'incertitude élevé quant au coût et à la faisabilité des PRM.

- Scénarios de coûts faibles, moyens et élevés liés aux PRM pour refléter une plage de résultats possibles. Signaler les plages d'incertitude.
- Supposer que la faisabilité de la technologie est probable après 2031.

Appliquer uniquement à la demande de **chaleur et d'électricité de qualité élevée** émanant de **grands émetteurs industriels** dans les secteurs de l'exploitation minière, des sables bitumineux et de la valorisation, du pétrole lourd, du raffinage du pétrole et des produits chimiques.

- Les coûts moyens actualisés de l'énergie (LCOE) pour les technologies de PRM sont basés sur les hypothèses de coûts pour les PRM déployés commercialement, tels qu'estimés dans le rapport de la **feuille de route sur les PRM** par le groupe de travail sur l'économie et les finances.
- Faire la distinction entre deux technologies de PRM :
 - 1) une conception semblable à celle des grands réacteurs actuels, avec un niveau de maturité technologique (TRL) plus élevé; et,
 - 2) une technologie de PRM à conception différente, plus avancée, avec un TRL plus faible.

La feuille de route sur les PRM fournit des estimations de coûts d'exploitation et de maintenance pour les PRM à TRL élevé et faible; elle établit des comparaisons avec les turbines à cycle combiné au gaz naturel :

- PRM à TRL élevé : LCOE de 87 \$/MWh. Le scénario à faible coût est de -27 % et celui à coût élevé de +34 %.
- PRM à TRL faible : LCOE de 80 \$/MWh. Le scénario à faible coût est de -21 % et celui à coût élevé de +39 %.
- Durée de vie de 30 ans avec un taux d'actualisation de 6,15 % pour les PRM à TRL élevé et de 9 % pour les PRM à TRL faible.