



Vision 2050

L'avantage nucléaire du Canada

L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE POUR UN AVENIR SAIN ET
SOBRE EN CARBONE AU CANADA ET DANS LE MONDE

Document de discussion de Génération Énergie
Octobre 2017

TABLE DES MATIÈRES

| | |
|--|-----------|
| Résumé | 2 |
| 1. Introduction | 5 |
| 2. Le besoin | 8 |
| 3. L'industrie nucléaire canadienne aujourd'hui | 11 |
| 4. Vision de l'énergie nucléaire en 2050 | 13 |
| 5. Passage à l'action | 22 |
| 6. Recommandations | 26 |
| Annexes | 28 |
| Références | 34 |

RÉSUMÉ

Imaginez un Canada doté d'une filière énergétique propre, abordable et diversifiée, un Canada chef de file mondial dans la réalisation d'une décarbonisation substantielle. Imaginez également une solution à la pauvreté énergétique dans nombre de collectivités du Canada petites et éloignées, qui doivent actuellement composer durement avec le diesel. Imaginez un Canada qui exploite son potentiel naturel de sources énergétiques, particulièrement celles qui fournissent des quantités suffisantes, fiables et abordables d'électricité propre aux ménages et, de plus en plus, aux véhicules et aux transports.

Bon nombre de Canadiens aimeraient un tel avenir. Le gouvernement du Canada aussi d'ailleurs, comme le démontrent les objectifs et les priorités de sa politique. Cette vision, l'industrie nucléaire canadienne la partage... et possède les solutions à la hauteur d'une telle ambition.

Aujourd'hui, il règne un indéniable consensus chez les Canadiens, les gouvernements fédéral et provinciaux et l'industrie nucléaire en ce qui concerne les résultats et les solutions énergétiques que nous voulons. Notre industrie nucléaire travaille concrètement à les réaliser par des voies nouvelles, tournées vers l'avenir. Cette combinaison de vision, de solutions et de technologies pour la concrétiser est ce que nous appelons l'avantage nucléaire du Canada.

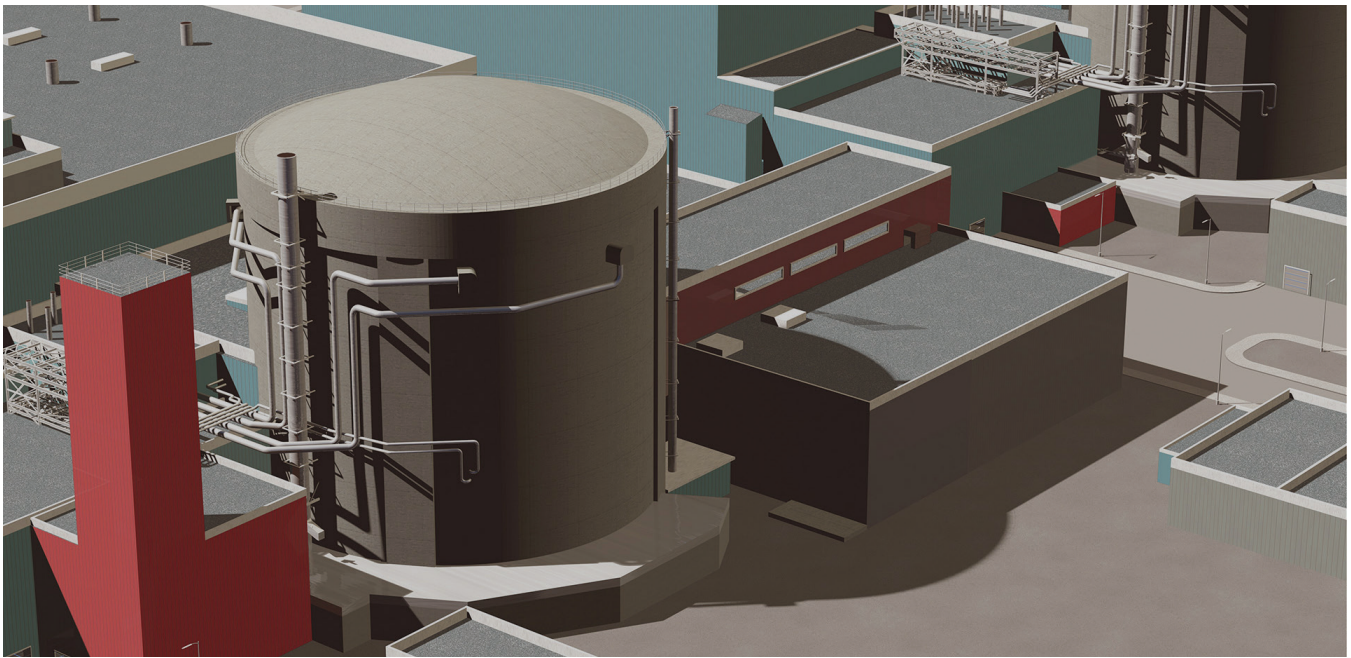
Nous invitons la population canadienne, de même que nos gouvernements fédéral et provinciaux, à examiner cette vision et cette orientation concrète, tout en prenant acte de cette perspective commune. En même temps, nous lançons un appel à l'action : si nous voulons vraiment réaliser une décarbonisation substantielle, atteindre les objectifs de réduction des gaz à effet de serre (GES), fournir une énergie propre et en quantité suffisante à tous les Canadiens, nous devons prendre un engagement. Les recommandations formulées dans le présent document représentent les étapes les plus concrètes, pressantes et efficaces qui peuvent aider le Canada à concrétiser l'avenir énergétique que nous voulons tous, pour peu que nous agissions maintenant.

L'industrie nucléaire canadienne est une « super grappe » d'entreprises et d'organisations innovantes qui, collectivement, positionnent le Canada sur l'échiquier mondial des sciences et des technologies, de l'ingénierie, de la construction de qualité supérieure et des technologies propres. Cette industrie est donc un atout stratégique pour le Canada non seulement chez nous, mais aussi partout dans le monde. En outre, la technologie nucléaire contribue à la réalisation de neuf des dix-sept objectifs de développement durable (ODD) des Nations Unies, et ce, au bénéfice de l'humanité. Ces objectifs dépassent l'enjeu des énergies propres : ils englobent aussi la santé, la nutrition, la sécurité alimentaire, les traitements médicaux et l'eau saine.

Les décideurs de notre pays et leurs homologues internationaux ont des défis de taille à relever en matière de protection de l'environnement et de politique énergétique. Or l'humanité aura besoin de tout un arsenal de sources d'énergie à faibles émissions et d'options technologiques. L'industrie d'aujourd'hui est prête à exploiter une nouvelle vague de solutions novatrices dans les domaines des combustibles, de la conception de réacteurs et de leurs diverses applications.

Le nucléaire offre de nombreux avantages comme source d'énergie à charge de base, notamment parce qu'il protège la qualité de l'air et que ses installations n'occupent que peu de territoire. Et il s'agit d'une réalité mondiale. Voilà pourquoi le nombre de réacteurs est en augmentation, particulièrement en Chine et en Inde. La technologie de réacteur électronucléaire canadienne est d'ailleurs exportée vers ces deux pays les plus peuplés et ailleurs. Avec ces produits, y compris l'uranium et les combustibles nucléaires, le Canada exporte effectivement une solution qui garde l'air propre, utilise moins les terres et limite le recours aux barrages.

L'efficacité de cette technologie nucléaire durable donne déjà des résultats dans l'esprit des engagements du Canada dans l'Accord de Paris et améliore effectivement la qualité de vie en Chine, en Inde, en Corée du Sud et ailleurs.



LE TOUT NOUVEAU RÉACTEUR CANADIEN CANDU 6 (EC6)

LA VOIE DE LA DÉCARBONISATION

Les technologies nucléaires permettront au Canada de mieux réaliser ses objectifs, soit produire une énergie propre, abordable et fiable dans trois grands secteurs où il y a urgence d'agir :

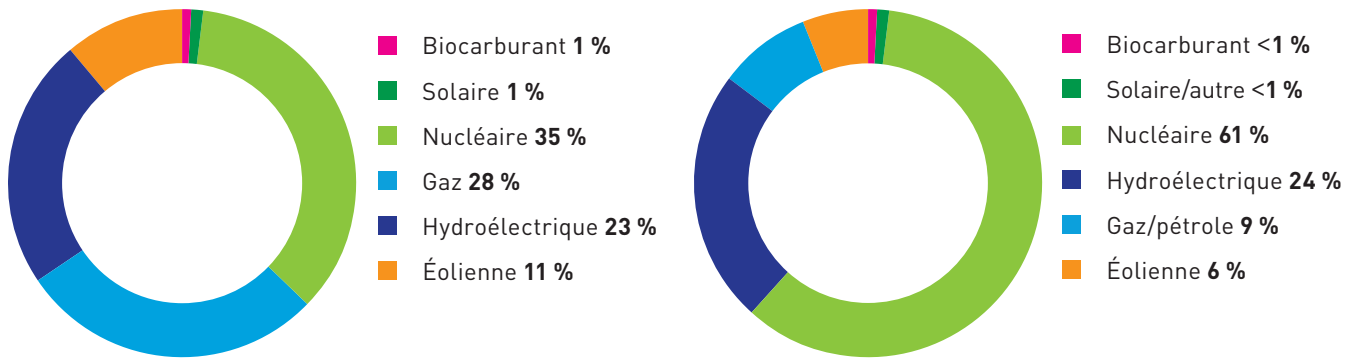
- la satisfaction de la demande mondiale d'énergie électrique en réseau;
- la décarbonisation des procédés industriels;
- l'approvisionnement énergétique des régions éloignées.

Des dizaines de concepts en développement pourraient être commercialisés au cours de la prochaine décennie. Mais le processus achoppe sur des plans où l'État peut agir, directement ou dans un rôle de coordonnateur ou facilitateur intersectoriel. Il s'agit notamment des applications, des modèles réglementaires, de l'acceptation sociale, du financement, de la preuve économique et logistique, et de l'approvisionnement.

Les effectifs et la chaîne d'approvisionnement de l'industrie nucléaire canadienne sont en pleine croissance, et non en ralentissement.

À un certain point au cours de la décennie 2020, la capacité supérieure du Canada en matière de technologie nucléaire deviendra une franche occasion de procurer une énergie durable et propre à la planète. Le Canada aura effectivement la puissance énergétique lui permettant d'atteindre les cibles qu'il s'est fixées dans l'Accord de Paris et d'aider le reste de la planète à faire de même. Très peu de pays, sinon aucun, auront une telle occasion, c'est-à-dire pouvoir le faire en misant sur une technologie nucléaire, des matériaux, des activités de recherche et de développement et un personnel hautement qualifié provenant entièrement de ressources domestiques.

L'énergie nucléaire en réseau pourra provenir de grands réacteurs, comme le CANDU 6 amélioré, de grands réacteurs à eau ordinaire ou de petits réacteurs modulaires. La technologie de réacteur de type CANDU, développée au Canada, demeure extrêmement performante; elle est une source de production d'électricité abordable, fiable et sécuritaire. Cette famille de réacteurs exceptionnels continuera de procurer ces avantages aux Canadiens pendant les prochaines décennies et restera compétitive sur le marché des moyens et grands réacteurs.



LES SOURCES D'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE DE L'ONTARIO EN 2017, EN CAPACITÉ INSTALLÉE (GAUCHE) ET EN PUISSANCE FOURNIE (DROITE)

Pour tous les types de réacteurs, le Canada (par l'entremise de ses gouvernements) voudra établir des critères rigoureux de sélection des technologies à utiliser. Les synergies entre les parcs seront importantes pour assurer la compétitivité économique dans les ventes comme dans l'exploitation des réacteurs.

En ce qui concerne les petits réacteurs modulaires (PRM), le Canada est déjà reconnu à l'échelle mondiale comme un marché et un milieu de réglementation particulièrement favorables. Si le Canada se positionne rapidement comme figure de proue, il pourra s'assurer une part considérable du marché mondial des PRM, lequel représente entre 400 et 600 milliards de dollars. Outre l'énergie électrique, ces réacteurs peuvent servir à la production d'hydrogène (un combustible propre pour les transports et le stockage d'énergie) et à d'autres usages comme le chauffage centralisé, le dessalement de l'eau marine, le jumelage à des systèmes de stockage d'énergie et la production de chaleur à des fins industrielles, notamment pour l'extraction et la mise en valeur des sables bitumineux, la production d'acier et les procédés de production chimique.

Pour le déploiement, il faut du leadership, mais aussi un vaste engagement et la coordination des nombreuses parties prenantes : les collectivités hôtes potentielles et le grand public, le gouvernement fédéral, les concepteurs de réacteurs, les exploitants de réacteurs, la chaîne d'approvisionnement, les organismes de réglementation, les provinces, les territoires et les peuples autochtones.

L'engagement des collectivités et l'acceptation sociale aux plans local, provincial ou territorial et national seront un point de départ. Mais c'est bien plus qu'un pari technologique : plus importante encore est la capacité de combler des besoins humains, sociaux et environnementaux.

LE PASSAGE À L'ACTION

Il est grand temps de passer à l'action pour que le gouvernement, dans son orientation, puisse tirer profit des technologies nucléaires propres, au bénéfice de tous les Canadiens. Nous présentons ainsi **Vision 2050 – L'avantage nucléaire du Canada : l'énergie nucléaire pour un avenir sain et sobre en carbone au Canada et dans le monde.**

Le Canada peut se positionner comme leader de l'utilisation créative et efficace de cet important actif stratégique qu'est le secteur du nucléaire. Il pourra ainsi trouver réponse aux défis posés par les changements climatiques et la pauvreté énergétique. Nous, les Canadiens, détenons effectivement l'expertise, les ressources, les technologies éprouvées, le cadre réglementaire, l'expérience de travail avec des communautés locales et autochtones, la créativité, le désir et la vision. Il ne manque que la détermination.

Dans nos recommandations, nous proposons un point de départ et des partenariats dans des avenues clés permettant au Canada de produire une énergie décarbonisée et propre : un soutien à hauteur de politiques et de programmes; des investissements dans l'innovation nucléaire; une collaboration avec les peuples autochtones; un soutien continu aux organismes de réglementation; et le renforcement de la coordination et du dialogue entre les parties prenantes qui non seulement partagent nos ambitions audacieuses et pressantes pour l'avenir énergétique du Canada, mais veulent également des solutions technologiques concrètes, efficaces et innovantes pour les concrétiser.

1. INTRODUCTION

Imaginez un Canada où la pauvreté énergétique, c'est-à-dire l'absence d'électricité et de chauffage abordables, fiables et propres, appartient au passé. Non seulement dans les grandes villes, mais aussi partout au pays, y compris dans les collectivités les plus éloignées. Imaginez l'impact sur le développement et la croissance, et encore sur l'éducation et l'autonomisation lorsqu'il y a assez d'électricité pour lire, assez de chaleur pour étudier, assez d'énergie pour inspirer et renforcer la confiance en l'avenir : dans un avenir pour les collectivités et un avenir pour l'individu.

IMAGINEZ UNE SOURCE D'ÉNERGIE GÉRÉE PAR LES COLLECTIVITÉS, OÙ LE CHOIX ET LA DEMANDE ÉNERGÉTIQUES SONT COMBLÉS PAR LA PUISSANCE, L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE ET LA CAPACITÉ DE CHAUFFAGE DONT LES CITOYENS ONT BESOIN ET QU'ILS DÉSIRENT.

Imaginez une source d'énergie gérée par les collectivités, où les besoins et les traditions des citoyens autochtones et des localités sont prioritaires et où la technologie pour produire de l'énergie reflète les aspirations de la collectivité hôte. Imaginez une source d'énergie gérée par les collectivités, où le choix et la demande énergétiques sont comblés par la puissance, l'énergie électrique et la capacité de chauffage dont les citoyens ont besoin et qu'ils désirent. Imaginez que leur voix est entendue.

Imaginez une technologie énergétique canadienne capable de produire d'énormes quantités d'électricité et de chauffage propres et sobres en carbone, et ce, 24 heures sur 24, 7 jours sur 7, sans dépendre d'aucune façon de la température, du vent ou du soleil. Imaginez une énergie dont le combustible et les plateformes pour la produire proviennent d'une technologie éprouvée développée et basée au Canada, où l'exploitation des combustibles, le montage des usines et la fabrication des composantes sont assurés ici même.

C'EST LA RÉALITÉ

Il existe une technologie et une industrie capables de faire beaucoup de chemin pour la réalisation de toutes ces aspirations. C'est l'industrie nucléaire du Canada. Cette industrie partage les priorités exprimées par les Canadiens. Nous voulons effectivement d'un pays où chaque citoyen a accès à l'énergie dont il a besoin. Nous voulons aussi des solutions aux défis de la pauvreté énergétique et du changement climatique, mais également pour entreprendre une réduction irréversible et d'envergure des émissions de carbone, tout en préservant les emplois et en faisant croître l'économie.

Nous voyons une solide et une meilleure adéquation entre les aspirations des Canadiens, les objectifs et les priorités des politiques du gouvernement du Canada, et les ambitions de l'industrie, en vision et en action, pour concrétiser les résultats que nous souhaitons tous.

Le message que nous envoyons à Génération Énergie porte justement sur ce rapprochement et sur les moyens de réaliser la vision que l'industrie, le gouvernement et les citoyens ont en commun. Il s'agit de jeter un regard tout neuf sur les solutions que cette technologie nucléaire innovante et de pointe apporte aux défis qui nous attendent.

UN ATOUT STRATÉGIQUE POUR LE CANADA

L'industrie nucléaire du Canada est un atout stratégique. Il s'agit d'une industrie nationale de 6 milliards de dollars qui génère 30 000 emplois directs et 30 000 emplois indirects, dont beaucoup sont très spécialisés et font appel à une technologie de pointe. L'industrie nucléaire est une puissante grappe d'entreprises et d'organisations innovantes qui positionnent le Canada sur l'échiquier mondial des sciences et des technologies, de l'ingénierie, de la construction de qualité supérieure et des technologies propres.

Mais il y a plus : notre longue histoire d'innovation et de savoir-faire en matière de technologie nucléaire – comme en témoignent les sciences nucléaires et les écosystèmes technologiques, avec les laboratoires Chalk River, fleuron de cette industrie au plan national – fait du Canada un interlocuteur crédible et important sur les questions de sécurité internationale telles que la non-prolifération et la sécurité nucléaires. Au fil des ans, l'uranium produit par Cameco et d'autres sociétés minières au Canada a permis d'éviter des centaines de millions de tonnes d'émissions de gaz à effet de serre (GES) en servant de combustible à des réacteurs nucléaires à l'étranger. Et les réacteurs CANDU de fabrication canadienne utilisés non seulement au pays, mais également à l'étranger contribuent eux aussi nettement à réduire les émissions de carbone/GES au pays et dans le monde.

L'industrie nucléaire du Canada contribue à la réalisation de neuf des dix-sept objectifs de développement durable (ODD) des Nations Unies. Quelle autre technologie énergétique permet de stériliser des dispositifs médicaux, de diagnostiquer (médecine nucléaire) et de traiter le cancer (Cobalt 60)? Sans les réacteurs nucléaires CANDU du Canada, le Cobalt 60 ne peut exister, tout comme le traitement que cet isotope médical apporte à des millions de personnes à travers le monde.

L'INDUSTRIE NUCLÉAIRE DU CANADA CONTRIBUE À LA RÉALISATION DE NEUF DES DIX-SEPT OBJECTIFS DE DÉVELOPPEMENT DURABLE (ODD) DES NATIONS.

L'industrie nucléaire du Canada, c'est à la fois est un fournisseur de solutions ici au pays, un atout stratégique à l'international et une source inestimable de traitements médicaux. L'industrie d'aujourd'hui est prête à exploiter une nouvelle vague de solutions novatrices. Nos sociétés et nos laboratoires mettent au point des combustibles qui utiliseront des matières recyclées à partir de combustibles épuisés pour ainsi exploiter encore davantage l'énergie de tels combustibles. Notre industrie expérimente en outre d'autres combustibles (thorium, oxydes mixtes) destinés à être utilisés dans les réacteurs CANDU de conception canadienne et de nouveaux combustibles tels que le sel fondu. Et elle développe des concepts nouveaux et concrets pour faire de l'énergie propre issue de la fusion nucléaire une réalité au cours des prochaines décennies.

Notre industrie met au point des petits réacteurs nucléaires de pointe, caractérisés par des systèmes de sécurité passifs, une empreinte environnementale extrêmement faible, une portabilité pour le déploiement loin des réseaux électriques et une simplicité de fabrication. Elle travaille à augmenter la capacité du Canada à atteindre les cibles d'énergie propre selon une perspective modulaire, qui suppose de fabriquer des réacteurs et des batteries nucléaires modulaires de petite taille et de très petite taille, de sorte que plus de collectivités en réseau et hors réseau puissent bénéficier de la chaleur et de l'électricité qu'ils produiront.

Et notre industrie s'apprête à déployer dans toutes les avenues énergétiques des réacteurs dotés de capacités de suivi de base pour permettre des installations hors réseau et une intégration de sources d'énergie renouvelables intermittentes dans les installations en réseau.

UN GAIN DE PUISSANCE

S'ajoutent à ce portrait les investissements du gouvernement fédéral dans les laboratoires Chalk River dans le but de renforcer ses capacités et sa réputation de calibre mondial au chapitre des technologies nucléaires et non nucléaires de pointe et de leurs nombreuses applications. Qui plus est, l'Ontario s'est engagée à réaliser le plus important investissement en énergie propre dans l'hémisphère occidental et pratiquement dans le monde en remettant à neuf 10 de ses réacteurs CANDU. Ainsi, la province s'est donné 40 autres années d'énergie propre et abordable, mais aussi une importante assise pour se doter d'une filière énergétique décarbonisée offrant une meilleure électrification.

Aujourd'hui, le monde a les yeux rivés sur le Canada et sur son secteur nucléaire. À ce point crucial dans la lutte contre le changement climatique, il est important pour l'industrie de présenter sa vision de l'avenir du Canada. Il est également grand temps de dire aux Canadiens que notre vision se réalise déjà à travers nombre de sociétés innovantes, grandes et petites, qui font du chemin avec des concepts nucléaires de pointe et développent des idées novatrices, des grands réacteurs électronucléaires en réseau aux applications industrielles hors réseau (exploitation minière et Cercle de feu; extraction des sables bitumineux), en passant par des déploiements encore plus hors réseau, dans les zones éloignées (collectivités éloignées et nordiques).

TOUTES LES AMBITIONS DE L'INDUSTRIE NE POURRONT ÊTRE RÉALISÉES SANS LE SOUTIEN DES PRINCIPALES PARTIES PRENANTES TELLES QUE LES GOUVERNEMENTS FÉDÉRAL ET PROVINCIAUX.

LA VOIE DE L'AVENIR POUR LES CANADIENS

Le présent document définit la vision de l'industrie et son adéquation avec les priorités, besoins et solutions que veulent les Canadiens et leurs gouvernements. Or il va plus loin parce qu'il traduit la vision en actions concrètes, en présentant les avancées de l'industrie dans des technologies de pointe et innovantes dans les domaines des infrastructures et des énergies propres.

Cette activité industrielle prend essentiellement trois grandes directions. À l'instar d'un inukshuk, ce document se veut un guide préliminaire en ce qu'il montre la voie à suivre. L'horizon envisagé est d'abord 2035, puis 2050. La feuille de route détaillée de chacune de ces avenues reste à écrire. En effet, pour chaque avenue, il y a des points où l'industrie doit s'arrêter, ne pouvant faire route seule pour passer au prochain objectif.

C'est là que le rôle du gouvernement devient important. Toutes les ambitions de l'industrie ne pourront être réalisées sans le soutien des principales parties prenantes telles que les gouvernements fédéral et provinciaux. Le document présente ces points dans chacune des directions où le soutien – politique, stratégique, fiscal, financier – sera le plus nécessaire. La section des recommandations fait état de ces points et propose des moyens et avenues aux gouvernements pour mettre l'épaule à la roue à des moments décisifs ou dans des aspects clés afin d'arriver à bon port.

L'industrie, les gouvernements et les citoyens sont tous déterminés à trouver ensemble des solutions pour lutter contre le changement climatique et réaliser la décarbonisation, pour créer des emplois et stimuler l'économie, de même que pour assurer le développement durable, l'autonomisation des communautés autochtones et le renforcement de la sécurité internationale et de la place du Canada en tant que leader dans ce secteur vital et innovant des technologies. Voilà pourquoi nous considérons que se mobiliser et faire front commun sont les prochaines étapes à franchir immédiatement.

Les recommandations sont des avenues et des moyens pour nous aider à atteindre nos objectifs communs.

2. LE BESOIN

Les décideurs de notre pays et leurs homologues internationaux ont des défis de taille à relever en matière de protection de l'environnement et de politique énergétique. Accuser la production et l'utilisation de l'électricité comme coupables du problème, et donc les réduire, est une réponse naïve face à ces défis.

L'accès à l'électricité est plutôt en étroite corrélation avec l'espérance de vie, la santé, la qualité de vie et notre capacité à survivre et à réagir aux catastrophes environnementales (ouragans, inondations, incendies, sécheresses). Le monde a beaucoup besoin d'électricité, et ce besoin est légitime et essentiel. Réduire l'utilisation de l'électricité ne se fera donc pas sans sacrifier le bien-être humain.

En outre, la décarbonisation entraînera forcément une hausse du recours à l'électricité dans les secteurs où les combustibles fossiles sont actuellement beaucoup utilisés (particulièrement dans les transports et le chauffage des bâtiments).

Il est vrai de dire qu'il y a plusieurs façons de produire, de distribuer et d'utiliser plus efficacement l'électricité. Mais même avec une approche conservatrice, nous devons nous préparer à une augmentation des besoins en électricité. Or il n'existe aucune source d'énergie propre capable de répondre à elle seule à ce besoin. Et l'humanité aura besoin de tout un arsenal de sources d'énergie à faibles émissions et d'options technologiques.

LES RETOMBÉES

Chaque source d'énergie et chaque technologie a des retombées secondaires (emplois, développements technologiques dérivés, applications imprévues). Dans le cas de l'énergie nucléaire, figurent parmi les retombées secondaires la formation de scientifiques et d'ingénieurs de très haut niveau, la longueur d'avance du Canada dans les domaines de la robotique, de l'imagerie médicale, du diagnostic et du traitement médicaux, des technologies de stérilisation pour instruments/appareils médicaux et produits alimentaires, ainsi que les percées dans la science des matériaux et la fabrication de pointe. La chaîne d'approvisionnement du nucléaire se trouve essentiellement au Canada et regroupe la plus forte proportion de scientifiques et d'ingénieurs que tout autre secteur de l'énergie. Le développement du nucléaire a largement contribué à la montée du Canada comme économie de hautes technologies de pointe et fortement diversifiée au 20^e siècle.

L'ACCÈS À L'ÉLECTRICITÉ EST EN ÉTROITE CORRÉLATION AVEC L'ESPÉRANCE DE VIE, LA SANTÉ, LA QUALITÉ DE VIE ET NOTRE CAPACITÉ À SURVIVRE ET À RÉAGIR AUX CATASTROPHES ENVIRONNEMENTALES (OURAGANS, INONDATIONS, INCENDIES, SÉCHERESSES). LE MONDE A BEAUCOUP BESOIN D'ÉLECTRICITÉ, ET CE BESOIN EST LÉGITIME ET ESSENTIEL.

Le nucléaire offre de nombreux avantages comme source d'énergie à charge de base, notamment parce qu'il protège la qualité de l'air et que ses installations n'occupent que peu de territoire. Et il s'agit d'une réalité mondiale. Voilà pourquoi le nombre de réacteurs est en augmentation, particulièrement en Chine et en Inde. La technologie de réacteur électronucléaire canadienne (CANDU) est d'ailleurs exportée vers ces deux pays les plus peuplés et ailleurs. Avec ces produits, notamment l'uranium et les combustibles nucléaires, le Canada exporte effectivement une technologie permettant de maintenir l'air propre et de réduire l'utilisation des terres et des barrages.

L'efficacité de cette technologie nucléaire donne déjà des résultats dans l'esprit des engagements du Canada dans l'Accord de Paris et améliore effectivement la qualité de vie en Chine, en Inde, en Corée du Sud et ailleurs.

LES VOIES À SUIVRE

Il est largement admis que pour atteindre les cibles d'émissions de gaz à effet de serre (GES) du gouvernement en 2050, il faut réaliser une décarbonisation substantielle de la filière énergétique du Canada. L'annexe A donne les résultats du travail réalisé par l'Académie canadienne du génie face à ce défi de taille et des options pour y parvenir. La réalité est qu'une électrification de masse à base de technologies sobres en carbone sera nécessaire. Et il faudra une énergie nucléaire produite différemment, de même que d'autres technologies sobres en carbone pour y arriver à moindre coût pour les Canadiens (références 3 et 4).

Selon notre évaluation, basée sur la version finale de ce travail, les technologies nucléaires permettront au Canada de mieux réaliser ses objectifs, soit produire une énergie propre, abordable et fiable dans trois grands domaines où il y a urgence d'agir, à la fois au pays et ailleurs dans le monde :

- **Demande mondiale d'énergie électrique en réseau** – Nous sommes aujourd'hui présents au Canada, en Chine, en Inde, en Corée du Sud, en Argentine et en Roumanie, et d'autres pays s'intéressent de plus en plus au nucléaire comme moyen de produire de l'énergie sans polluer l'air, sans émettre de GES et sans utiliser trop de terres. Voilà une occasion de donner suite à l'engagement de notre gouvernement à réduire les émetteurs de GES et à améliorer les résultats en matière de santé, tout en renforçant la capacité d'exportation des technologies propres du Canada.
- **Décarbonisation des procédés industriels** – L'absence d'une énergie abordable, fiable et propre est souvent l'obstacle à l'exploitation viable des ressources naturelles du Canada dans le Nord et en régions éloignées. L'exploitation des sables bitumineux au Canada, par exemple, produit énormément de GES en brûlant un hydrocarbure (gaz naturel) relativement propre pour en produire un autre (pétrole brut synthétique) moins propre. Or si cette chaleur était plutôt produite par le nucléaire, faisable au regard d'études techniques poussées, l'on pourrait diminuer les émissions de GES du Canada et préserver nos réserves de gaz naturel à des fins de plus grande valeur. Voilà qui apaiserait les préoccupations environnementales concernant l'image de marque mondiale du Canada et représente une occasion, à l'échelle mondiale, d'aider les industries des autres pays à se décarboniser.

LES AVENUES PRÉSENTÉES DANS CE DOCUMENT SONT AUTANT DE PISTES DE SOLUTIONS À CES BESOINS POUR LE CANADA, AUX PLANS NATIONAL ET INTERNATIONAL : LA DEMANDE MONDIALE D'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE EN RÉSEAU, LA DÉCARBONISATION DES PROCÉDÉS INDUSTRIELS ET L'OFFRE D'UNE ÉNERGIE DE QUALITÉ AUX RÉGIONS ÉLOIGNÉES.

- Fournir une énergie de qualité aux **régions éloignées** à travers le monde (collectivités hors réseau du Canada, populations des petites îles, régions montagneuses, bases militaires) – Comme dans la lutte contre le changement climatique, nous avons besoin d'un arsenal d'options énergétiques pour répondre aux besoins des personnes. Les énergies renouvelables sont utiles dans les régions éloignées, mais elles ne décarbonisent que partiellement. Les collectivités finissent donc par réaliser un triple investissement (dans les énergies renouvelables, les batteries et le diesel) sans véritablement se décarboniser. Il y a peut-être une solution plus propre, plus portable et moins limitée géographiquement et énergiquement. D'ailleurs, les débouchés ne se limitent pas au Canada, mais si nous sommes déjà le chef de file dans ce domaine.

L'URGENCE

Il y a urgence de consolider l'avantage nucléaire du Canada pour deux raisons à nos yeux. La première est que le programme élaboré par le gouvernement pour atteindre les cibles climatiques est fort exigeant. La seconde est que l'avantage actuel du Canada en tant que premier marché de déploiement de petits réacteurs – notre souplesse aujourd'hui par rapport d'autres pays également dotés d'une capacité nucléaire supérieure – ne durera pas, à moins de raffermir notre prise maintenant.

PLUS IMPORTANT ENCORE, LE CANADA EST L'UN DES RARES PAYS – EN FAIT, PRATIQUEMENT LE SEUL PARMIS LES PAYS TRADITIONNELS AYANT UNE CAPACITÉ NUCLÉAIRE SUPÉRIEURE – OÙ L'INDUSTRIE DE L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE EST EN PLEIN ESSOR AU PLAN NATIONAL. QUI PLUS EST, SES EFFECTIFS ET SA CHAÎNE D'APPROVISIONNEMENT SONT EN PLEINE CROISSANCE, ET NON EN RALENTISSEMENT.

Nous pensons que la technologie (principalement les concepts de réacteurs) ne sera probablement pas le facteur limitant. Le fait est que des dizaines de concepts en développement pourraient être commercialisés au cours de la prochaine décennie.

Mais le processus achoppe dans des secteurs où l'État peut agir, directement ou dans un rôle de coordonnateur ou facilitateur intersectoriel : applications, modèles réglementaires, acceptation sociale, financement, preuve économique et logistique, et approvisionnement.

L'urgence aujourd'hui tient donc moins au développement de la technologie que dans le travail d'équipe intersectoriel. Chaque avenue a ses exigences et ses défis propres; ce document fait le tour de ces différences.

3. L'INDUSTRIE NUCLÉAIRE AUJOURD'HUI

Le Canada fait partie des rares pays ayant une capacité nucléaire supérieure, c'est-à-dire des pays dont les capacités couvrent tout le spectre de la technologie nucléaire civile. En plus des résultats que sept décennies d'investissements dans ces technologies auront permis d'engranger, nous possédons quelques-unes des meilleures ressources en uranium au monde; et ces deux atouts sont complétés par notre position de chef de file dans le traitement de l'uranium, la recherche sur la flexibilité et le recyclage des combustibles, et la fabrication et l'exportation des combustibles.

Voilà une situation qui non seulement renforce notre autosuffisance et notre sécurité nucléaire, et augmente l'effet multiplicateur des investissements économiques nationaux dans le nucléaire, mais qui fait également de nous un solide partenaire potentiel dans les relations et le commerce internationaux.

Pour preuve, la Chine, pays ayant le programme de nouvelle construction nucléaire le plus rapide du monde, nous a fait confiance en signant avec nous une entente sur la flexibilité des combustibles et le réacteur CANDU à combustible avancé (RCCA), qu'elle intégrera dans son parc de réacteurs pour le prochain siècle.

Plus important encore, le Canada est l'un des rares pays – en fait, pratiquement le seul parmi les pays traditionnels ayant une capacité nucléaire supérieure – où l'industrie de l'énergie nucléaire est en plein essor au plan national. Qui plus est, les effectifs et la chaîne d'approvisionnement de l'industrie nucléaire canadienne sont en pleine croissance, et non en ralentissement.

- La remise à neuf (remplacement des principales composantes) de 10 des 18 réacteurs nucléaires opérationnels en Ontario au cours des 15 prochaines années est actuellement l'un des plus importants investissements dans l'énergie propre au monde. Ce projet de quelque 25 milliards de dollars canadiens suscite un vif intérêt à travers le monde.
- Le Canada a restructuré ses actifs dans l'industrie nucléaire au cours de la dernière décennie, et une modernisation remarquable du principal laboratoire nucléaire, les Laboratoires nucléaires canadiens (LNC), est en cours. Récemment, les LNC ont lancé une demande d'expression d'intérêt pour des démonstrations de technologies de petits réacteurs modulaires (PRM); ils ont reçu 80 réponses de diverses parties prenantes, notamment de concepteurs de technologies pour PRM, d'utilisateurs finaux potentiels, de collectivités hôtes, de la chaîne d'approvisionnement nucléaire et d'institutions de recherche et universitaires.
- L'organisme de réglementation nucléaire du Canada a un bilan exemplaire en matière de sûreté nucléaire. Il est également considéré dans le monde comme le milieu réglementaire à la fois le plus rigoureux et le plus avant-gardiste pour le déploiement des PRM. C'est pourquoi il attire de nombreux investisseurs au Canada.
- Le gouvernement fédéral du Canada considère le nucléaire comme une technologie énergétique propre aux fins de Mission Innovation, un engagement qu'ont pris plusieurs pays (après l'Accord de Paris) de doubler le financement de la recherche et du développement (R et D) sur les technologies d'énergie propre sur un horizon de cinq ans.
- Le Canada évolue vers des solutions à long terme pour la gestion des déchets nucléaires, comme l'illustre notamment le projet du Dépôt en couches géologiques profondes (DCGP).
- Notre parc de réacteurs de base est particulièrement flexible quant aux combustibles qu'il peut utiliser, ce que beaucoup considèrent comme la solution de l'avenir pour gérer nos déchets. Cet atout est un autre point fort de notre technologie CANDU, à l'instar du rechargement de combustible en cours de fonctionnement et de la résistance à la prolifération des armes nucléaires.
- Notre industrie s'associe à nos homologues chinois pour renforcer cette capacité à recycler les déchets à travers le projet du réacteur CANDU à combustible avancé (RCCA), qui donnera probablement lieu à d'autres projets pour l'industrie nucléaire du Canada en Asie.

Cet essor n'est pas sans effets sur notre positionnement : nous devons profiter des possibilités croissantes qu'offre le nucléaire dans un monde où les émissions de carbone sont de plus en plus réduites.

Un petit éventail de nouvelles technologies nucléaires clés méritent une place de choix dans l'avenir à moyen terme que nous esquissons dans ces lignes.

LA CAPACITÉ SUPÉRIEURE DU CANADA EN MATIÈRE DE TECHNOLOGIE NUCLÉAIRE DEVIENDRA UNE FRANCHE OCCASION DE PROCURER UNE ÉNERGIE DURABLE ET PROPRE À LA PLANÈTE. LE CANADA AURA EFFECTIVEMENT LA PUISSANCE ÉNERGÉTIQUE LUI PERMETTANT D'ATTEINDRE LES CIBLES QU'IL S'EST FIXÉES DANS L'ACCORD DE PARIS ET D'AIDER LE RESTE DE LA PLANÈTE À FAIRE DE MÊME.

- **Réacteurs de génération III et III+** – Nous améliorons la sécurité et la fiabilité de notre technologie éprouvée de production d'énergie. Ces réacteurs continuent de produire une énergie fiable, abordable et sans carbone, offrant ainsi à l'industrie canadienne des possibilités de déploiements et de partenariats pour décarboniser le monde et purifier l'air que l'on respire.
- **Prolongation de la durée de vie et renouvellement des réacteurs** – Dotés de l'un des plus vastes programmes de remise à neuf et de remplacement de composantes au monde, les Canadiens continuent de consolider leur technologie et leur expertise dans ces domaines essentiels. Ce sont des compétences fondamentales dans la joute mondiale des infrastructures, où la prolongation de la durée de vie des actifs nécessitant beaucoup de capitaux est l'une des clés de la bonne performance économique.
- **Réglementation des petits réacteurs** – Les sociétés internationales du secteur nucléaire visitent le Canada et y investissent parce qu'elles estiment que les procédures d'octroi de permis ici offrent un cadre de qualité supérieure pour un déploiement relativement à court terme de petits réacteurs modulaires et d'autres concepts de réacteur avancés.

VERS LE SOMMET

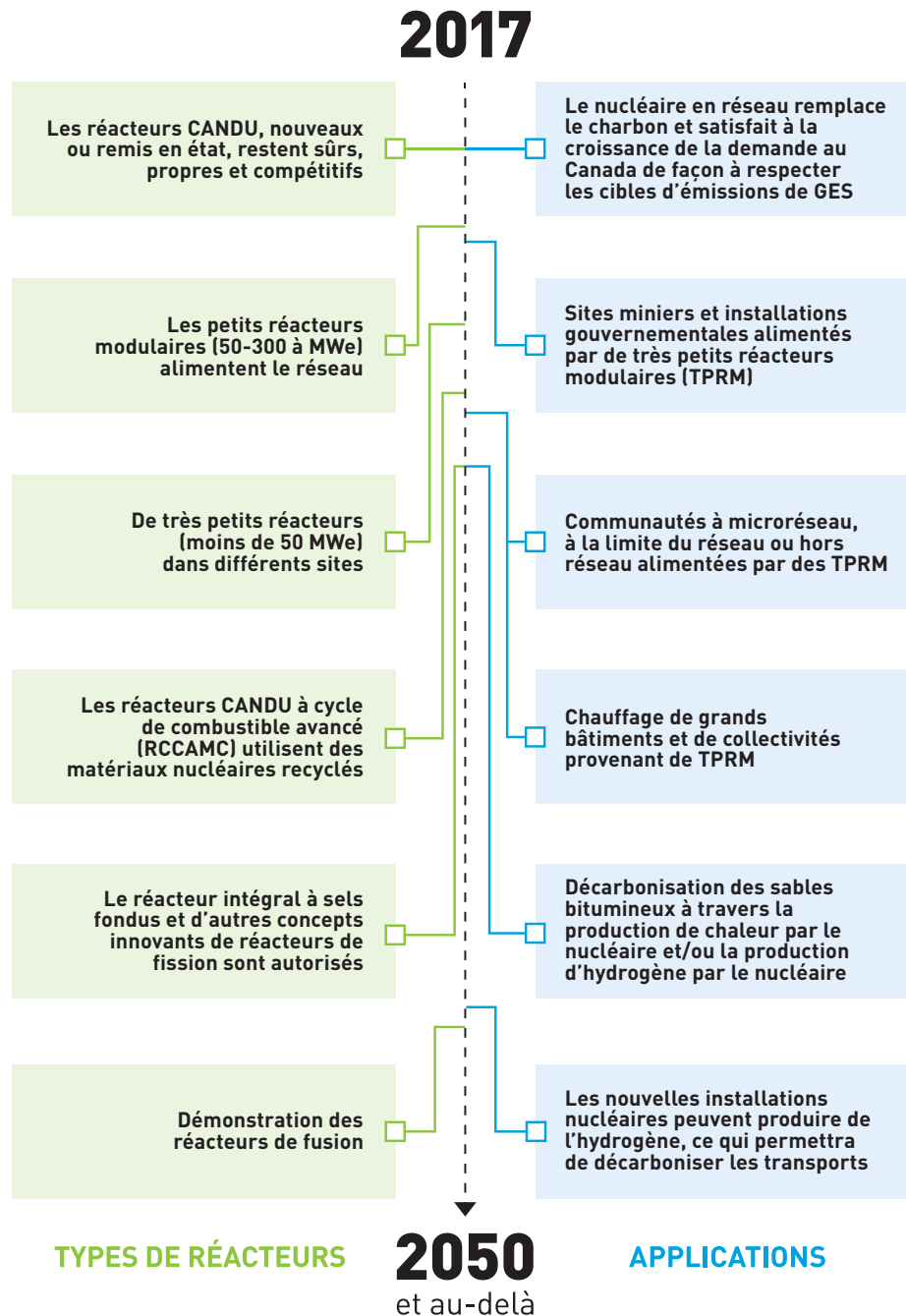
Ces activités visent à placer plusieurs pierres de l'édifice de notre industrie – c'est-à-dire notre chaîne d'approvisionnement manufacturière, nos métiers spécialisés et notre main-d'œuvre hautement qualifiée, de même que nos experts en sécurité et en réglementation – au sommet de leur art dans la prochaine décennie. Cet horizon coïncide avec les occasions nationales et internationales d'acquisition de nouveaux parcs de réacteurs. Cette acquisition pourrait se faire dans toute avenue proposée, sinon dans les trois avenues de notre vision.

ATTENDRE QUE L'OCCASION SE PRÉSENTE À UN CERTAIN POINT DE LA DÉCENNIE 2020 SERA TROP TARD. NOUS DEVONS NOUS MOBILISER ET NOUS PRÉPARER DÈS AUJOURD'HUI.

La capacité supérieure du Canada en matière de technologie nucléaire deviendra une franche occasion de procurer une énergie durable et propre à la planète. Le Canada aura effectivement la puissance énergétique lui permettant d'atteindre les cibles qu'il s'est fixées dans l'Accord de Paris et d'aider le reste de la planète à faire de même. Or attendre ce moment-là pour nous positionner sera trop tard. Nous devons nous mobiliser et nous préparer dès aujourd'hui.

4. VISION DE L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE EN 2050

En août 2017, l'Association nucléaire canadienne a déposé un mémoire en réponse à la consultation de Génération Énergie du gouvernement du Canada. Ce mémoire, disponible sur le portail de Génération Énergie, incluait cette présentation de notre vision de l'énergie nucléaire du Canada en 2050.



Cette section montre comment notre vision peut se concrétiser à travers trois grandes avenues technologiques, présentées brièvement dans la figure ci-dessous.

L'annexe D sur les systèmes d'énergie hybrides et d'autres applications du nucléaire fournit des renseignements complémentaires à cette section.

LE FINANCEMENT

Il est notoire dans les milieux technologiques que le financement est l'un des principaux obstacles à la production d'un bien pour un utilisateur. Plus une innovation technologique est audacieuse, plus il est difficile de trouver un modèle de financement capable de traverser la fameuse « vallée de la mort » séparant l'invention de la commercialisation.

Nous reconnaissons l'importance des modèles de financement et des relations pour notre vision. Nous reviendrons d'ailleurs sur la question à la section 5.

TABLEAU 1 – RÉSUMÉ DES GRANDES AVENUES TECHNOLOGIQUES

| Avenue | 2035 | 2050 |
|-------------------------------------|---|---|
| Énergie électrique en réseau | <p>Les Canadiens continuent de recevoir une énergie propre, fiable et abordable fournie au réseau électrique par la technologie nucléaire canadienne.</p> <p>Nos effectifs et notre chaîne d'approvisionnement sont en pole position du marché en raison des 25 milliards de dollars investis dans la remise à neuf d'unités nucléaires en Ontario.</p> <p>De nouveaux réacteurs sont mis en service dans plusieurs provinces, et les populations en ressentent déjà les effets positifs.</p> <p>Un partenariat public-privé a été conclu pour construire un nouveau réacteur dédié à la recherche.</p> | <p>Un parc de réacteurs nucléaires installés à travers le pays a remplacé des centrales électriques alimentées par des combustibles fossiles, et a contribué à augmenter la production d'électricité nécessaire pour la décarbonisation du Canada.</p> <p>Le nucléaire a activement soutenu l'intégration des énergies renouvelables et de la technologie de stockage dans le portefeuille énergétique, tout en préservant la robustesse et la fiabilité des réseaux.</p> <p>Les investissements dans les sciences et la technologie, notamment un réacteur de recherche, permettent d'améliorer les concepts et de déployer les réacteurs de prochaine génération.</p> |
| Collectivités éloignées | <p>Un parc de petits réacteurs à composantes canadiennes répond aux besoins sociaux, énergétiques et économiques de plusieurs dizaines des quelque 300 collectivités les plus éloignées du Canada.</p> <p>Les capacités auxiliaires nécessaires et la capacité de déploiement du parc, y compris la fabrication des réacteurs en usine, l'enrichissement et le retraitement du combustible, ainsi que la logistique ont été testées, construites et sont en service.</p> | <p>Le Canada possède une industrie qui conçoit, exploite et entretient de très petits réacteurs pour des clients nationaux et internationaux. Il retire des avantages économiques de sa participation à une chaîne d'approvisionnement internationale en petits réacteurs.</p> <p>La majorité des collectivités éloignées du Canada ont connu une nette amélioration de la qualité de vie parce qu'elles ont accès à une énergie abondante, propre et abordable provenant de parcs de petits réacteurs.</p> |

| Avenue | 2035 | 2050 |
|---|--|---|
| Industries primaires sobres en carbone | <p>Le Canada a progressé dans la réalisation de ses engagements dans l'Accord de Paris tout en préservant ses atouts économiques. Pour cela, il a commencé par décarboniser les procédés d'exploitation de ses ressources clés (comme l'extraction des sables bitumineux et les projets miniers éloignés dans le Nord), pour les remplacer par une énergie nucléaire propre.</p> | <p>Les projets d'exploitation des ressources et le développement humain qui en découle ont connu un grand essor dans le Nord du Canada, rendu possible par une offre énergétique propre et abordable provenant de petits réacteurs nucléaires de pointe.</p> <p>Les émissions de carbone du Canada baissent, et l'image de marque mondiale du Canada dans les industries primaires est plus forte et plus verte.</p> <p>Le Canada offre une technologie de pointe pour une énergie propre aux industries des autres pays.</p> |
| Déchets | <p>Les décisions politiques et réglementaires ayant été prises en temps utile avant 2020, le Canada a une stratégie nationale bien élaborée pour gérer tous ses déchets radioactifs. Les plans pour les sites de stockage permanents sont bien avancés.</p> | <p>Pour stocker les déchets radioactifs, le Canada a des solutions permanentes soutenues par la communauté locale et par le public, et qui fonctionnent bien et en toute sécurité.</p> |

UNE NOTE SUR L'ÉNERGIE DE FUSION

Les systèmes actuels d'énergie nucléaire utilisent la fission nucléaire (éclatement des atomes). Les systèmes de fusion nucléaire (fusion des atomes), lorsqu'ils fournissent une énergie positive nette durable, devraient offrir des avantages par rapport à la fission, notamment la production de déchets plus sûrs et en plus petites quantités.

Comme ils le font depuis des décennies dans le domaine de la technologie de la fission nucléaire, les chercheurs canadiens et l'industrie font des progrès importants dans la conceptualisation, la conception et la commercialisation de systèmes d'énergie de fusion concrets. Selon notre vision, d'ici 2050, des réacteurs de fusion concrets auront fait leurs preuves et seront de sérieux candidats pour le déploiement de l'énergie nucléaire de prochaine génération dans le monde.

Le Canada pourrait jouer un rôle important en montrant la voie à suivre dans la technologie des réacteurs à fusion au cours des prochaines décennies, notamment dans le domaine des petits réacteurs modulaires à fusion. Ces concepts audacieux à plus long terme correspondent bien à notre vision à court et à moyen terme du nouveau nucléaire au Canada.

AVENUE 1 – ÉNERGIE ÉLECTRIQUE EN RÉSEAU

Pour atteindre les objectifs de réduction des émissions de GES du Canada, plusieurs provinces devront prendre des décisions concernant le remplacement de leurs parcs de centrales de charbon et leur capacité de répondre à la demande croissante d'électricité découlant de l'électrification de l'industrie élargie. La Saskatchewan, l'Alberta, l'Ontario et le Nouveau-Brunswick devront peut-être se demander en quoi le nucléaire peut les aider à réaliser leurs objectifs en matière de gaz à effet de serre (GES) à court et à moyen terme. La nouvelle énergie nucléaire en réseau pourra provenir de grands réacteurs, comme le CANDU 6 amélioré, de grands réacteurs à eau ordinaire ou de petits réacteurs modulaires.

Les réacteurs CANDU sont la seule solution d'énergie nucléaire au monde à utiliser de l'uranium naturel, donnant ainsi aux clients l'accès aux marchés mondiaux et à nettement plus de fournisseurs de combustibles. Les réacteurs CANDU 6 (EC6) améliorés sont livrés sans technologie d'émissions de liquide radioactif et produisent très peu de dioxyde de carbone et pas d'oxyde d'azote, de dioxyde de soufre, de métaux lourds toxiques, d'aérosols, d'émissions d'ozone ou autres. En remplaçant le charbon traditionnel, la technologie CANDU permet d'économiser 13 millions de tonnes de dioxyde de carbone par année, ou 6 millions de tonnes en cas de substitution du gaz naturel. De plus, l'EC6 est conçu pour dépasser les normes de sécurité post-Fukushima.

Il y a actuellement 47 réacteurs CANDU ou de type CANDU en service dans le monde. Le réacteur EC6 a réussi la phase finale (phase 3) de l'examen préalable de conception de la Commission canadienne de sûreté nucléaire et est prêt à être déployé chez les exploitants qui exigent des marges de sécurité élevées de même qu'une construction réalisée dans les délais et les budgets, et qui est le gage d'un rendement élevé, de compétitivité économique et de fiabilité opérationnelle.

Pour les installations en réseau, les petits réacteurs modulaires (PRM) susceptibles d'être déployés sont ceux de la gamme de 100 à 300 MWe. Les principaux avantages des PRM en réseau sont les suivants :

- Possibilité d'accroître la capacité progressivement si la demande augmente, plutôt que de construire une grande centrale pour répondre à une future hausse de la demande;
- Compatibilité de la taille de l'infrastructure du réseau dans les régions peu peuplées.

Plusieurs modèles de PRM sont plus proches de la commercialisation que d'autres, les concepts basés sur la technologie à eau ordinaire étant les plus susceptibles d'être commercialisés à court terme. Comme de nouvelles centrales nucléaires devraient être nécessaires d'ici le milieu de la décennie 2030, le Canada vaudra établir des critères rigoureux de sélection des technologies à utiliser.

Ces critères devraient procéder de l'objectif de réduire les risques nouveaux au minimum, d'aider la chaîne d'approvisionnement des PRM à s'implanter au Canada et de faciliter leur entrée dans les marchés étrangers. Pour limiter les risques le plus possible, les critères pourraient se décliner ainsi :

- Utiliser des évolutions des technologies existantes commercialement viables basées sur une technologie éprouvée;
- Choisir des concepts pouvant franchir les processus réglementaires dans des délais adéquats;
- Choisir des concepts bien avancés dans le déploiement commercial.

La compétitivité économique est un élément important à prendre en considération dans le nouveau nucléaire en réseau. Il est attendu que le nouveau nucléaire soit compétitif par rapport à d'autres formes de production comparables une fois les coûts du carbone pris en compte. En ce qui concerne le déploiement des PRM en réseau au Canada, les synergies des parcs en matière de modèles de fonctionnement, de formation et de chaîne d'approvisionnement seront un aspect clé de la compétitivité économique.

AVENUES 2 ET 3 – INSTALLATIONS ÉLOIGNÉES POUR LE DÉVELOPPEMENT DE RESSOURCES PROPRES ET POUR LES COLLECTIVITÉS

De nombreuses régions au Canada (et dans le monde) n'ont pas accès à une énergie propre et à faibles émissions de gaz à effet de serre (GES) provenant d'une source fiable, ou de quelque source que ce soit. Les petits réacteurs modulaires (PRM) peuvent fournir une telle énergie. Ils ont une capacité électrique inférieure à celle de la plupart des réacteurs électronucléaires courants, soit entre 1 MW et 300 MW, et ils sont modulaires et à la construction et au déploiement.

Le Canada est un pays très riche en ressources naturelles (par exemple, les sables bitumineux du bassin Athabaska contiennent des réserves de pétrole équivalent à environ 165 années de la production actuelle). Dans un monde de contrôle des émissions de carbone, les Canadiens, notamment, devront trouver des moyens d'extraire, de transformer et d'exploiter ces ressources en émettant que peu, voire pas de carbone, pour peu que nous voulions vraiment les exploiter. Et même si l'on pense que les humains finiront par abandonner de telles ressources, un vaste marché mondial de l'innovation dans ce domaine sera encore nécessaire, ne serait-ce qu'en attendant que nous les utilisions moins.

RÉPONDRE AUX BESOINS DES COLLECTIVITÉS, DU GOUVERNEMENT ET DU MONDE

De nombreux concepts de PRM en développement fourniraient de l'énergie à une échelle correspondant non seulement aux besoins actuels des régions éloignées du Canada, mais également à la hauteur de leur potentiel économique, éliminant ainsi les obstacles à leur croissance. Et les PRM pourraient répondre aux besoins des collectivités éloignées, mais également à ceux des industries d'extraction éloignées, comme l'exploitation minière et les sables bitumineux.

Les objectifs que s'est donnés le gouvernement, soit réduire l'utilisation du diesel dans le Nord (en raison de la qualité de l'air local et des émissions de GES), améliorer la qualité et la sécurité de l'énergie, et stimuler le développement économique, pourraient se concrétiser à long terme grâce aux PRM plutôt que par les solutions prévisibles.

En ce qui concerne le déploiement rapide de PRM, le Canada est déjà reconnu aux États-Unis, au Royaume-Uni et ailleurs comme un marché et un milieu de réglementation particulièrement favorables. Si le Canada se positionne rapidement comme figure de proue, il pourra s'assurer une part considérable du marché mondial des PRM, lequel représente entre 400 et 600 milliards de dollars (référence 9), dans les autres pays grands/arctiques, les collectivités de petites îles et d'autres régions où les populations vivent hors réseau ou ne sont pas desservies par un réseau électrique fiable.

AU-DELÀ DE L'ÉLECTRICITÉ

Les concepteurs de PRM ciblent des applications non électriques telles que la production d'hydrogène (un combustible propre pour les transports et le stockage d'énergie), le chauffage centralisé, le dessalement de l'eau marine, le jumelage à des systèmes de stockage d'énergie et la production de chaleur à des fins industrielles, notamment pour l'extraction et la mise en valeur des sables bitumineux, la production d'acier et les procédés de production chimique.

La température de sortie, la puissance thermique et électrique nécessaire ainsi que le marché cible de telles applications sont tous des facteurs qui influenceront la conception du réacteur le plus à même d'offrir les meilleures retombées humaines, sociales et environnementales dans chaque cas.

LA MOBILISATION DES COLLECTIVITÉS ET LA MATURITÉ TECHNOLOGIQUE

Les technologies de PRM vont des réacteurs déployables immédiatement à ceux pouvant être mis en œuvre à moyen et à long terme (c'est-à-dire de 2030 à 2050, et au-delà) [référence 10]. La plupart des développeurs qui veulent répondre aux besoins des Canadiens devront être outillés davantage pour faire face aux risques économiques, réglementaires et techniques.

Pour toute application, il faudra réaliser des progrès constants dans des domaines tels que la cybersécurité; les systèmes de sécurité; l'octroi de permis pour de nouveaux concepts innovants; la réduction des coûts d'exploitation; la main-d'œuvre hautement qualifiée; la non-prolifération et les mesures de protection; et la gestion des déchets et des combustibles.

La mobilisation des collectivités et l'acceptation sociale aux échelles locale, provinciale ou territoriale et nationale seront un point de départ. Des collectivités éloignées au Canada ont souvent eu une mauvaise expérience avec des industries qui s'installent et repartent peu après; nous devons ainsi commencer par discuter de leurs besoins et de leurs attentes, qui pourraient être très différents de ceux des grands centres.

DEUX AVENUES DE DÉPLOIEMENT AYANT DES ÉLÉMENTS COMMUNS

Deux applications différentes sont envisagées pour les PRM en milieu éloigné : le déploiement dans des collectivités éloignées et une source d'énergie propre pour extraire les ressources naturelles du Canada. Comme les technologies utilisées dans ces deux applications peuvent être identiques, leurs avenues de développement peuvent se croiser. Ce qui distingue fondamentalement les deux avenues est le temps d'acceptation sociale et, par conséquent, de déploiement complet, qui devrait être plus long dans le cas des collectivités.

Le déploiement comporte quatre phases :

1. Démonstration de PRM;
2. Premier déploiement dans un site public éloigné, tel qu'une base militaire;
3. Déploiement pour l'extraction de ressources en régions éloignées, par ex. une mine;
4. Déploiement dans les collectivités éloignées.

Il est prévu que l'industrie de l'extraction des ressources en régions éloignées adopte ces technologies avant les autres collectivités éloignées, principalement parce que les applications pour l'extraction de ressources intéressent probablement plus un client isolé ou unique, ce qui facilite et l'acceptation et l'acquisition. Les PRM qui répondent aux besoins de l'industrie minière, notamment en ce qui touche les coûts et les calendriers de déploiement, pourraient être adoptés relativement plus vite, peut-être dans les années 2020, après une démonstration concluante de la technologie.

Les projets antérieurs ont permis à l'industrie nucléaire mondiale de tirer de bonnes leçons sur la façon de réduire les risques des nouveaux concepts, ce qui augmente les chances des centrales de prochaine génération d'être construites dans les délais et les limites du budget. Ces leçons touchent de nombreux aspects, notamment l'optimisation de la conception, la gestion de projet, la résilience de la chaîne d'approvisionnement et les relations avec les organismes de réglementation [référence 13].

Le chemin à parcourir d'ici à 2026, commun aux deux avenues de déploiement, est très court. Pour le parcourir, il faut commencer le travail dès maintenant. Voici un exemple de calendrier :

- Sélection d'un modèle ou de plusieurs modèles de PRM à des fins de démonstration (2020) [reconnaître l'impérative participation du gouvernement à l'établissement des critères de sélection des technologies à utiliser];
- Soumission des demandes de permis pour la démonstration de PRM : permis de préparation du site, évaluation de l'impact sur l'environnement, permis de construire, permis d'exploitation (2020-2025);
- Début de la construction du PRM de démonstration (2024);
- Début de l'exploitation du PRM de démonstration (2026-2027);
- Sélection du premier site pour un déploiement rapide (début des années 2020);
- Soumission subséquente des demandes de permis, pour la construction et l'exploitation (2032) du premier déploiement, notamment l'infrastructure auxiliaire connexe telle que la fabrication du réacteur en usine, la mise en valeur et le retraitement du combustible (en fonction du cycle ou des cycles du combustible choisi) et la logistique du transport.

Respecter un tel calendrier exige du leadership, mais aussi une mobilisation et une coordination élargies entre les nombreuses parties prenantes : les collectivités hôtes potentielles et le grand public, le gouvernement fédéral, les concepteurs de réacteurs, les exploitants de réacteurs, la chaîne d'approvisionnement, la CCSN, les provinces, les territoires et les peuples autochtones. En offrant un lieu de travail que les collectivités et autres parties prenantes peuvent visiter et découvrir, le réacteur de démonstration jouera un rôle important dans cette campagne de sensibilisation et de mobilisation.

L'EXTRACTION DE RESSOURCES EN RÉGIONS ÉLOIGNÉES

Pour aider au mieux les Canadiens qui travaillent dans le secteur des ressources sur des sites éloignés, les petits réacteurs modulaires (PRM) et les très petits réacteurs modulaires (TPRM) devront être modulaires et transportables en vue d'une construction minimale sur place.

Pour respecter le délai de mise au point d'une ressource typique (telle qu'une nouvelle mine), le temps de déploiement d'un petit réacteur – de la conception à l'exploitation, en passant par l'octroi des permis et la construction – doit être réduit par rapport au temps qui fut nécessaire lors de récents projets de grands réacteurs.

De plus, la durée de vie du réacteur doit correspondre à celle de la mine (ou le réacteur doit pouvoir être transporté dans un nouveau site afin d'être exploité jusqu'à la fin de son cycle de vie).

TABLEAU 2 – AVENUE DE L'ÉNERGIE PROPRE POUR L'EXTRACTION DE RESSOURCES EN RÉGIONS ÉLOIGNÉES

| | |
|-------------|--|
| 2026 | <ul style="list-style-type: none"> ▪ La viabilité commerciale du PRM a été démontrée. ▪ Le premier PRM de démonstration a été construit et sa mise en service est en cours. |
| 2030 | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Le premier PRM de démonstration fonctionne bien depuis plusieurs années. ▪ Le premier déploiement de TPRM dans les régions canadiennes est un succès. ▪ Le gouvernement du Canada étant le premier client de ces technologies, au moins deux infrastructures publiques éloignées sont presque décarbonisées grâce à de TPRM. ▪ Après le succès obtenu dans des sites du gouvernement du Canada, des TPRM ont été déployés à plusieurs autres endroits au Canada, et des infrastructures auxiliaires sont en place. ▪ Des concepts plus évolués ont été développés et sont prêts pour la démonstration. |
| 2050 | <ul style="list-style-type: none"> ▪ De TPRM ont été déployés à grande échelle sur des sites d'extraction de ressources en régions éloignées hors réseau. ▪ Les TPRM sont une source d'énergie de choix pour tout nouveau projet d'exploitation de ressources. ▪ Exportation : l'industrie canadienne des PRM alimente un marché mondial dynamique de ces réacteurs; leurs composantes développées et fabriquées au Canada sont exportées et installées dans des centaines de PRM dans le monde. ▪ Des concepts plus évolués ont fait l'objet de démonstration et sont prêts à être déployés. |

LES COLLECTIVITÉS ÉLOIGNÉES

Le Canada compte environ 319 collectivités éloignées (référence 11). La plupart des centrales électriques, soit 96 %, desservant les collectivités hors réseau du Canada utilisent des combustibles fossiles, tandis que les 4 % restants utilisent l'énergie hydroélectrique (généralement avec des générateurs diesel de secours). Comme bon nombre de ces collectivités sont peu peuplées, leurs besoins énergétiques sont faibles.

Cependant, leurs besoins en électricité varient considérablement; l'écart entre la charge de base et le pic de demande peut être grand. La fiabilité est une exigence cruciale, car la perte de courant peut avoir des conséquences désastreuses dans une collectivité isolée pendant les mois d'hiver. Généralement, la capacité installée dépasse donc largement la demande moyenne d'une collectivité.

La plupart de ces collectivités ont actuellement une capacité variant entre 0,1 et 2 mégawatts d'électricité (MWe), laquelle peut augmenter à mesure qu'elles se développent, s'il y a lieu. En outre, si une source d'électricité plus fiable et moins coûteuse était disponible, différentes activités sociales et économiques deviendraient normalement plus viables et la consommation d'électricité augmentera en conséquence – le reflet, en général, du potentiel humain se concrétisant.

De toute évidence, cela ne se produira que là où les Canadiens accepteront que la réponse à leurs besoins et aspirations réside dans les technologies nucléaires. Le fait que le nucléaire fonctionne dans certains endroits du Canada – à commencer par les provinces où il fournit déjà de l'électricité propre, fiable et abordable – aura probablement du poids, mais en fin de compte, il revient aux Canadiens de prendre leurs propres décisions à la lumière d'une information juste, objective et complète sur les options énergétiques, notamment le nucléaire, qui leur sont proposées.

TABLEAU 3 – AVENUE VERS UNE ÉNERGIE PROPRE POUR LES RÉGIONS ÉLOIGNÉES

| | |
|-------------|--|
| 2026 | <ul style="list-style-type: none"> ■ La viabilité commerciale du PRM est démontrée. ■ Le premier PRM de démonstration a été construit et sa mise en service est en cours. <p><i>La phase de démonstration est la même que pour l'application à l'extraction de ressources ci-dessus.</i></p> |
| 2030 | <ul style="list-style-type: none"> ■ Le premier PRM de démonstration fonctionne bien depuis plusieurs années. ■ Le premier déploiement de TPRM dans les régions canadiennes est un succès. <ul style="list-style-type: none"> ■ Le gouvernement du Canada étant le premier client de ces technologies, au moins deux infrastructures publiques éloignées sont presque décarbonisées grâce à de TPRM. <p><i>Cette phase de déploiement précoce est la même que pour l'application à l'extraction de ressources ci-dessus.</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Les collectivités hôtes potentielles du premier déploiement ont été identifiées et observent l'évolution de ces possibilités. |
| 2050 | <ul style="list-style-type: none"> ■ Des PRM ont été déployés dans bon nombre de collectivités éloignées hors réseau ou dans la plupart d'entre elles. ■ Les TPRM sont une source d'énergie de choix dans tout nouveau projet énergétique. ■ Exportation : l'industrie canadienne des PRM alimente un marché mondial dynamique de ces réacteurs; leurs composantes développées et fabriquées au Canada sont exportées et installées dans des centaines de PRM dans le monde. ■ Les concepts de niveau de maturité technologique (NMT) ont été démontrés et sont prêts à être déployés. |

LA GESTION DES DÉCHETS RADIOACTIFS

Les déchets radioactifs du Canada sont bien gérés aujourd'hui. Non seulement notre flux de déchets est extrêmement faible, mais le secteur nucléaire est le seul de l'industrie de l'énergie qui prend en charge le coût de ses impacts en l'intégrant dans le prix de son produit énergétique. Par conséquent, le nucléaire est la seule industrie de l'énergie à ne pas avoir de problème de déchets ou, du moins, les déchets nucléaires sont mieux gérés que ceux de toute autre industrie, même si l'on nous demande constamment d'expliquer comment nous prévoyons d'atténuer notre problème de déchets.

Le Canada a des organisations et des forums efficaces qui travaillent activement à trouver des solutions encore meilleures et plus durables pour les déchets. Il s'agit notamment de la Société de gestion des déchets nucléaires, de l'ancien Forum sur le leadership nucléaire (2012-2016) et du Forum sur le leadership en matière de déchets radioactifs. Afin de développer des solutions techniques à très long terme pour les dépôts de déchets, nous observons comment des dépôts analogues naturels (tels que les dépôts naturels de cuivre et de bentonite) se comportent sur des centaines de milliers d'années.

Notre vision est que le Canada soit doté, bien avant 2035, d'une stratégie nationale coordonnée pour gérer tous ses déchets radioactifs. Et qu'avant 2050, il dispose aussi, pour stocker les déchets radioactifs, de solutions permanentes soutenues par la communauté locale et le public, et qui fonctionnent bien et en toute sécurité.

LES ACQUIS ET AMÉLIORATIONS NÉCESSAIRES

Il existe un consensus international à l'Agence pour l'énergie nucléaire de l'OCDE et à l'Agence internationale de l'énergie atomique quant aux normes de bonne gestion des déchets radioactifs. Des installations de stockage efficaces et performantes existent dans plusieurs pays (France, Suède, Finlande).

L'industrie nucléaire du Canada a le savoir, la technologie et les ressources financières nécessaires s'occuper efficacement de ses déchets. Mais des décisions fermes sont très attendues du gouvernement, de sorte que nous puissions avoir des installations fonctionnant dans les délais requis. Sans la volonté politique de prendre ces décisions, la capacité de gestion des déchets de notre industrie est sous-exploitée, donc perdue pour ainsi dire.

5. PASSAGE À L'ACTION

L'industrie nucléaire canadienne est prête à contribuer au déploiement et à l'exploitation fructueux de parcs nucléaires, grands ou petits, où qu'ils soient installés.

Nous sommes également préparés à continuer d'investir dans le développement scientifique et technique, à obtenir des autorisations réglementaires, à trouver des capitaux sur les marchés financiers mondiaux, à positionner les travailleurs et les chaînes d'approvisionnement en vue de la réalisation de nouveaux programmes de construction, et plus encore.

La présente section relève certains aspects où les parties prenantes devraient cheminer ensemble pour multiplier les chances des Canadiens de tirer profit du nucléaire.

LE TEMPS PRESSE

Si le Canada veut atteindre ses objectifs internationaux en matière de décarbonisation, il est grand temps de lancer un nouveau programme nucléaire. Et le moment, c'est aujourd'hui même – mais pas pour longtemps. Perdre plus de temps signifie que les objectifs de réduction des émissions sont de moins en moins réalisables, que notre voie se rétrécit, que nos concurrents font du chemin dans l'espace qui est actuellement le nôtre. Il est grand temps de passer à l'action pour que le gouvernement, dans son orientation, puisse tirer profit des technologies nucléaires propres, au bénéfice de tous les Canadiens.

MAIS C'EST BIEN PLUS QU'UN PARI TECHNOLOGIQUE : PLUS IMPORTANTE ENCORE EST LA CAPACITÉ DE COMBLER DES BESOINS HUMAINS, SOCIAUX ET ENVIRONNEMENTAUX.

Passer à l'action signifie faciliter l'engagement des parties prenantes et leur dialogue, étudier nos options et nos solutions de rechange, et clarifier les attentes. Sur de nombreux fronts, le gouvernement fédéral peut utiliser son pouvoir de rassembleur pour créer les conditions d'un engagement et d'un dialogue efficaces et opportuns. Sur d'autres plans, les décideurs peuvent s'adresser à des experts en la matière dans les universités, les groupes de réflexion, les sociétés de conseil, l'industrie et ailleurs pour analyser la situation et recommander la meilleure conduite.

L'expérience acquise dans le cadre des programmes de nouvelle construction nucléaire permet de tirer parti du potentiel nucléaire, pour ainsi aider les Canadiens à cheminer dans chacune des trois avenues présentées dans ces lignes. En même temps, il est impératif de reconnaître que beaucoup de choses ont changé et que le contexte actuel rime avec de nombreuses forces et perspectives nouvelles. Mais c'est bien plus qu'un pari technologique : plus importante encore est la capacité de combler des besoins humains, sociaux et environnementaux. Nous vivons dans un monde où l'information, l'organisation industrielle, le gouvernement et l'engagement du public ne sont plus ce qu'ils ont été au cours des dernières décennies. La créativité fait de toute évidence partie de notre mentalité et de notre culture.

LA MOBILISATION

Les nouveaux projets énergétiques au Canada peinent à progresser. Le gouvernement en place s'implique fermement dans le volet réglementaire de la question, et l'industrie nucléaire a quant à elle discuté avec le gouvernement et des experts universitaires (référence 8). Or il faut se donner des mécanismes d'évaluation des impacts et de consultation qui, avant même le processus réglementaire, accordent une place de choix aux parties prenantes concernées.

Ces mécanismes doivent également reconnaître et refléter une vision élargie du concept de communautés d'intervenants. Bien que l'industrie ait un rôle important à jouer – et qu'elle tende la main aux collectivités aujourd'hui –, les gouvernements ont également une grande responsabilité : définir les conditions d'une mobilisation utile.

Le déploiement sur notre territoire de nouveaux réacteurs nucléaires est un précieux catalyseur de succès des ventes de l'industrie nucléaire canadienne à l'échelle internationale : les clients étrangers aiment quand un produit est acheté dans son propre marché. La chaîne d'approvisionnement locale du Canada est compétitive et prospérera si notre marché intérieur attire des technologies nucléaires d'origine étrangère.

LES CADRES DE COOPÉRATION INTERNATIONALE

La coopération entre les gouvernements est indispensable. Elle passe par la promotion du commerce, les politiques et pratiques relatives à l'investissement étranger, les programmes de science, de technologie et d'innovation (STI) à coûts partagés et, en particulier pour les questions nucléaires, les engagements et les accords internationaux en matière de sûreté, de sécurité et de mesures de protection. Ce sont là les bases essentielles pour que le Canada puisse tirer pleinement le potentiel du nouveau nucléaire dans chacune de ces trois avenues énergétiques.

Un bon cadre de coopération internationale est la réunion de plusieurs facteurs complémentaires, notamment des traités, des accords et des protocoles d'entente, les relations entre les gouvernements et les industries et les liens informels, les comités multilatéraux et d'autres forums de dialogue réguliers. Avec un tel cadre, l'industrie nucléaire canadienne est plus à même d'accéder aux débouchés du marché international, d'obtenir des capitaux d'investissement, de participer aux chaînes de valeur mondiales, de localiser les technologies nucléaires de pointe et de dénicher des travailleurs hautement qualifiés.

Les actuels cadres de coopération internationale au Canada sont un atout sur lequel miser pour multiplier les retombées. La coopération ciblée en matière d'énergie nucléaire en Amérique du Nord, avec l'Europe et avec la région Asie-Pacifique sera un facteur déterminant de la réussite du lancement, par le Canada, de nouveaux programmes nucléaires dans les trois avenues. Or un dialogue en temps utile et continu entre le gouvernement et l'industrie est impératif si le Canada veut tirer le meilleur parti de ses cadres internationaux.

LES MODÈLES D'EXPLOITATION

L'énergie nucléaire la plus actuelle est le fruit d'un seul modèle d'exploitation. Ce modèle définit le rôle du propriétaire du réacteur, de l'exploitant, du titulaire de permis nucléaire et du client.

Bien que ce modèle bien compris demeure pertinent dans la voie de l'énergie électrique en réseau, il est moins évident d'affirmer qu'il fonctionnera pour les deux autres avenues. Par exemple, il est très peu probable que l'industrie primaire et les services publics territoriaux aient la capacité et les moyens d'assumer la responsabilité à titre de propriétaire ou de titulaire de permis de parcs de réacteurs nucléaires. Les collectivités nordiques et autochtones ont également eu nombre de mauvaises expériences dans le passé avec des industries qui leur ont promis des retombées qui ne sont jamais concrétisées. Il est normal de penser que ces collectivités douteront de la capacité du secteur privé à tenir des engagements, sur plusieurs décennies, à exploiter et à démanteler les réacteurs en toute sécurité sur leur territoire.

Se donner de nouveaux modèles d'exploitation créatifs, novateurs et adaptés aux réalités de chacune des avenues énergétiques s'imposera probablement.

LE CYCLE DU COMBUSTIBLE ET LA GESTION DES DÉCHETS

Les attentes et les limites imposées sur la question des cycles, de l'enrichissement, du recyclage du combustible des réacteurs et la gestion du combustible épuisé figurent parmi les plus grands défis et les plus grandes perspectives des nouveaux programmes nucléaires. Mais ce pourrait bien être aussi un terreau d'innovation spectaculaire pour chacune des trois avenues de l'énergie nucléaire du Canada. Il faudra une ouverture d'esprit et de la créativité pour arrimer la réalité d'aujourd'hui avec les possibilités de demain.

Le dialogue et l'engagement des parties prenantes, facilités par le gouvernement fédéral, sont nécessaires pour déterminer s'il y a lieu d'établir des attentes nationales en ce qui concerne le cycle du combustible et les options de gestion des déchets et, le cas échéant, de les fixer. Il semble que ce soit là un domaine où les conseils d'experts de tiers tels que l'EACL, les LNC, SNC-Lavalin, le Conseil des académies canadiennes ou d'autres organismes seraient utiles.

IL FAUT RAPIDEMENT INSTAURER UN DIALOGUE SUR LES COÛTS CIBLES DE L'ÉNERGIE DANS UNE FILIÈRE ÉNERGÉTIQUE DÉCARBONISÉE. LES COÛTS CIBLES AIDERONT À ORIENTER ET À STIMULER L'INVESTISSEMENT DE L'INDUSTRIE DANS LE DÉVELOPPEMENT TECHNOLOGIQUE ET L'INNOVATION. ILS SONT ÉGALEMENT UN ÉLÉMENT ESSENTIEL QUI PERMETTRA À L'INDUSTRIE D'OBTENIR DES CAPITAUX D'INVESTISSEMENT.

L'ABORDABILITÉ

Beaucoup considèrent le coût de l'énergie comme un enjeu majeur dans la quête du gouvernement fédéral de décarboniser sa filière énergétique. En fin de compte, si les Canadiens estiment que l'énergie qu'ils consomment n'est pas abordable, il sera très difficile pour les gouvernements d'apporter le soutien politique nécessaire pour faire avancer les programmes de décarbonisation.

Les nouvelles technologies nucléaires permettent de fournir de l'énergie à moindre coût. L'annexe C présente les principaux facteurs d'abordabilité. Toutefois, l'industrie est d'avis qu'il faut dès maintenant entamer le dialogue avec les gouvernements, l'industrie et les consommateurs sur les coûts cibles de l'énergie dans une filière énergétique décarbonisée. Les coûts cibles aideront à orienter et à stimuler l'investissement de l'industrie dans le développement technologique et l'innovation. Les coûts cibles sont également un élément essentiel qui permettra à l'industrie de prévoir le rendement des investissements et d'obtenir des capitaux d'investissement.

LA RÉGLEMENTATION

La Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN) est respectée dans le monde entier pour sa capacité à établir et à faire appliquer des normes très élevées en matière de sûreté et de sécurité pour l'autorisation des centrales nucléaires. Elle est également reconnue pour l'information claire qu'elle donne à l'industrie sur les exigences de la réglementation et les procédures à suivre pour obtenir une autorisation réglementaire.

Les normes de notre organisme de réglementation sont élevées et, compte tenu de la clarté de ses attentes envers l'industrie, de nombreux fournisseurs nucléaires internationaux font appel à la CCSN pour pouvoir accéder à ses processus réglementaires. Un organisme de réglementation compétent, fort, de bonne réputation et indépendant est un atout indéniable pour l'industrie.

À l'avenir, le gouvernement devra s'assurer que la CCSN a la capacité d'assumer ses responsabilités réglementaires face à la hausse de la demande de ses services. Il sera également important que les communautés de parties prenantes soient informées des normes de sécurité approuvées par la CCSN et aient la possibilité de les critiquer.

L'APPROVISIONNEMENT

À un certain point, et probablement plusieurs fois, des achats seront effectués pour la construction de nouveaux réacteurs dans le cadre des nouveaux programmes nucléaires du Canada. Il sera judicieux de faire savoir clairement à l'industrie, le plus tôt possible, les processus et les attentes en matière d'approvisionnement.

Il faudra ainsi répondre à de nombreuses questions, notamment : Y aura-t-il de la concurrence? Quels seront les critères de sélection? Quel est le calendrier d'approvisionnement? Y aura-t-il d'autres exigences, telles que la localisation? Etc. Il est très important d'ouvrir rapidement le dialogue pour discuter des options du processus d'approvisionnement et des attentes.

LA MAIN-D'ŒUVRE

La capacité de l'industrie à réaliser de nouveaux programmes nucléaires dépend d'un élément essentiel : les compétences et l'efficacité de sa main-d'œuvre. L'industrie a besoin de temps pour développer et préparer ses travailleurs. Les universités et les collèges ont eux aussi besoin de temps pour former les diplômés que l'industrie nécessite.

L'industrie nucléaire du Canada se trouve aujourd'hui dans une position très favorable, puisqu'elle a augmenté ses effectifs pour répondre aux exigences de remise à neuf des réacteurs nucléaires de l'Ontario. Ces travailleurs seront prêts à répondre aux demandes des nouveaux programmes nucléaires au cours des 5 à 10 prochaines années, à mesure que les travaux s'achèveront. Grâce à un dialogue approprié et à une planification précoce, le Canada peut se doter d'une main-d'œuvre nucléaire prête à relever les défis des nouveaux programmes nucléaires ambitieux qui aideront le gouvernement et les Canadiens à tirer pleinement parti des retombées humaines, sociales et environnementales du nucléaire au cours des prochaines décennies.

LA DÉMONSTRATION ET L'INNOVATION

Il est peu probable que les clients acceptent de nouveaux programmes nucléaires si la technologie n'est pas éprouvée, concrète et économiquement viable. Il faut donc un programme coordonné pour démontrer la technologie et en atténuer le risque avant une nouvelle construction.

Les Laboratoires nucléaires canadiens (LNC) sont bien placés pour assurer la démonstration de nouveaux concepts nucléaires et ont d'ailleurs commencé à discuter des possibilités de démonstration avec des fournisseurs de réacteurs et des gouvernements. La participation du gouvernement et de l'industrie à la coordination de ces activités apparaît nécessaire pour s'assurer que la démonstration de la technologie corresponde aux besoins des nouveaux programmes nucléaires.

6. LES RECOMMANDATIONS

L'énergie nucléaire est aujourd'hui un élément important de l'offre d'énergie propre du Canada et peut largement contribuer à satisfaire les obligations de lutte contre le changement climatique.

Faire progresser la technologie nucléaire est également important pour donner suite à d'autres priorités politiques, notamment :

- La fourniture d'un chauffage et d'une énergie propres et fiables aux collectivités éloignées;
- L'amélioration de la santé des Canadiens grâce à des applications médicales de pointe;
- La création d'emplois et la croissance économique par le développement du commerce national et des exportations;
- L'exportation de la décarbonisation vers les marchés en expansion dans le monde entier;
- Le maintien de la position de chef de file mondial du Canada – c'est-à-dire que les experts canadiens font autorité dans les discussions internationales sur la non-prolifération, la sûreté, les mesures de protection et la sécurité nucléaires.

Cela étant dit, toutes les parties prenantes doivent réaliser un travail de fond pour mettre en place les bases stratégiques, réglementaires, sociales et technologiques nécessaires au succès de la prochaine génération nucléaire au Canada.

Et il y a urgence de passer à l'action. Les diverses communautés d'intérêts canadiennes doivent adopter ou accepter les nouvelles technologies, et le faire suffisamment tôt pour arriver à faire la différence sur les émissions de GES, comme le prévoit l'Accord de Paris. Il est donc question de 2035, voire avant.

OÙ COMMENCER – ENSEMBLE

Les recommandations suivantes illustrent le point de départ.

1. Étant donné la double urgence d'agir – la nécessité de s'attaquer au changement climatique à l'échelle nationale et internationale, mais aussi de tirer le meilleur parti de l'actuelle position de chef de file et capacité du Canada à accueillir les nouvelles technologies de réacteur –, il faut un **ferme soutien à hauteur de politiques et de programmes** de la part des gouvernements fédéral et provinciaux pour placer le nucléaire au cœur de la stratégie canadienne en matière d'énergie propre. Cela inclut :
 - Des orientations politiques claires qui renforcent le positionnement du nucléaire comme important catalyseur d'un avenir énergétique propre pour le Canada, aux côtés des énergies renouvelables et d'autres sources d'énergie;
 - L'exercice d'une influence considérable du gouvernement et du premier ministre à l'échelle mondiale afin d'affirmer le rôle important de la technologie nucléaire en matière d'innovation, d'énergie propre, de durabilité, de croissance économique et de prospérité;
 - La reconnaissance du nucléaire au sein des forums sur les énergies vertes tels que la COP 21/23, Mission Innovation et la réunion ministérielle sur l'énergie propre;
 - Un soutien aux entreprises canadiennes dans le nucléaire en facilitant l'accès aux gouvernements et aux marchés étrangers, ainsi qu'à l'aide financière du Compte du Canada, d'Exportation et développement Canada et d'autres ressources gouvernementales;
 - Un soutien pour l'élaboration d'accords, l'obtention de permis et la conformité avec les exigences de sécurité pour l'exportation des technologies, de l'uranium et des combustibles nucléaires.

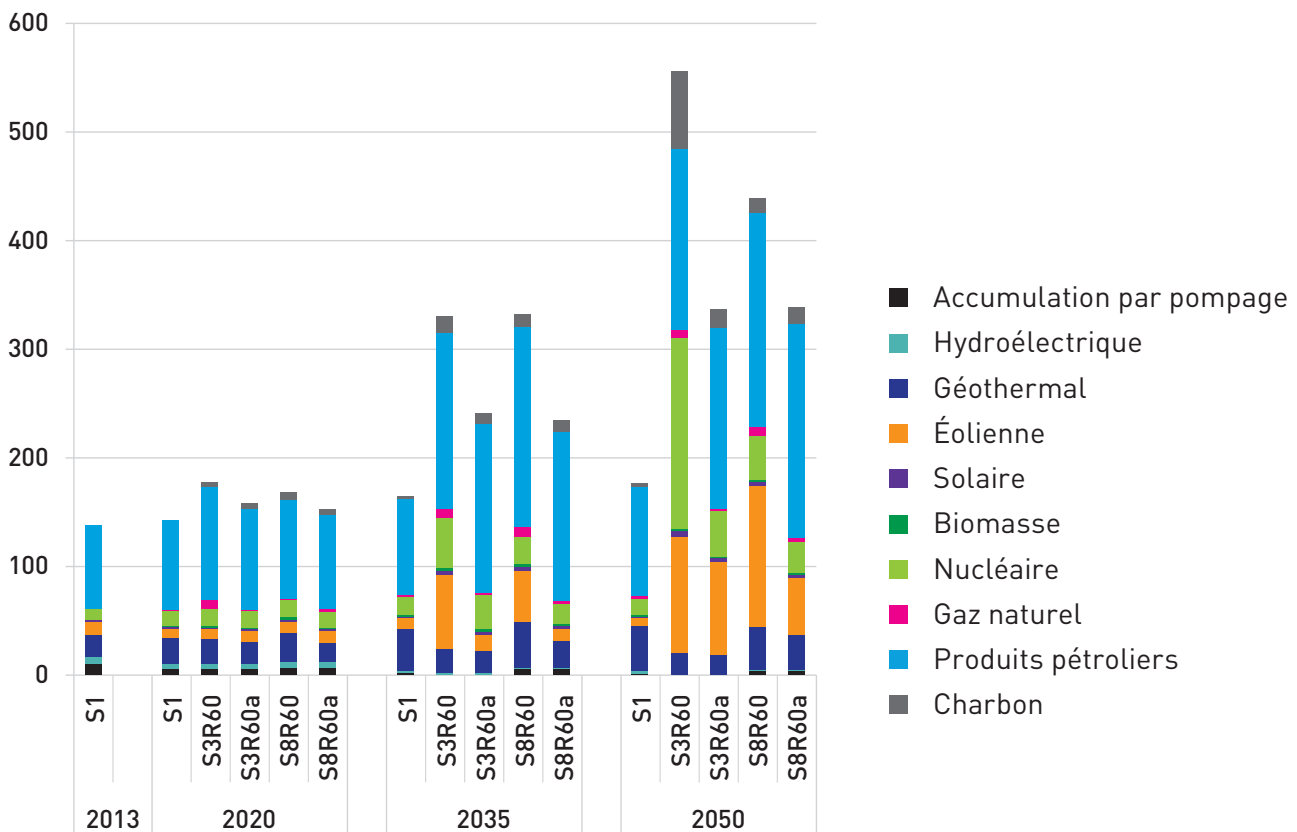
2. Étant donné l'importance de la science et de l'innovation comme moteurs de la prospérité à long terme du Canada, et le potentiel des PRM à contribuer fortement à la concrétisation des priorités en matière d'énergie propre dans le Nord, à la sécurité énergétique des peuples autochtones, au développement durable des ressources et à l'avenir de l'énergie propre à charge de base, il est nécessaire pour **l'industrie et les gouvernements d'investir dans l'innovation nucléaire**, notamment à travers :
- L'achat hâtif de très petits réacteurs en particulier par les gouvernements, pour les bases militaires ou d'autres installations, et ce, afin de réduire les risques du premier investisseur privé;
 - L'investissement de l'industrie et des gouvernements fédéral et provinciaux dans EACL et LNC pour la coordination pancanadienne de la recherche, du développement et de la démonstration de la technologie des PRM;
 - La création de mécanismes financiers pour le partage des risques entre les gouvernements et l'industrie dans le développement des nouvelles technologies, notamment des partenariats public-privé et des garanties financières;
 - L'engagement des parties prenantes et des utilisateurs finaux à toutes les phases du développement des technologies et du marketing pour s'assurer que l'innovation concorde avec les besoins et la demande;
 - La considération sérieuse de l'approche « du berceau à la tombe » dans le développement technologique, c'est-à-dire qui tient compte des coûts selon le cycle de vie entier, y compris l'imputabilité complète en matière de déchets et le mode d'intégration des combustibles utilisés par les nouvelles technologies à la stratégie générale de gestion des déchets du Canada.
3. Étant donné l'importance de la réconciliation avec les peuples autochtones, le potentiel de la technologie nucléaire à assurer la sécurité énergétique des collectivités éloignées, nordiques et autochtones, et la nécessité de prendre en compte les utilisateurs finaux et les autres parties prenantes à tous les stades de la planification et du développement, le gouvernement et l'industrie doivent **travailler étroitement avec les populations autochtones et toutes les parties prenantes**, notamment :
- En ouvrant dès maintenant le dialogue avec les parties prenantes autochtones et autres, par la mobilisation des mécanismes et des filières du ministère des Affaires autochtones et du Nord du Canada et d'autres agences gouvernementales et non gouvernementales;
 - En explorant les occasions de partenariats d'affaires avec les collectivités et les entreprises autochtones pour le développement et le déploiement de technologies nucléaires.
4. Étant donné la réputation et l'efficacité de la CCSN à l'échelle mondiale et de son cadre de réglementation, le gouvernement devrait **apporter un soutien continu à la CCSN et peut-être aussi aux demandeurs**, notamment :
- Un soutien financier et une autonomie permanente permettant à la CCSN d'assurer la sécurité et la sûreté de l'industrie nucléaire, et de chapeauter l'ensemble du cycle de vie nucléaire, y compris tous les aspects de la protection environnementale;
 - Une aide afin de compenser une partie du coût associé à l'obtention de permis pour un nouveau concept.
5. Étant donné que l'industrie nucléaire du Canada est un atout de poids pour les nombreuses priorités stratégiques et que son succès à long terme repose sur les entreprises et les gouvernements fédéral et provinciaux, **une coordination et un dialogue soutenus sont nécessaires entre toutes les parties prenantes**, notamment :
- La création d'un Conseil de l'innovation nucléaire (CIN) formé de représentants de ministères et d'organismes du gouvernement fédéral, des gouvernements provinciaux intéressés, des collectivités autochtones et hôtes, ainsi que de l'industrie. Le Conseil formulerait des recommandations et assurerait la coordination de toutes les questions du secteur nucléaire. Il jouerait aussi un rôle important dans l'orientation et la mise en œuvre de toute autre recommandation énoncée au présent rapport;
 - La formation, peut-être par le CIN, d'un groupe d'experts externes pour la réalisation d'études, d'analyses et de recommandations visant à aiguiller et à soutenir l'engagement et le dialogue sur des questions critiques, y compris les modes d'exploitation, l'accessibilité, le cycle de vie des combustibles, la gestion des déchets, l'approvisionnement et la démonstration;
 - Une approche partagée à l'échelle du parc nucléaire pour assurer l'efficacité d'exploitation et d'entretien des nouveaux réacteurs, afin d'engendrer des retombées économiques et sociales adéquates partout au Canada.

ANNEXE A – SCÉNARIOS DE TROTTIER

Il est largement admis que pour tenir ses engagements envers l'Accord de Paris, le gouvernement doit réaliser une décarbonisation substantielle de la filière énergétique canadienne. Le Projet Trottier pour l'avenir énergétique (référence 3) de l'Académie canadienne du génie décrit sans détour l'ampleur du défi.

Dans le projet, une analyse systématique de plusieurs scénarios de la future filière énergétique du Canada a été réalisée selon différentes combinaisons de source et de distribution d'énergie, associées aux économies d'énergie. Entre autres constats, l'étude conclut que pour réaliser les objectifs de réduction des gaz à effet de serre (GES) du gouvernement d'ici 2050, il faudra augmenter massivement la production d'électricité à travers une technologie à faibles émissions de carbone, soit une augmentation de **xx – yy %** par rapport à la production d'électricité actuelle. On conclut également que pour atteindre cet objectif au coût le plus bas possible pour les Canadiens, il faudra une gamme diversifiée de technologies sobres en carbone, notamment le nucléaire.

La figure ci-dessous, extraite du rapport Trottier (figure 151), illustre l'ampleur de la transformation que les projets à l'étude nécessiteront. Elle montre le taux d'électrification requis pour réduire de 60 % les émissions de GES du Canada par rapport aux niveaux de 1990, selon quatre combinaisons de sources d'énergie (scénarios S3, S3a, S8 et S8a) que l'étude considère comme offrant le coût le plus bas, par rapport au scénario (S1) du « statu quo ». Cette analyse donne à penser que d'ici 2050, le Canada devra accroître l'électrification par un facteur de 3 à 5 par rapport à aujourd'hui, avec l'énergie nucléaire représentant entre 15 et 30 % environ de la future production. Ces projections sont données à titre indicatif et pour encourager les gouvernements, les industries et les collectivités à mener une analyse plus approfondie, à formuler des recommandations et à prendre des décisions.



ANNEXE B – MOTEURS ÉCONOMIQUES DE L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE

Plusieurs facteurs permettent de diminuer le coût des nouvelles technologies nucléaires, particulièrement lorsqu'il s'agit de nouvelles applications nucléaires en réseau.

Délais de construction plus courts : Les nouveaux réacteurs nucléaires font appel à des techniques de construction modulaire, c'est-à-dire que les principales composantes sont préfabriquées et expédiées depuis l'usine vers le site de la centrale par chemin de fer ou par camion. Dans une large mesure, les PRM font appel à ces techniques de construction modulaire, puisque la grande majorité de leurs composantes sont fabriquées en usine avant d'être expédiées sur le site, où l'assemblage final aura lieu. Cela réduit considérablement le temps de construction en simplifiant les activités de la centrale, ce qui diminue en retour les coûts de financement et de construction.

Coûts initiaux plus bas : Les coûts d'investissement initiaux pour la construction de PRM sont nettement inférieurs à ceux des grands réacteurs. Ils sont ainsi plus faciles à financer pour les services publics. Et comme ils peuvent également être construits sous forme d'ensembles multimodules, une unité peut générer de l'électricité et des revenus pendant que la construction des autres éléments se poursuit.

Simplification de la conception : Pour plusieurs PRM, une importante simplification de la conception est possible par l'intégration de caractéristiques de sécurité inhérentes à la taille. Selon certaines estimations, la simplification peut réduire les coûts d'investissement initiaux de 15 %¹.

Coûts stables du combustible : Contrairement au gaz naturel ou au diesel, les coûts du combustible à l'uranium sont faibles et offrent une stabilité tarifaire à long terme. Ils représentent également une bien plus partie de l'exploitation de la centrale que dans les installations aux combustibles fossiles.

Compétitivité avec le gaz naturel : Selon une récente étude économique des PRM, plusieurs paramètres et scénarios permettraient de les comparer aux coûts d'une centrale à cycle combiné au gaz naturel². En effet, selon le Projet Trottier, les comparaisons entre les scénarios avec et sans le nucléaire montrent que le coût est globalement plus élevé dans les scénarios sans le nucléaire³.

Économies d'échelle grâce au déploiement du parc : D'ici 2035, après la mise en service des premières usines, les PRM pourront concurrencer d'autres sources d'énergie s'ils sont construits sous forme de parcs. Les fabricants canadiens devraient être en mesure de produire des composantes pour les commercialiser, l'achat des combustibles et l'entretien courant devraient réduire les coûts d'approvisionnement et la formation des exploitants devrait s'améliorer grâce à l'expérience supérieure que procureront plusieurs réacteurs. La réduction des coûts au moyen d'économies d'échelle n'en serait que plus grande si les fabricants canadiens approvisionnaient un parc mondial de PRM.

¹ « CURRENT STATUS, TECHNICAL FEASIBILITY AND ECONOMICS OF SMALL MODULAR REACTORS » [ÉTAT ACTUEL, FAISABILITÉ TECHNIQUE ET ÉCONOMIQUE DES PETITS RÉACTEURS NUCLÉAIRES], OCDE, JUIN 2011, P. 15.

² SMR START, « THE ECONOMICS OF SMALL MODULAR REACTORS » [L'ÉCONOMIE DES PETITS RÉACTEURS MODULAIRES], NEI, SEPTEMBRE 2017, P. 2.

³ PROJET TROTTIER, P. 229

Plusieurs études soulignent le fait que les très petits réacteurs modulaires (TPRM) devraient concurrencer les générateurs d'énergie diesel (référence 7). Les facteurs de coûts de ces TPRM se déclinent ainsi :

- **Délais de construction plus courts** : Les TPRM sont faits pour être fabriqués en usine avant d'être acheminés sur le site. Compte tenu de leur petite taille, la construction prend moins de temps que celle des PRM.
- **Coûts du combustible plus faibles et plus stables que ceux du diesel** : Le prix du diesel à long terme devrait passer de 0,99 \$/L (2015) à 2,39 \$ d'ici 2040⁴. Par contre, l'uranium représente une plus petite part des coûts totaux d'un TPRM de l'ordre (de 4 à 8 pour cent, selon la conception) par rapport au carburant dans un générateur diesel. En outre, le prix de l'uranium devrait demeurer relativement stable à long terme.
- **Économies d'échelle d'un parc de TPRM** : Il est possible de déployer des TPRM dans un grand nombre de sites miniers à travers le Canada. Dans une approche de parcs utilisant une technologie similaire, l'on peut réaliser des économies de coûts considérables en rationalisant la fabrication et en produisant des composantes commercialisables, plutôt que sur la base de commandes spéciales. Ces économies d'échelle sont d'autant plus grandes en reliant la chaîne d'approvisionnement canadienne aux possibilités d'exportation des TPRM.

⁴ ÉTUDE HATCH, P. 58.

ANNEXE C – PARTENARIATS PUBLIC-PRIVÉ

Les projets nucléaires concernent les secteurs privé et public. Les fournisseurs de réacteurs du privé investissent déjà leurs ressources dans la conception, le développement et l'autorisation de réacteurs, de même que dans la préparation de la chaîne d'approvisionnement au Canada.

Pour faire avancer la technologie à la prochaine étape de développement et de la construction, il faut explorer différents modèles de partenariat public-privé, notamment les principes suivants :

- Les fournisseurs du secteur privé peuvent faire progresser la conception et le développement de leurs réacteurs dans les Laboratoires nucléaires canadiens grâce aux fonds alloués par le gouvernement fédéral pour la recherche et le développement, ainsi que pour la science et la technologie des petits réacteurs modulaires.
- Les options de financement public-privé peuvent être considérées comme des remparts contre les risques des nouvelles constructions. Il peut s'agir de l'une ou l'autre des options suivantes :
 - Des subventions publiques pour le développement de la technologie;
 - Le financement privé avec une garantie de prêt fédéral ou une garantie fédérale contre les risques technologiques;
 - Le financement intégral sur fonds publics des nouvelles constructions.

ANNEXE D – ÉNERGIE HYBRIDE ET AUTRES APPLICATIONS

SYSTÈMES ÉNERGÉTIQUES HYBRIDES SOBRES EN CARBONE

Comme il en a été question auparavant, les PRM, plus particulièrement les TPRM, offrent d'importantes possibilités d'application dans la production d'électricité sobre en carbone aux fins du développement des ressources. La technologie nucléaire offre elle aussi d'énormes possibilités aux côtés d'autres technologies énergétiques pour soutenir une décarbonisation substantielle. Cela inclut l'utilisation du nucléaire en appui des sources renouvelables intermittentes et de l'économie de l'hydrogène. Les réacteurs nucléaires peuvent faire partie d'un programme énergétique global prévoyant le chauffage urbain, la cogénération, le stockage d'énergie, l'exploitation des ressources naturelles, le dessalement et la production d'hydrogène.

L'objectif de décarbonisation substantielle du Canada – réduire les émissions de gaz à effet de serre de 30 % par rapport à 2005 d'ici 2030 – ne peut pas être atteint uniquement par l'électricité sans carbone, mais il faudra aussi décarboniser d'autres secteurs qui dépendent actuellement du carbone tels que les transports, l'utilisation industrielle légère (chariots élévateurs, etc.), les voitures des particuliers et les flottes, les trains légers, les autobus, les trains de voyageurs et de marchandises, et les camions de transport .

La technologie nucléaire peut participer à l'atteinte de ces objectifs par la production directe d'hydrogène, en contribuant à la science de la technologie des piles à combustible et, de manière générale, en étant un partenaire de la décarbonisation des secteurs de la fabrication et du transport. S'il table sur les capacités mises au point pour soutenir la sûreté de l'hydrogène et la gestion de l'eau lourde et du tritium dans les réacteurs CANDU, de même que sur les investissements récents dans les laboratoires modernes d'hydrogène, le Canada peut jouer un rôle de premier plan face aux défis économiques, de production et d'exécution à relever.

En ce qui concerne les énergies renouvelables variables, même si les sources d'énergie hydroélectrique, solaire et éolienne devraient devenir de plus en plus efficaces et rentables, elles feront toujours face à des problèmes d'intermittence. Or il faut une charge de base stable, qui doit provenir de combustibles fossiles ou d'une énergie nucléaire sobre en carbone. Associer une source propre d'énergie de charge de base à des énergies renouvelables intermittentes et à une technologie de stockage de l'énergie permet à ces trois systèmes d'offrir leur plein potentiel et de conserver la capacité excédentaire pour une utilisation future. Le département de l'Énergie des États-Unis, par exemple, étudie la viabilité technique et économique de différentes configurations possibles de systèmes d'énergie hybride nucléaire-renouvelable. Son but est de cibler d'autres options énergétiques futures capables de contribuer à l'atteinte des objectifs environnementaux, économiques et en matière de durabilité tout en préservant la résilience du réseau .

⁵ R. LYMAN, CLIMATE CHANGE FOR CANADA: EXAMINING THE IMPLICATION, JUNE 2015 (https://www.google.ca/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0AHUKEWIJJOURG5VVAHUI9YMKHWAPCNCQFGGMMAA&url=https%3A%2F%2FRIENDSOFSCIENCE.ORG%2FASSETS%2FDOCUMENTS%2FCLIMATE_CHANGE_IMPLICATIONS_LYMAN.PDF&usq=AFQJCNGTZREN15CDHE0SGG30VNRPMRJDDA, LAST ACCESSED 2017 JULY 21).

⁶ S.M. BRAGG-SITTON ET AL, "NUCLEAR-RENEWABLE HYBRID ENERGY SYSTEMS: 2016 TECHNOLOGY DEVELOPMENT PROGRAM PLAN", INL/EXT-16-38165, IDAHO NATIONAL LABORATORY AND OAK RIDGE NATIONAL LABORATORY, 2016.

AUTRES APPLICATIONS DU NUCLÉAIRE

Si le besoin d'une électricité de base propre et fiable est le moteur de l'innovation nucléaire au Canada pour l'essentiel, la recherche et le développement nucléaires ont un impact considérable dans d'autres sphères que l'énergie nucléaire. Plus particulièrement, la R et D nucléaire a donné lieu à des technologies canadiennes de pointe dans le traitement du cancer. À son apogée, le Canada a assuré plus de 50 % de la demande mondiale du précieux isotope médical, le molybdène 99. En effet, la R et D nucléaire participe de l'innovation dans plusieurs domaines autres que l'énergie, notamment la santé, la sûreté, la sécurité, la non-prolifération et l'environnement.

La science et la technologie derrière l'évolution des systèmes de réacteurs nucléaires ont souvent une application plus large à l'industrie non nucléaire. Par exemple, la recherche visant à développer des matériaux de pointe pour résister à de hautes températures et pressions de la prochaine génération de réacteurs nucléaires peut également déboucher sur des applications dans les raffineries et d'autres industries qui fonctionnent à des températures et pressions élevées. Citons d'autres exemples de la diversité de la recherche : le développement de nouvelles technologies pour la détection de substances illicites aux frontières du Canada et la compréhension des effets du rayonnement à faible dose sur les êtres vivants, en partie pour cerner l'incidence de l'imagerie médicale sur les patients.

Les progrès de plusieurs des catalyseurs de nouvelles technologies nucléaires peuvent être transposés dans de nombreux autres secteurs industriels du Canada. Par exemple, la fabrication de pointe, de même que la conception et l'assemblage modulaires qui seront essentiels au développement économique et au déploiement des parcs de PRM, sont exploitables dans d'autres secteurs tels que l'aérospatiale et la construction.

Plus globalement, la recherche nucléaire fait partie intégrante du paysage des sciences et de la technologie du Canada. Il est à noter que les Laboratoires de Chalk River sont le plus grand site scientifique du Canada et que les scientifiques qui y sont formés ont souvent un impact insoupçonné. Pour preuve, deux des lauréats canadiens du prix Nobel ont effectué leurs premières recherches à Chalk River, et leurs travaux ont eu une incidence mondiale dans de nombreux secteurs. Le récent investissement de 1,2 milliard de dollars du gouvernement du Canada pour la revitalisation des Laboratoires de Chalk River illustre avec vigueur le rôle essentiel de la R et D nucléaire pour appuyer les priorités canadiennes en matière d'énergie, de santé, de sûreté et de sécurité et, plus généralement, d'innovation, de science, de création d'emplois et d'économie.

À l'avenir, les investissements dans la R et D nucléaire pour saisir les perspectives énergétiques dont il a été question devraient avoir de nombreuses retombées, à l'intérieur et hors du secteur nucléaire. Bien que les Laboratoires de Chalk River soient un pilier de l'innovation nucléaire du Canada, les chercheurs de partout au pays dans les laboratoires fédéraux, les universités, d'autres organismes de recherche et au sein de l'industrie, petits et grands, sont tous importants pour former une capacité de science et de technologie forte et dynamique au Canada. Les investissements des gouvernements fédéral et provinciaux dans les technologies avancées de l'énergie nucléaire influenceront positivement le maintien et le renforcement de la richesse et de l'étendue de la capacité scientifique du Canada, avec tout le potentiel économique que cela comporte.

RÉFÉRENCES

1. Nuclear Leadership Forum, « Excellence, Competitiveness, Leadership » (Vision et plan d'action du FLN), août 2014.
2. Forum sur le leadership nucléaire, « Enabling the Next Generation of Nuclear Science, Technology and Innovation: A Nuclear Innovation Agenda for a Powerful Canada to 2040 and Beyond » [Catalyser la prochaine génération de science nucléaire, de technologie et d'innovation : Un programme d'innovation nucléaire pour un Canada puissant jusqu'en 2040 et au-delà], mars 2015
3. Projet Trottier pour l'avenir énergétique, « Défis et opportunités pour le Canada : Transformations pour une réduction majeure des émissions de GES », avril 2016.
4. Le Conference Board du Canada, « Le prix à payer pour un avenir plus propre : Analyse des incidences économiques de la réduction des émissions de GES, » septembre 2017.
5. Association nucléaire canadienne, « Génération Énergie: le nucléaire au Canada d'ici 2050 » (Soumission à la consultation de Génération Énergie), août 2017.
6. Commission canadienne de sûreté nucléaire, « Rapport sur ce que nous avons entendu – DIS-16-04, Petits réacteurs modulaires : Stratégie, approches et défis de la réglementation », 2017.
7. Laboratoires Nucléaires Canadiens (Megan Moore), 4e Réunion technique internationale sur les petits réacteurs (RTIPR-4), « L'économie des très petits réacteurs nucléaires dans le Nord », novembre 2016.
8. Énergie positive (Michael Cleland and Monica Gattinger), "System Under Stress: Energy Decision-Making in Canada and the Need for Informed Reform," mars 2017.
9. National Nuclear Laboratory, « Modular Reactors (SMR) Feasibility Study », 2014.
10. Agence internationale de l'énergie atomique, "Advances in Small Modular Reactor Technology Developments, a Supplement to IAEA Advanced Reactors Information System (ARIS)", édition de 2016, août 2016.
11. « Base de données des collectivités éloignées », Ressources naturelles Canada, <http://www2.nrcan.gc.ca/eneene/sources/rcd-bce/index.cfm?fuseaction=admin.home1>.
12. Canadian Neutron Initiative, « The Canadian Neutron Initiative: Securing a Critical Tool for Materials Research and Innovation for Canada » Submission to the House of Commons Finance Committee, [Initiative canadienne de neutrons, « Initiative canadienne des neutrons : Élaborer un outil essentiel pour la recherche sur les matériaux et l'innovation pour le Canada », soumission au Comité des finances de la Chambre des communes, août 2017].
13. Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire et Agence internationale de l'énergie atomique, « Technology Roadmap for Nuclear Energy » [Feuille de route technologique sur l'énergie nucléaire], 2015.