

Rapport sommaire

PERSPECTIVES DES RÉACTEURS MODULAIRES DE PETITE TAILLE AU CANADA

Rapport sommaire : Appel à manifestation d'intérêt – Stratégie des LNC
en ce qui concerne les réacteurs modulaires de petite taille



Canadian Nuclear Laboratories | Laboratoires Nucléaires Canadiens



L'endroit est le Canada.
Le moment d'agir est venu.
Votre partenaire est les LNC.

Mark Lesinski,
Le président-directeur général des LNC



RAPPORT SOMMAIRE :

PERSPECTIVES DES RÉACTEURS MODULAIRES AU CANADA

Les Laboratoires Nucléaires Canadiens ont une histoire longue et riche en matière d'innovation nucléaire. Depuis plus de 70 ans, la société a mis au point des applications innovatrices pacifiques en sciences et technologies nucléaires qui ont influencé la qualité de vie des gens partout dans le monde, de la médecine nucléaire pour lutter contre le cancer, à l'énergie nucléaire qui alimente notre mode de vie.

Nous envisageons maintenant une nouvelle opportunité pour le Canada : les réacteurs modulaires de petite taille.

Ces réacteurs représentent un domaine d'intérêt clé pour les LNC. Dans le cadre de leur stratégie à long terme, annoncée plus tôt cette année, les LNC ont un objectif ambitieux : implanter un nouveau réacteur modulaire de petite taille sur un site des LNC pour 2026. Avec un besoin intérieur pour cette technologie, des programmes réglementaires évolués et solides et un campus parfaitement équipé capable d'accueillir un tel projet, les LNC occupent une position unique pour s'occuper d'un réacteur modulaire de petite taille depuis la conception jusqu'à la mise en service. Enfin, nous avons l'intention de constituer un pôle mondial reconnu pour les réacteurs modulaires de petite taille, dans lesquels sont intégrées et testées de multiples technologies, avec l'aide d'une équipe solide de professionnels de classe internationale.

Comme pour toute entreprise d'une telle ampleur, la création d'un nouveau réacteur modulaire de petite taille présente d'importants défis. Les problèmes particuliers que représente la mise en œuvre de ces réacteurs sont grands et de nature très technique, de l'octroi de permis à la sécurité des dispositifs de protection et la gestion des déchets. Les défis socioéconomiques, comme l'acceptation du public sont également essentiels. Ainsi, les LNC ont lancé ce processus en se mettant à l'écoute, dans le

cadre d'un appel à manifestation d'intérêt, afin de bien comprendre l'environnement qui nous entoure.

Dans les pages qui suivent, vous trouverez les rétroactions et mûres réflexions de 80 organisations et individus de tout le Canada et du monde entier. Les commentaires reflètent un large échantillon de parties prenantes, depuis les concepteurs de technologie et membres de notre chaîne d'approvisionnement jusqu'aux utilisateurs finaux en extraction des ressources et communautés éloignées du Nord. Chacun de ces divers répondants voit des avantages dans la technologie des réacteurs modulaires de petite taille et a donné son avis sur la meilleure façon de faire avancer cette solution.

Aujourd'hui, les LNC entreprennent un renouvellement de leur organisation qui va transformer leur campus de Chalk River. Ce processus de 10 ans, rendu possible grâce à un investissement de 1,2 milliard \$ du gouvernement du Canada, revitalisera le site de Chalk River et exploitera les avantages historiques des LNC en matière de physique et combustibles nucléaires, de métallurgie, de matériaux, de chimie, de biologie et d'ingénierie. Informés par les tendances mondiales, les LNC ont combiné les priorités fédérales et commerciales dans une recherche et une technologie ciblées, axées sur les demandes et offertes grâce à des programmes dans les domaines de l'énergie, de la santé, de la sécurité et de l'environnement.

Cette étape est simplement la première d'un long cheminement vers la mise en œuvre d'un réacteur modulaire de petite taille, mais elle est très importante. Nous espérons que les organisations et les personnes qui ont contribué à ce rapport continueront de travailler avec nous, afin que nous puissions tirer le maximum de l'occasion qui s'offre à nous et exploiter ensemble les avantages de cette technologie de pointe.

Où cela ? Au Canada. Quand ? Dès maintenant. Votre partenaire : les LNC.

Mark Lesinski,
président-directeur général



GLOSSAIRE DES ACRONYMES

RMPT	Réacteur modulaire de petite taille
LNC	Laboratoires Nucléaires Canadiens
AMI	Appel à manifestations d'intérêt
R et D	Recherche et développement
ST et I	Science, technologie et innovation
S et T	Science et technologie
RFEP	Réacteurs refroidis à l'eau sous pression
RHTRG	Réacteurs à haute température refroidis par gaz
RNR-Na	Réacteurs rapides refroidis au sodium
RNR-Pb	Réacteurs rapides refroidis au plomb
RNR-G	Réacteurs rapides refroidis au gaz
RSF	Réacteurs à sels fondus
MWe	Mégawatt électrique
MWth	Mégawatt thermique
COP 21	21 ^e Conférence des parties à la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques*

REO	Réacteur à eau ordinaire
GES	Gaz à effet de serre
FEO	Fabricant d'origine
CANDU	Réacteur canadien à deutérium-uranium
CCSN	Commission canadienne de sûreté nucléaire
RCF	Revue de conception de fournisseur
RMTPT	Réacteur modulaire de très petite taille
RNCan	Ressources naturelles Canada
PIB	Produit intérieur brut
ASP	Années de service d'une personne
CAE	Coût actualisé de l'énergie
PET	Première unité de ce type
ANM	Association nucléaire mondiale
AIEA	Agence internationale de l'énergie atomique
TRISO	Particule TRISO
NASA	la National Aeronautics and Space Administration

* On fait référence aux pays qui ont signé la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques de 1992.



SOMMAIRE

Le 1^{er} juin 2017, les Laboratoires Nucléaires Canadiens ont publié un appel à manifestation d'intérêt afin de recueillir des commentaires sur leur programme de réacteurs modulaires de petite taille. L'objectif de l'appel était de lancer une conversation sur l'intérêt potentiel d'une industrie des réacteurs modulaires de petite taille au Canada, et de mieux comprendre le rôle que peuvent jouer les LNC en amenant cette technologie sur le marché.

En réponse à cette initiative, 80 soumissions provenant d'organisations et d'individus du monde entier ont été reçues, ce qui indique un soutien important de nombreuses parties prenantes représentant des domaines clés d'une industrie potentielle des réacteurs modulaires de petite taille. Cela comprend 19 déclarations d'intérêt à construire un prototype ou un réacteur de démonstration sur un site des LNC couvrant un large éventail de concepts de réacteurs. Globalement, les réponses ont été soumises par des concepteurs de technologie des réacteurs modulaires de petite taille, des utilisateurs potentiels et d'autres parties et intervenants intéressés, y compris les communautés hôtes, la chaîne d'approvisionnement nucléaire et les établissements de recherche et universitaires.

Le rapport suivant résume les résultats de cette campagne de collecte d'informations. Bien que les soumissions provenaient de divers intervenants représentant la rétroaction d'un groupe diversifié de parties intéressées, on a constaté une entente générale dans certains domaines des soumissions.

Tout d'abord, il existe un consensus selon lequel une industrie des réacteurs modulaires de petite taille Canada pourrait apporter des avantages économiques au pays. Des répondants pensent qu'il existe une occasion étroite, mais forte de faire adopter cette technologie, et qu'en l'exploitant le Canada pourrait se positionner en tant que chef de file mondial dans ce qui deviendra probablement une industrie mondiale. Entre autres avantages, les participants à l'appel prévoient une augmentation des emplois au Canada, une croissance de l'impôt fédéral, plus d'investissements étrangers au Canada, et plus de revenus d'exportation.

Deuxièmement, les répondants pensent que le développement et le déploiement de réacteurs modulaires de petite taille sont conformes à l'engagement du Canada dans la lutte contre le changement climatique.

Troisièmement, les concepts de réacteurs modulaires de petite taille sont considérés comme une solution intéressante pour les communautés et industries des régions éloignées, comme dans le secteur minier, non raccordées au réseau électrique. Des répondants ont fait valoir que le remplacement de génératrices diesel par des réacteurs modulaires de petite taille et éventuellement d'autres énergies renouvelables, pourrait établir l'indépendance énergétique et permettre la croissance dans les communautés éloignées.

Enfin, tous les répondants pensent que les réacteurs modulaires de petite taille pourraient offrir une plus grande sécurité, notant que la sécurité passive et intrinsèque est essentielle pour les systèmes d'énergie nucléaire de nouvelle génération.

Même s'il existe une entente sur les avantages potentiels qu'apporteraient le développement et la mise en œuvre de ces réacteurs, il y a aussi un certain nombre de défis importants qui ont été soulevés dans chaque groupe d'intervenants. Le financement de la mise au point et de la démonstration de la

technologie, l'acceptabilité sociale, la rentabilité et l'appui gouvernemental et réglementaire sont considérés comme des obstacles potentiels pouvant limiter ou empêcher la réussite du développement et de la mise en œuvre de la technologie des réacteurs modulaires de petite taille au Canada.

On a cité le besoin d'un appui politique constant et à long terme dans de nombreuses réponses. Des outils politiques et un soutien financier sont nécessaires pour mettre au point les technologies; l'industrie sera rapidement autonome une fois établie. Une volonté politique est également considérée comme importante pour soutenir l'éducation et établir l'acceptation publique.

Dans l'ensemble, le volume et la qualité des réponses reçues indiquent clairement qu'il existe un intérêt considérable pour la poursuite d'une industrie des réacteurs modulaires de petite taille au Canada, et dans la mise à l'essai de cette technologie grâce à un prototype de réacteur aux LNC. L'appel à manifestation d'intérêt a fourni aux LNC une meilleure connaissance des besoins de la communauté des réacteurs, des défis à surmonter pour les commercialiser et des capacités requises pour le faire. Les LNC auront besoin de ces informations pour modifier leur programme dans les années à venir.



TABLE DES MATIÈRES

<p>QUI A RÉPONDU 2</p> <p>RÉACTEURS MODULAIRES DE PETITE TAILLE : QUOI ET POURQUOI 6</p> <p>RÉACTEURS EN COURS D'ÉLABORATION PAR LES RÉPONDANTS 6</p> <p>APPLICATIONS AU-DELÀ DE L'ÉLECTRICITÉ 10</p> <p>POURQUOI LE CANADA 10</p>	<p>AVANTAGES POUR LE CANADA 13</p> <p>EXIGENCES POUR METTRE EN PLACE DES RÉACTEURS MODULAIRES DE PETITE TAILLE AVEC SUCCÈS 18</p> <p>DÉFIS POUR METTRE EN PLACE LES RÉACTEURS 22</p> <p>POINTS DE VUE DES PARTIES PRENANTES 24</p> <p>GOVERNEMENT : UNE DEMANDE DE SOUTIEN 26</p>	<p>BESOINS DE RECHERCHE ET DE DÉVELOPPEMENT DE TECHNOLOGIE 29</p> <p>PROTOTYPE POTENTIEL DE RÉACTEUR MODULAIRE DE PETITE TAILLE POUR DES SITES GÉRÉS PAR LES LNC 32</p> <p>NIVEAUX DE MATURITÉ TECHNOLOGIQUE 34</p> <p>CONCLUSION 36</p>
--	--	---



INTRODUCTION

Au cours des dix dernières années, de plus en plus de réacteurs modulaires de petite taille ont été reconnus comme solution de rechange aux gros réacteurs nucléaires. Avec pour objectif de faire progresser la science et les technologies pour un monde propre et sécuritaire, les réacteurs modulaires de petite taille sont devenus une des initiatives majeures des LNC. Grâce à des dizaines d'années d'expérience dans le support et la mise en œuvre de nombreux prototypes, de réacteurs de démonstration, de réacteurs de recherche et de production, les LNC sont bien placés pour contribuer au développement et à la mise en œuvre de ces réacteurs, y compris l'accueil d'une installation de démonstration.

L'appel à manifestations d'intérêt a eu lieu entre juin et août 2017 afin de mieux comprendre l'intérêt du marché des réacteurs modulaires de petite taille, y compris l'implantation d'un réacteur de démonstration ou d'un prototype, l'intérêt pour les LNC en matière de R et D et autres services de soutenir le développement de ces réacteurs, les défis et occasions que représente leur commercialisation et les autres intérêts et opinions d'un large éventail de parties prenantes.

L'appel à manifestations d'intérêt comportait deux sections, une pour les soumissions générales, et la deuxième destinée aux concepteurs de technologie. La section des soumissions générales posait des questions générales, comme le rôle prévu du répondant dans une industrie des réacteurs modulaires de petite taille, les besoins et les obstacles à la mise en œuvre de ces réacteurs, le rôle de la recherche et du développement, et les applications non électriques des réacteurs. La section destinée aux concepteurs de technologie demandait plus de renseignements sur des technologies particulières, comprenant : les avantages prévus pour le Canada, la conception, les considérations commerciales et les exigences des prototypes de réacteurs qui seraient éventuellement construits sur un site géré par les LNC.

Grâce aux réponses reçues, les LNC essaient de comprendre les capacités des concepteurs de technologie et des autres parties prenantes, ce qu'ils pourraient apporter en cas de partenariat avec les LNC et ce qui est nécessaire pour réussir un déploiement commercial. Globalement, les réponses ont été soumises par des concepteurs de technologie des réacteurs modulaires de petite taille, des utilisateurs potentiels et d'autres parties et intervenants intéressés, y compris sans s'y limiter des communautés hôtes potentielles, la chaîne d'approvisionnement nucléaire canadienne et des établissements de recherche et universitaires.

Ce rapport résume ce que nous avons entendu grâce à l'appel à manifestations d'intérêt. Tout le contenu est tiré des réponses. Ce rapport compile les renseignements, mais n'essaie pas de tirer des conclusions ni de formuler des recommandations en fonction des réponses.



QUI A RÉPONDU

Les LNC ont reçu 80 réponses à l'appel à manifestations d'intérêt. Quelques réponses représentaient une réponse combinée de plusieurs organisations, et certaines organisations étaient représentées par des réponses multiples. Plusieurs personnes de communautés hôtes potentielles ont également répondu. Au total, 381 organisations et individus étaient représentés dans les 80 soumissions.

Dans le monde entier, on s'intéresse au développement des réacteurs modulaires de petite taille au Canada et aux LNC. Des réponses ont été reçues de partout dans le monde, 51 du Canada, puis 11 du Royaume-Uni et 9 des États-Unis, le reste provenait d'autres pays en Europe, en Asie et en Amérique du Sud (Figure 1). Étant la province avec le plus grand nombre de centrales nucléaires actuellement, l'Ontario avait aussi le plus de réponses

soit 35. Cependant, 30 % des réponses canadiennes provenaient de l'extérieur de l'Ontario, ce qui prouve qu'on s'intéresse à l'industrie des réacteurs modulaires de petite taille dans tout le Canada (Figure 2).

Les réponses provenaient d'un large éventail d'intervenants: concepteurs de réacteurs (22), fournisseurs de produits ou services de la chaîne d'approvisionnement nucléaire (27), services publics ou autres utilisateurs (5), établissements universitaires/ de recherche ou autres organismes gouvernementaux (12) et communautés et contributeurs individuels (14) (Figure 3).

Les commentaires portaient sur tous les aspects de l'industrie future des réacteurs modulaires de petite taille, ce qui indique nettement que l'étendue de notre expertise et de nos capacités permettra de réaliser cet objectif au Canada. Toutes les parties du cycle de vie d'un réacteur étaient représentées, depuis la conception jusqu'à la délivrance des permis, l'exploitation et la mise hors service.



DOMAINES DE COMPÉTENCES ET D'EXPERTISE INDIQUÉS PAR LES RÉPONDANTS

- ingénierie
- approvisionnement
- construction
- fabrication d'équipement et de composants
- experts en permis
- Rendement/facteurs humains
- évaluations de sécurité
- évaluations de préparation technique
- mise en service
- exploitation
- mise hors service
- qualification des composants
- inspection et outillage
- services des déchets
- analyse économique
- études de faisabilité
- formation et qualification
- conception
- gestion de projet
- protection de l'environnement
- évaluation des risques :
- évaluations d'impact
- assurance de la qualité
- protection radiologique
- sûreté-criticité
- gestion des matières nucléaires
- automatisation
- simulateurs et systèmes de contrôle
- fabrication de combustible

Figure 1

EMPLACEMENTS DES RÉPONSES REÇUES DE PARTOUT DANS LE MONDE

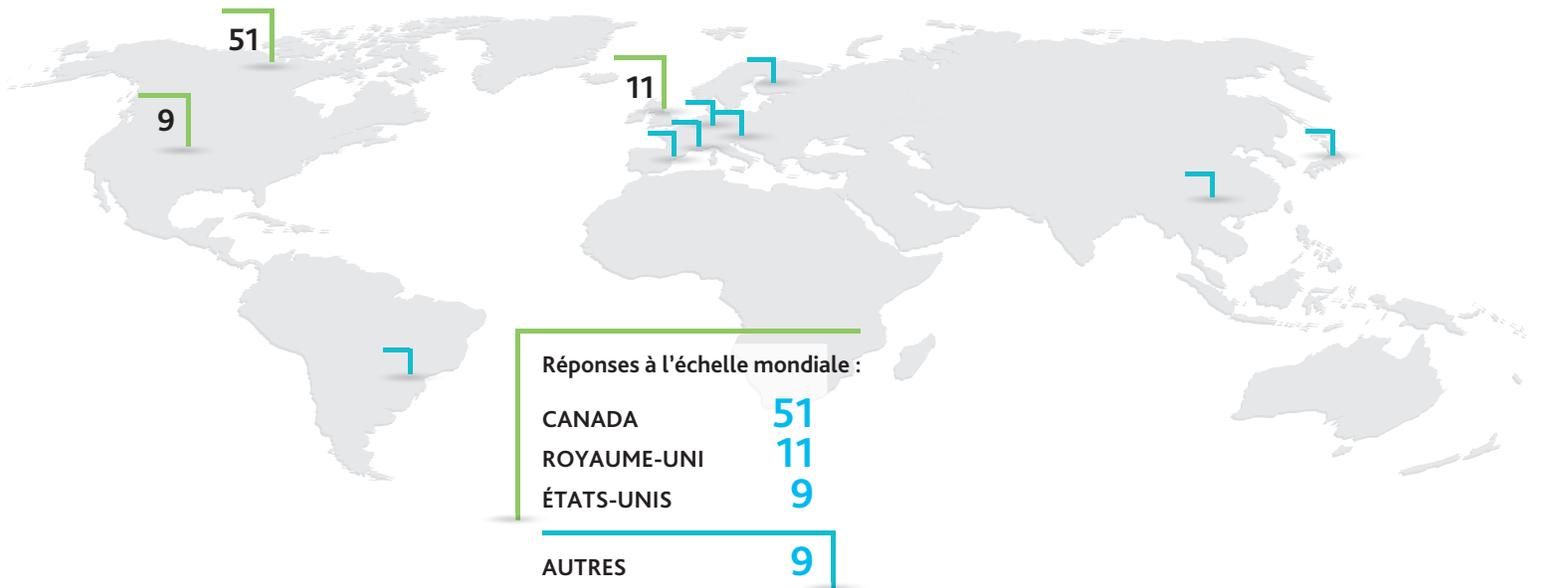


Figure 2

EMPLACEMENTS DES RÉPONSES REÇUES DE PARTOUT AU CANADA

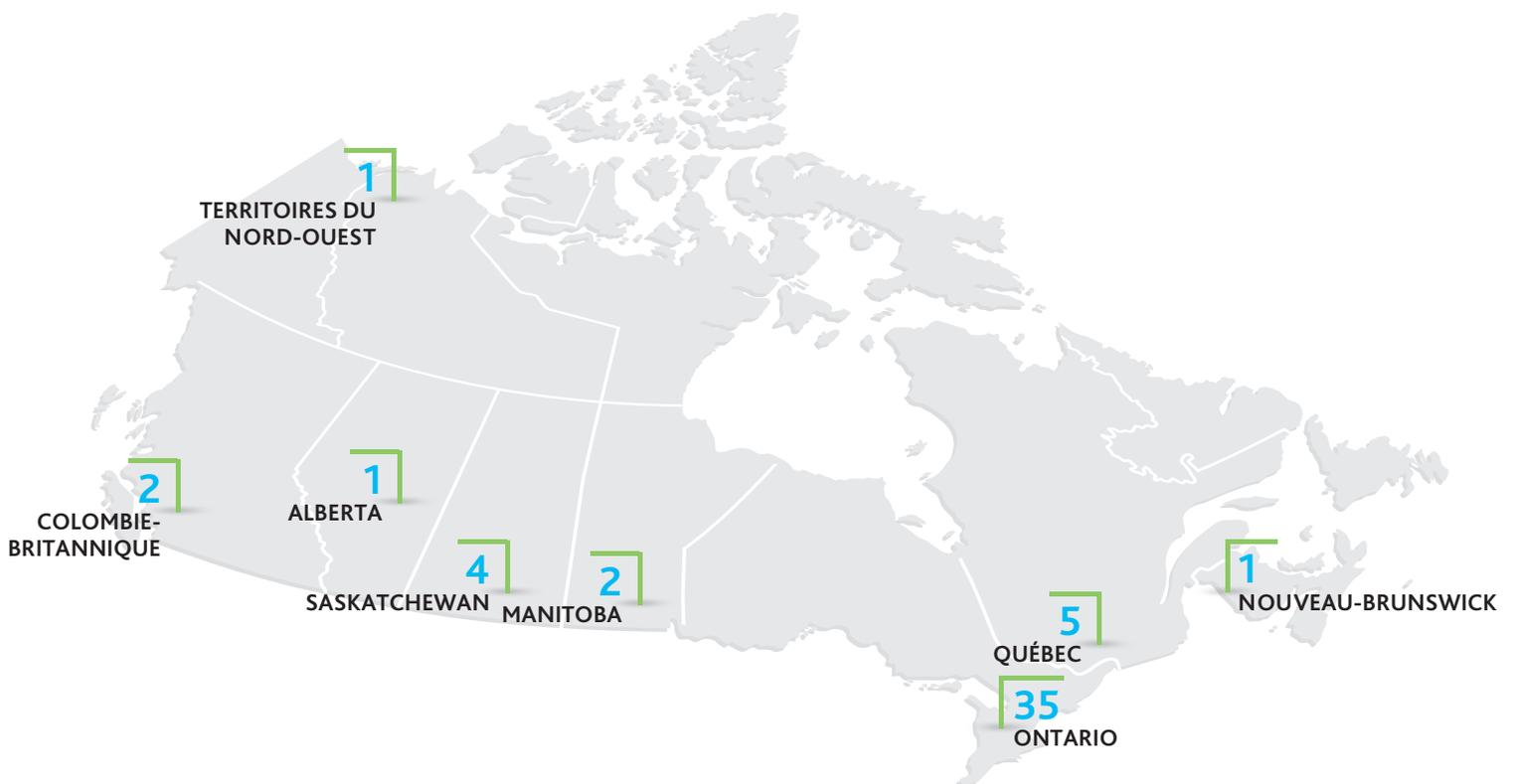
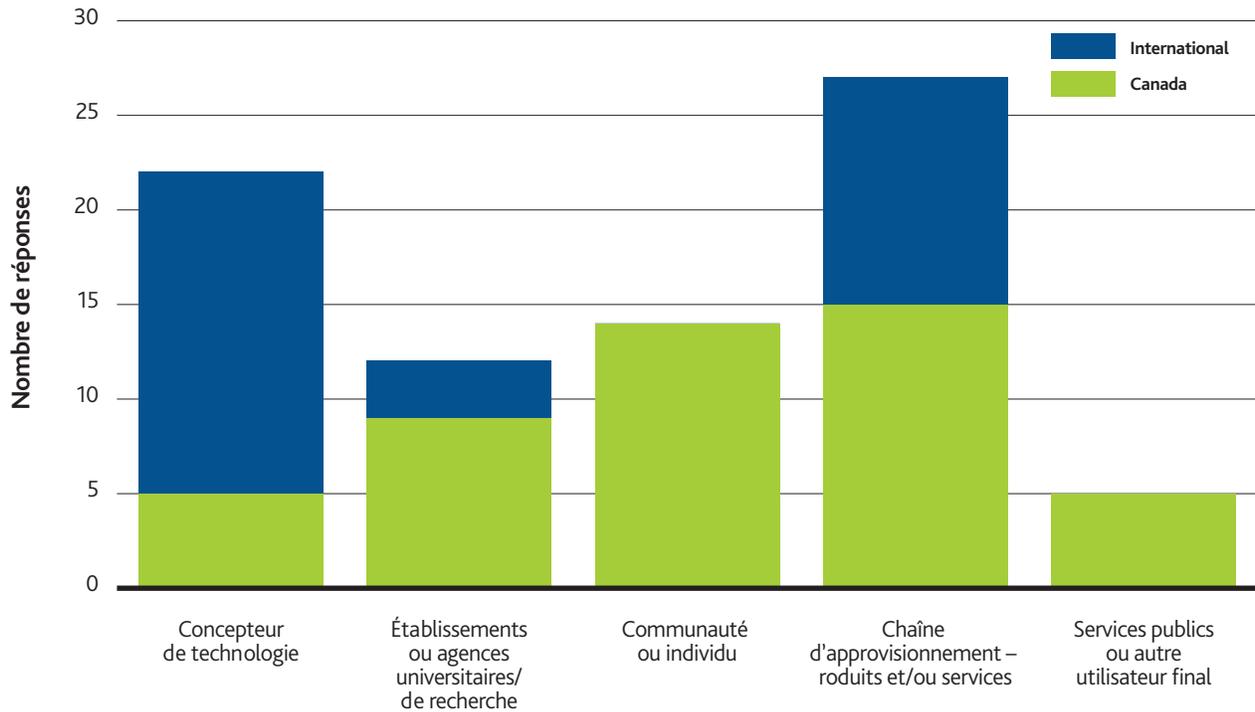


Figure 3

NOMBRE DE RÉPONSES REÇUES DE DIFFÉRENTES CATÉGORIES DE PARTIES PRENANTES



Le Canada a besoin l'électricité et le chauffage des locaux qui est efficace et peu coûteux. En raison de sa géographie, les systèmes de grilles centralisés sont souvent prohibitifs, en particulier dans les localités éloignées. Les PRMs offrent des solutions potentielles qui sont aussi de Zéro carbone.

Atomic Acquisitions Limited



RÉACTEURS MODULAIRES DE PETITE TAILLE : QUOI ET POURQUOI

Au cours des dix dernières années, de plus en plus de réacteurs modulaires de petite taille ont été reconnus comme éventuelle solution de rechange aux gros réacteurs nucléaires. Les réacteurs modulaires de petite taille peuvent offrir plusieurs avantages sur les technologies traditionnelles, en particulier une taille réduite plus adaptée à certaines applications; la possibilité d'acheter et de construire une installation modulaire, une réduction de l'investissement initial en capital, des usines plus simples et moins complexes et une réduction du personnel. En plus de la production d'électricité, les réacteurs modulaires de petite taille peuvent être intégrés à un réseau global de production d'énergie pouvant inclure des applications comme le chauffage urbain, la cogénération, le stockage d'énergie, le dessalement ou la production d'hydrogène.

Les réacteurs modulaires de petite taille conservent les qualités des réacteurs nucléaires conventionnels, y compris la production d'énergie sûre et fiable avec émission limitée de gaz à effet de serre. Il existe de nombreux concepts différents de réacteurs modulaires de petite taille, allant des progrès technologiques actuels très au point des réacteurs refroidis par eau aux derniers réacteurs basés sur les technologies nucléaires de génération IV¹.

RÉACTEURS EN COURS D'ÉLABORATION PAR LES RÉPONDANTS

Sept grandes catégories de types de réacteurs² sont présentés dans les réponses à l'appel à manifestations d'intérêt par les concepteurs de technologie, voir la Figure 4. Ces catégories se distinguent principalement par les propriétés de leur combustible et/ou caloporteur :

- Réacteurs refroidis à l'eau sous pression (RFEP)
- Réacteurs à haute température refroidis par gaz (RHTRG)
- Réacteurs rapides refroidis au sodium (RNR-Na)
- Réacteurs rapides refroidis au plomb (RNR-Pb)
- Réacteurs rapides refroidis au gaz (RNR-G)
- Réacteurs à sels fondus (RSF)
- Réacteurs de fusion

La répartition des réponses est bien équilibrée entre la plupart des types de réacteurs, à l'exception des RNR-G et des réacteurs de fusion qui ont été proposés par un seul répondant. La majorité des répondants sont des concepteurs de technologie de réacteurs non refroidis à l'eau, un type totalement différent de la majorité des centrales nucléaires installées aujourd'hui au Canada et partout dans le monde.

Une des caractéristiques propres aux réacteurs modulaires de petite taille, comme leur nom l'indique, est leur plus petite taille de conception. La Figure 5 illustre la puissance électrique prévue des réacteurs commercialement disponibles, tels qu'identifiés par les répondants.

1 Forum international de Génération IV (https://www.gen-4.org/gif/jcms/c_9260/public)

2 Ces catégories correspondent aux différents types de réacteurs nucléaires de l'Association nucléaire mondiale, de l'Agence internationale de l'énergie atomique et du Forum international Génération IV.

Figure 4

TYPES DE RÉACTEURS DES RÉPONDANTS

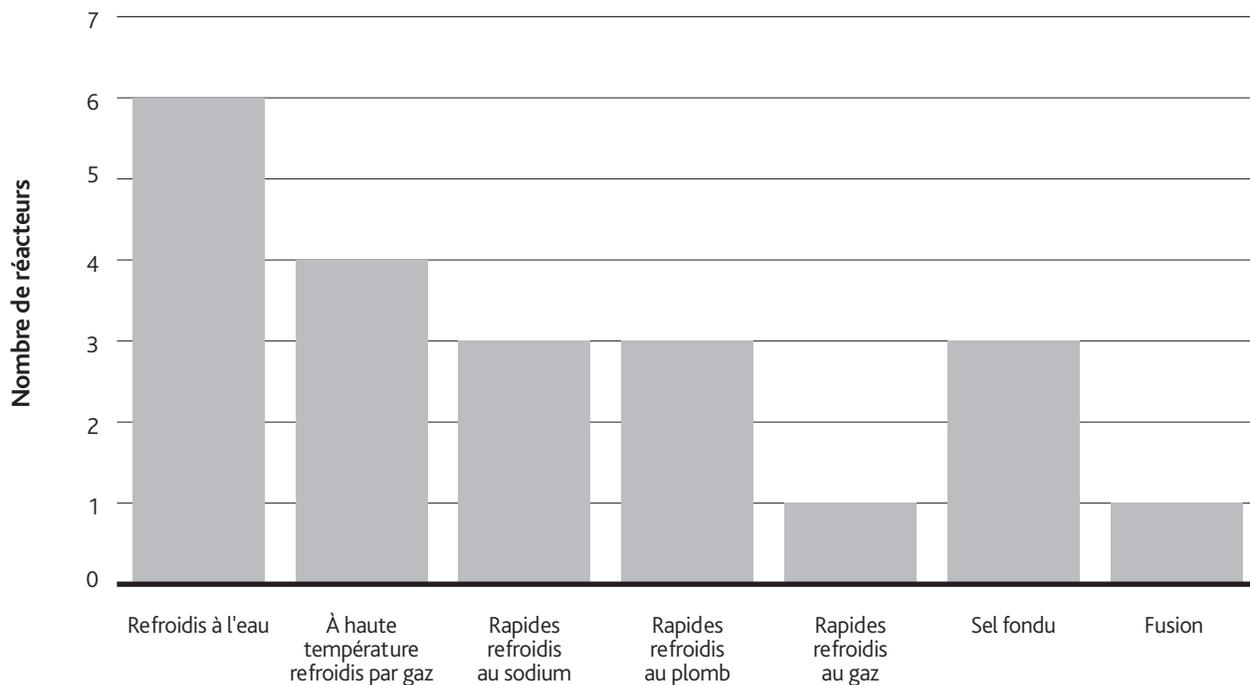
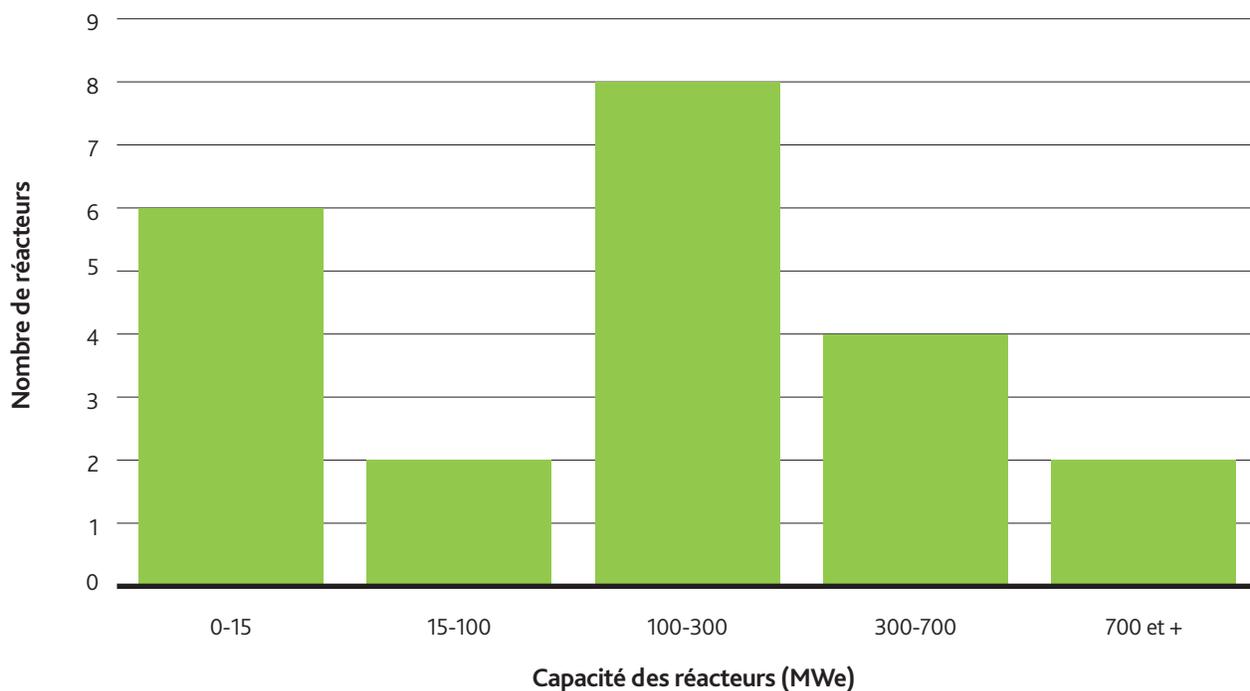


Figure 5

CAPACITÉ ÉLECTRIQUE DES CENTRALES COMMERCIALES DÉVELOPPÉES PAR LES RÉPONDANTS



75 % des répondants conçoivent des réacteurs d'une capacité de moins de 300 MWe, avec 30 % destinés à de très petites applications d'alimentation électrique inférieures à 15 MWe.

Bien que l'énergie nucléaire serve généralement à la production d'électricité, les répondants de l'appel à manifestations d'intérêt ont indiqué que la puissance thermique (MWth) est également importante en raison des nombreuses applications de la chaleur. La capacité de production thermique des différents types de réacteurs varie d'un facteur de 2,4 à 3,1 fois la capacité de production électrique pour la plupart des réacteurs.

POURQUOI DES RÉACTEURS MODULAIRES DE PETITE TAILLE – CONTEXTE MONDIAL DE DÉVELOPPEMENT DE CES RÉACTEURS

En plus des besoins en énergie électrique, les réponses de l'appel à manifestations d'intérêt indiquent que le développement des

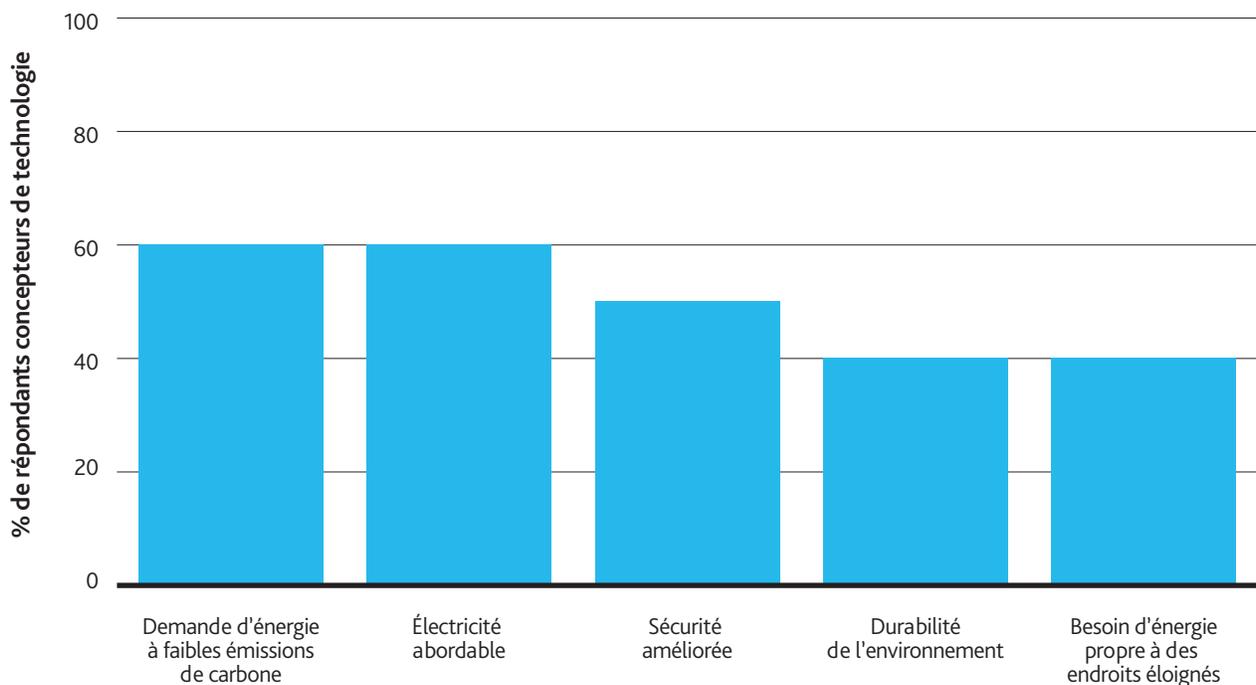
réacteurs modulaires de petite taille a comme origine un certain nombre de problèmes émergents :

- Demande d'énergie à faible émission de GES
- Besoin d'options de production électrique flexibles à bas coût et fiables
- Meilleurs dispositifs de sécurité que sur les réacteurs nucléaires traditionnels
- Durabilité de l'environnement
- Existence d'un marché pour une énergie propre à des endroits éloignés sans réseau électrique.

La mesure dans laquelle les répondants ont déterminé les causes de l'intérêt pour le développement des réacteurs modulaires de petite taille est illustrée à la Figure 6.

Figure 6

AVANTAGES DES RÉACTEURS MODULAIRES DE PETITE TAILLE SELON LES RÉPONDANTS CONCEPTEURS DE TECHNOLOGIE





POINTS CLÉS MENTIONNÉS PAR LES RÉPONDANTS

LES RÉACTEURS MODULAIRES DE PETITE TAILLE SONT UNE SOURCE D'ÉNERGIE PROPRE À FAIBLE ÉMISSION DE CARBONE.

- Pour répondre aux objectifs de la COP21, un nombre important de nouvelles centrales nucléaires est nécessaire à l'échelle mondiale pour le contrôle climatique et la sécurité énergétique
- Croissance de la demande d'électricité entraînant peu d'émissions de carbone en Amérique du Nord
- Des sources d'énergie propres sont nécessaires pour alimenter l'électrification des transports qui arrive
- La fourniture d'énergie propre adéquate est essentielle pour l'avenir de la planète

LES RÉACTEURS MODULAIRES DE PETITE TAILLE PEUVENT RÉPONDRE AUX BESOINS EN ÉLECTRICITÉ D'UN MARCHÉ DIVERSIFIÉ.

- Acheminables, fiables et flexibles afin de soutenir la stabilité du réseau
- Disponibles sur demande
- Économiquement concurrentiels par rapport aux autres sources
- Répondent aux marchés de l'énergie en pleine évolution et à la dynamique
- Les pays en voie de développement doivent répondre aux besoins de base de leurs citoyens
- Les systèmes de sécurité active des réacteurs à eau légère et les très grandes centrales sont devenus trop compliqués avec des calendriers de construction incertains qui découragent les utilisateurs finaux.

LES RÉACTEURS MODULAIRES DE PETITE TAILLE OFFRENT DES DISPOSITIFS DE SÉCURITÉ AMÉLIORÉS PAR RAPPORT AUX RÉACTEURS NUCLÉAIRES DES CENTRALES TRADITIONNELLES.

- Les dispositifs de sécurité améliorés favorisent l'adoption de l'énergie nucléaire
- Caractéristiques de sécurité passive fondamentalement sécuritaires et fiables

- Réduction du fardeau réglementaire pour les pays incapables de supporter l'infrastructure et souhaitant accéder progressivement à l'énergie nucléaire
- Réduction des risques de prolifération nucléaire

LES RÉACTEURS MODULAIRES DE PETITE TAILLE PEUVENT OFFRIR UN AVANTAGE EN MATIÈRE DE DÉVELOPPEMENT DURABLE.

- Réduction de l'empreinte d'utilisation des terres
- Réduction des volumes de déchets nucléaires générés par la production d'énergie
- Possibilité d'utiliser les piles de déchets existants
- Conformes à la géopolitique changeante de la réglementation environnementale
- Différence positive pour notre environnement et pour les vies et le bien-être des collectivités
- Amélioration des niveaux de vie du monde sans répercussions négatives sur la santé et l'environnement

LES RÉACTEURS MODULAIRES DE PETITE TAILLE PEUVENT RÉPONDRE AUX BESOINS D'UN MARCHÉ POUR UNE ÉNERGIE PROPRE À DES ENDROITS ÉLOIGNÉS SANS RÉSEAU ÉLECTRIQUE.

- Les communautés éloignées utilisent actuellement du combustible diesel onéreux et émettant beaucoup de gaz à effet de serre
- Faible demande en énergie, pour livrer l'électricité là où elle est vraiment nécessaire
- Applications minières
- Adaptés aux emplacements sans réseau ou en bordure de réseau électrique
- Coût élevé des lignes de transport d'électricité

APPLICATIONS AU-DELÀ DE L'ÉLECTRICITÉ

Les concepteurs de technologie de réacteurs modulaires de petite taille envisagent des applications au-delà de la production électrique en réseau des gros réacteurs actuels. Les applications non électriques cibles varient en fonction de la conception. La température de sortie, la puissance thermique et électrique et le marché cible influencent les utilisations non électriques potentielles de n'importe quel concept de réacteur particulier. Les répondants à cet appel à manifestations d'intérêt ont indiqué que les réacteurs modulaires de petite taille pouvaient être utilisés pour :

- Chauffage urbain
- Chaleur industrielle
- Production d'hydrogène
- Production de carburant de synthèse
- Récupération de pétrole lourd
- Raffinage pétrochimique
- Dessalement
- Production d'oxygène
- Stockage d'énergie
- Propulsion de navires
- Production d'isotopes
- Recyclage de combustible usagé pour réduire le volume et la responsabilité du combustible actuellement utilisé
- Infrastructure et services communautaires, comme les serres, le réseau Internet à large bande pour usage médical et éducatif et l'aquaculture

POURQUOI LE CANADA

Même si la question n'est pas explicitement posée dans l'appel à manifestations d'intérêt, plusieurs raisons expliquant l'intérêt des répondants pour le Canada sont données dans le commentaire. Dans les réponses, il est clair qu'une des raisons de l'intérêt des répondants pour le cas du Canada est la publication de l'appel à manifestations d'intérêt. D'autres domaines ont été caractérisés dans les commentaires offerts par les répondants dans leurs soumissions. L'intérêt porté aux occasions canadiennes semble être motivé par les huit raisons suivantes :

- Les capacités des LNC et la disponibilité de ses sites agréés pour accueillir les réacteurs de démonstration
- Les vastes capacités du Canada en matière de sciences et technologies nucléaires
- Chaîne d'approvisionnement bien établie et capable avec des fournisseurs expérimentés et spécialisés en nucléaire
- Régime de réglementation bien respecté, capable et disposé à autoriser une installation de démonstration mise en œuvre pour la première fois
- Marché intérieur potentiel pour le déploiement initial
- Alignement avec les priorités et politiques du gouvernement, y compris la lutte contre le changement climatique, la promotion de la croissance économique et la promotion de l'innovation

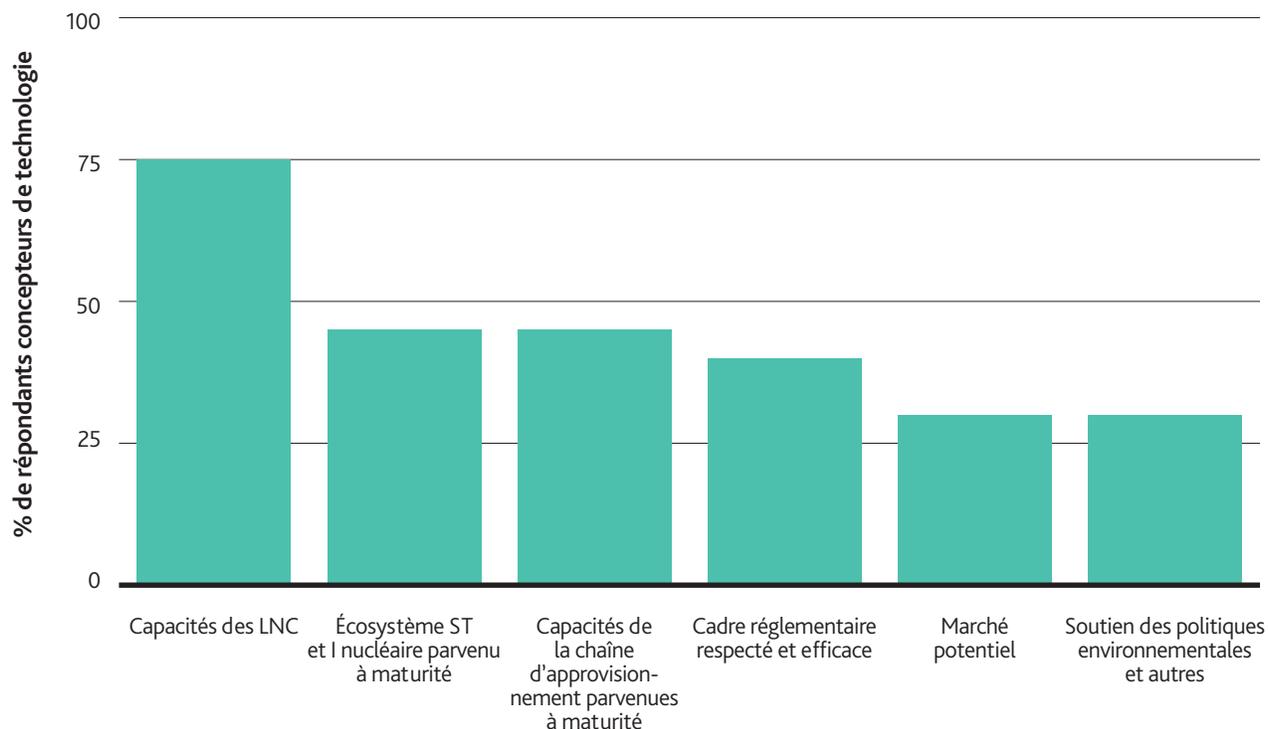
LES CINQ APPLICATIONS

NON ÉLECTRIQUES LES PLUS CITÉES :

1. Production d'hydrogène
2. Chauffage urbain
3. Dessalement
4. Regroupement avec stockage d'énergie
5. Production de chaleur pour usages industriels

Figure 7

RAISONS POUR LESQUELLES LE CANADA EST CONSIDÉRÉ COMME ATTRAYANT POUR LES CONCEPTEURS DE RÉACTEURS MODULAIRES DE PETITE TAILLE



Trois points doivent être mentionnés en particulier dans ces conclusions :

1. Capacité nucléaire du Canada

C'est le plus important facteur d'encouragement des concepteurs à obtenir le soutien du Canada. Cette capacité comprend en premier et avant tout, les sites accrédités des LNC, mais également la chaîne d'approvisionnement nucléaire et les capacités scientifiques et technologiques connexes pleinement développées des universités et organismes de recherche du Canada.

2. Le régime de réglementation du Canada

La force et l'intégrité de l'organisme de réglementation et le régime réglementaire connexe reviennent souvent dans les réponses à l'appel à manifestations d'intérêt. Le fait que de nombreux répondants indiquent qu'ils ont été contactés par la CCSN avant l'appel témoigne de cet intérêt.

La Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN) et la façon dont elle a mis en place un régime réglementaire solide, mais flexible, qui accepte

les nouvelles technologies ont été citées comme facilitant grandement le déploiement potentiel des réacteurs modulaires de petite taille et autres réacteurs évolués au Canada. De nombreux répondants commentent la façon dont le régime réglementaire permet l'innovation dans le secteur nucléaire au Canada, et comment le processus de délivrance de permis de la CCSN devrait servir de modèle aux autres autorités de réglementation. La CCSN a activement cherché une rétroaction sur la façon dont le cadre réglementaire canadien pouvait efficacement traiter les réacteurs modulaires de petite taille³.

3. Objectifs d'affaires

35 % des répondants ont identifié le désir de mettre sur pied un FEO et une chaîne d'approvisionnement canadiens forts qui commenceraient par exploiter la demande apparente sur le marché canadien, tandis que 30 % proposaient des partenariats internationaux en observant la demande mondiale et l'environnement concurrentiel qui devrait en découler.

³ Commission canadienne de sûreté nucléaire, « Petits réacteurs modulaires : Stratégie, approches et défis de la réglementation », Document de travail DIS-16-04, de mai 2016, et le « Rapport sur ce que nous avons entendu – DIS-16-04 », <http://nuclearsafety.gc.ca/eng/acts-and-regulations/consultation/completed/dis-16-04.cfm>



POINTS CLÉS MENTIONNÉS PAR LES RÉPONDANTS

LES LNC OFFRENT DES D'IMPORTANTES CAPACITÉS POUR LE DÉVELOPPEMENT ET LE DÉPLOIEMENT DES RÉACTEURS MODULAIRES DE PETITE TAILLE.

- Capacités adaptées au développement et au déploiement de réacteurs avancés
- Installations et infrastructures essentielles pour la construction et l'homologation d'un réacteur initial au Canada
- Sites existants accrédités adaptés à un réacteur de démonstration
- Le Canada pourrait accueillir un des rares sites nucléaires intégrés pour les opérations de rechargement en combustible

LE CANADA A UN ÉCOSYSTÈME PARVENU À MATURITÉ EN MATIÈRE DE SCIENCE, TECHNOLOGIE ET INNOVATION NUCLÉAIRES.

- Une industrie parvenue à maturité qui a déjà expérimenté le processus de développement de la technologie d'un fabricant d'équipement d'origine (FEO) avec le réacteur CANDU et qui est capable de renouveler ce succès
- Main-d'œuvre formée à l'université et dans les écoles de métiers comprenant les techniciens, scientifiques et ingénieurs,
- Infrastructure nucléaire nécessaire avec centres de recherche de pointe, universités et installations de l'industrie canadienne

LE CANADA UNE CHAÎNE D'APPROVISIONNEMENT NUCLÉAIRE PARVENU À MATURITÉ.

- Chaîne d'approvisionnement à maturité et opérateurs nucléaires expérimentés
- Infrastructure nucléaire civile nécessaire
- Capacités de fabrication existantes conçues pour le réacteur CANDU
- Tous les composants du réacteur peuvent être produits dans des installations canadiennes existantes; viabilité de la création d'un fabricant d'équipement d'origine et d'une chaîne d'approvisionnement canadiens
- Les entreprises canadiennes en particulier cherchent à se développer au Canada avec d'autres partenaires canadiens

- Créer une entreprise canadienne pour fournir une flotte dans tout le Canada et pour l'exportation
- Poursuivre les partenariats avec le Canada qui ont été développés dans l'industrie nucléaire
- Combiner les compétences et expériences internationales pour le développement des réacteurs modulaires de petite taille présenterait un avantage décisif
- Élaborer des collaborations à l'échelle mondiale et nationale

LE CANADA A UN CADRE RÉGLEMENTAIRE RESPECTÉ ET EFFICACE.

- Organisme de réglementation prévisible et de renom
- Examen de la conception du fournisseur préalable à l'autorisation par la Commission canadienne de sûreté nucléaire
- Processus réglementaire permettant un engagement plus rapide

LE MARCHÉ CANADIEN EST BIEN ADAPTÉ À LA TECHNOLOGIE DE RÉACTEURS MODULAIRES DE PETITE TAILLE.

- Le Canada est un marché potentiel pour les réacteurs modulaires de petite taille
- Possibilité d'installer une petite série de réacteurs modulaires de petite taille

LES POLITIQUES DU CANADA SONT EN PHASE AVEC LE DÉVELOPPEMENT ET LE DÉPLOIEMENT DES RÉACTEURS MODULAIRES DE PETITE TAILLE.

- Les politiques du gouvernement fédéral existant font du Canada un pays en faveur de l'énergie nucléaire
- Le Canada prend actuellement une position de chef de file en matière d'atténuation du changement climatique
- Pour le gouvernement, l'industrie nucléaire et les réacteurs modulaires de petite taille sont des parties importantes du programme d'innovation dans la technologie propre au Canada
- Le développement des réacteurs modulaires de petite taille s'intègre parfaitement avec les objectifs de RNCan



AVANTAGES POUR LE CANADA

Dans l'appel à manifestations d'intérêt, on a demandé aux concepteurs de technologie de réacteurs modulaires de petite taille les avantages de leur technologie pour le Canada. Les avantages ont été regroupés en plusieurs catégories : déploiement éloigné hors réseau, croissance économique, croissance des activités de R et D et de l'innovation, emploi et chaîne d'approvisionnement, source d'énergie propre à faibles émissions de gaz à effet et durable sur le plan de l'environnement et électricité à faible coût.

Il convient de noter que 30 % des répondants de la section des soumissions générales ont également donné des points de vue sur les avantages potentiels des réacteurs modulaires de petite taille pour le Canada, même si ce n'était pas une question explicite. Le pourcentage de répondants qui ont identifié chacun de ces avantages est illustré à la Figure 8.

Les concepteurs qui ont répondu ont accordé une grande importance aux facteurs économiques, à l'innovation et à l'environnement. Les réponses hors du groupe des concepteurs de technologie mettaient plus l'accent sur les réacteurs modulaires de petite taille comme solution énergétique pour les régions éloignées hors réseau électrique et comme source d'énergie propre.

Points saillants :

Avantage économique global

Bien que la plupart des répondants conviennent que les avantages économiques potentiels pour le Canada en matière d'emplois, de croissance économique et de produit intérieur brut (PIB) devraient être matériels, seulement six des répondants ont donné des indications quantifiées des avantages économiques potentiels, comme les emplois et le PIB.

De nombreux avantages quantifiés identifiés par les répondants sont basés sur des hypothèses de taille et de pénétration du marché qui n'ont pas été entièrement divulguées. Ceci n'est pas surprenant étant donné que les répondants ont indiqué clairement qu'un travail important était nécessaire pour estimer de façon raisonnable le marché potentiel. Beaucoup de répondants ont cité des études de marché et des statistiques⁴, dont on peut déduire que les attentes en matière d'emploi et de PIB peuvent être similaires à celles des installations nucléaires actuelles.

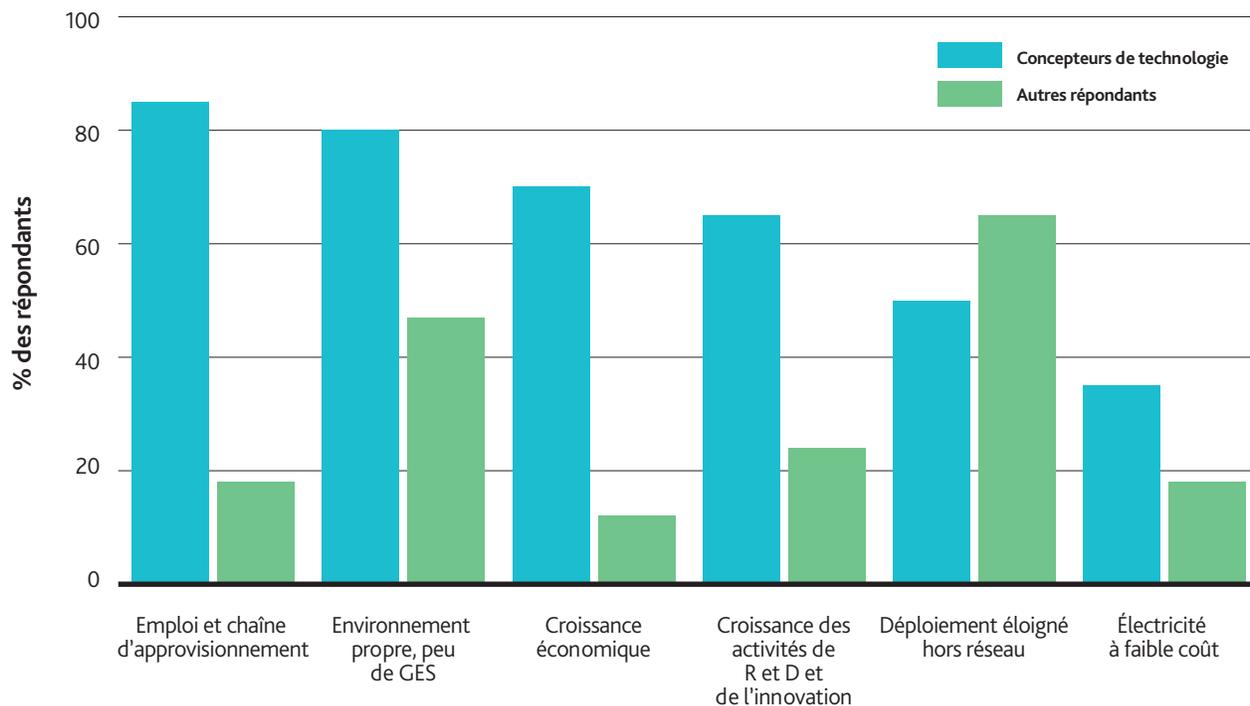
Emploi et chaîne d'approvisionnement

17 des 20 réponses des concepteurs de technologie ont fait état de l'utilisation ou du renforcement de la chaîne d'approvisionnement nucléaire du Canada dans le cadre de la mondialisation, le développement de fournisseurs locaux, et l'approvisionnement des composants et matériaux au Canada dans la mesure du possible. À partir des réponses à l'appel à manifestations d'intérêt, les emplois créés ne seront pas limités à la fabrication, mais seront aussi dans toute une gamme de services qui feront appel à des entreprises canadiennes en ingénierie, construction et aux aspects juridique, financier et réglementaire du projet.

4 Laboratoires Nucléaires Canadiens, « Petit réacteurs modulaires (PRM) – Étude de faisabilité », 2014; Association nucléaire canadienne, Aide-mémoire du nucléaire au Canada 2016; Nuclear Energy Institute, « Nuclear Energy's Economic Benefits – Current and Future », 2014; PricewaterhouseCoopers, « The socio-economic impact of the nuclear power industry in France; Agence internationale de l'énergie, « Perspectives énergétiques mondiales 2017 »

Figure 8

AVANTAGES DES RÉACTEURS MODULAIRES DE PETITE TAILLE POUR LE CANADA IDENTIFIÉS PAR LES RÉPONDANTS⁵.



Certains répondants ont donné des indications sur la base des emplois par usine. La normalisation de ces estimations dans un cadre commun de référence suggère que les années de service d'une personne (ASP) pour l'exploitation pourraient aller de 0,5 à 0,6 ASP par MWe de capacité installée (pour les centrales comprises entre 300 MWe et 600 MWe). Les estimations des travaux de construction sont comprises entre 1,4 et 2 ASP par MWe de capacité. Ceci est plutôt inférieur aux emplois actuels sur les réacteurs opérationnels, comme on pourrait attendre, étant donné que les caractéristiques des réacteurs évolués comprennent une automatisation des opérations et une modularisation importantes pour la construction. Les répondants ont indiqué que les emplois seraient généralement hautement qualifiés et par conséquent avec des salaires élevés.

Communautés éloignées

De nombreux concepts de réacteurs modulaires de petite taille sont envisagés pour les communautés ou industries des régions éloignées, non raccordées au réseau électrique, comme dans le secteur minier. Actuellement, le carburant diesel est la principale source d'énergie, ce qui est à la fois coûteux et une source de gaz à effet de serre. Des répondants ont indiqué dans leurs soumissions que le remplacement de génératrices diesel par des réacteurs modulaires de petite taille et éventuellement

d'autres énergies renouvelables, pourrait établir l'indépendance énergétique et permettre la croissance dans les communautés éloignées. Les subventions territoriales des compagnies d'électricité pourraient être réduites, ainsi que le coût de la vie. Les répondants ont indiqué que les perspectives de petites entreprises s'amélioreraient et que le niveau de vie dans ces communautés éloignées non raccordées au réseau électrique, y compris la santé, l'éducation et l'espérance de vie, augmenterait.

Les répondants ont noté que l'utilisation de réacteurs modulaires de petite taille rentables pour alimenter les exploitations minières ainsi que la cogénération de chaleur amélioreraient les marges bénéficiaires de ces activités. On pourrait alors extraire des minerais qui ne pourraient pas autrement être rentables à exploiter, ce qui augmenterait les emplois locaux.

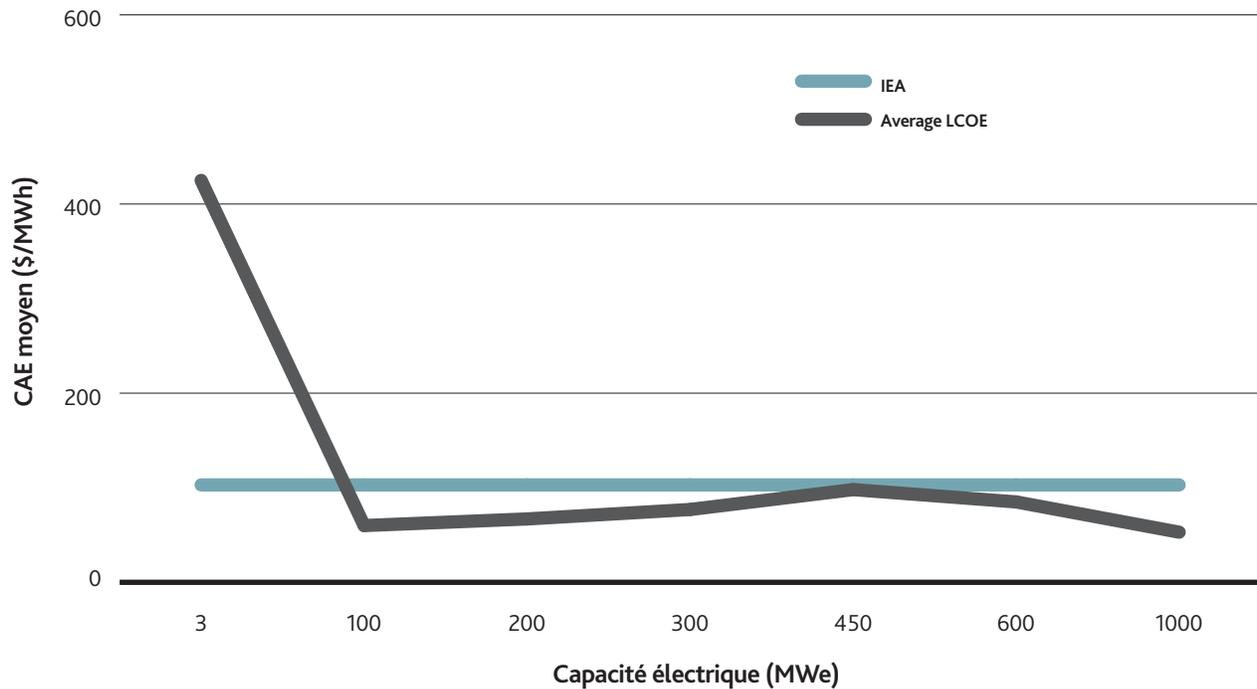
Électricité à faible coût

30 % des concepteurs ont insisté sur les besoins en électricité à faible coût dans leurs soumissions comme base nécessaire pour la réussite commerciale de pénétration des marchés. La Figure 9 illustre le coût actualisé de l'énergie (CAE) prévu en fonction des différentes conceptions de réacteurs modulaires de petite taille selon leurs concepteurs. La plupart des répondants ont indiqué un CAE inférieur à 100 \$, avec les estimations de coût les plus basses

⁵ Cette figure donne le pourcentage de répondants qui ont mentionné les avantages des réacteurs modulaires de petite taille pour le Canada. 100 % des concepteurs ont mentionné les avantages, alors que 29 % des autres ont mentionné un avantage.

Figure 9

CAE COMMERCIAL MOYEN PRÉVU, \$/MWH PAR CAPACITÉ DE CENTRALE EN MWE



à presque la moitié de ce niveau. Certains répondants ont précisé que la prévision de CAE de l'Energy Information Administration⁶ pour l'énergie nucléaire conventionnelle était légèrement supérieure à 100 \$/MWh, comme indiqué pour référence à la Figure 9. Les coûts bas sont concernés les centrales d'une capacité de 100 à 300 MWe ainsi que les plus grosses centrales. Les réponses indiquent que les coûts prévus augmentent considérablement avec les très petites centrales, mais il faut également noter que ces réacteurs ont des facteurs déterminant le marché différents (p. ex., compensation des coûts élevés du combustible diesel).



Les réacteurs modulaires de petite taille installés au Canada permettront de faire du développement des ressources naturelles respectueux de l'environnement.

Organization of Canadian Nuclear Industries

⁶ Energy Information Administration, le rapport intitulé *Annual Energy Outlook 2016*



POINTS CLÉS MENTIONNÉS PAR LES RÉPONDANTS

LE CANADA EN BÉNÉFICIERA GRÂCE À LA CRÉATION D'EMPLOIS ET AU DÉVELOPPEMENT DE LA CHAÎNE D'APPROVISIONNEMENT.

- Des emplois seront créés tout au long de la durée du projet, ce qui comprend la R et D, la conception, l'obtention d'un permis, la construction, la fabrication, l'exploitation et la mise hors service.
- Tous les composants peuvent être produits au Canada sans grandes nouvelles installations ni chaînes de montage.
- Volonté d'obtenir la matière brute et les composants auprès de fournisseurs canadiens lorsque c'est possible.

IL Y AURA UN CERTAIN NOMBRE D'AVANTAGES DE NATURE ENVIRONNEMENTALE POUR LE CANADA.

- Source d'électricité de base sans carbone.
- Développement des ressources naturelles respectueux de l'environnement.
- Capacité de fonctionnement en suivi de charge permettant de faire une intégration avec les sources d'énergie renouvelable.
- Certains réacteurs permettent d'utiliser le combustible nucléaire usé, ce qui entraîne une diminution des déchets nucléaires.

LE CANADA CONNAÎTRA UNE CROISSANCE ÉCONOMIQUE.

- La commercialisation entraînera un développement continu, des investissements, l'acquisition de droits de propriété intellectuelle et créera des emplois.
- Le premier pays à mettre en place des réacteurs modulaires de petite taille attirera des investissements étrangers supplémentaires.

LA CAPACITÉ DU CANADA EN MATIÈRE DE SCIENCE, D'INNOVATION ET DE RECHERCHE CROÎTRA.

- Sans de nouvelles installations, le Canada ne sera plus un pays nucléaire de première classe.
- Les réacteurs modulaires de petite taille permettront de relancer l'innovation.
- Des compagnies de technologie de pointe seront tentées de s'installer au Canada.
- Les LNC pourraient établir les fondations de programmes de R et D de pointe qui attireraient des étudiants et des chercheurs étrangers.
- Les pratiques liées aux réacteurs modulaires de petite taille (c.-à-d. la conception, la fabrication et l'assemblage modulaire) s'appliqueraient à d'autres secteurs (p. ex., l'aéronautique et la construction).

LE CANADA DISPOSERA D'UNE SOURCE D'ÉNERGIE FIABLE ET PROPRE À DES ENDROITS ÉLOIGNÉS SANS RÉSEAU ÉLECTRIQUE.

- Communautés et industries non raccordées au réseau indépendantes du réseau.
- Option économique pour les régions éloignées ayant recours au diesel pour produire de l'électricité.
- Applications supplémentaires des réacteurs modulaires de petite taille (comme le chauffage à distance).

LE CANADA TIRERA DES AVANTAGES D'UNE SOURCE D'ÉLECTRICITÉ FIABLE ET ÉCONOMIQUE.

- Concurrentiel sur le plan des prix par rapport à d'autres sources d'énergie.
- Électricité à faible coût pour les besoins de base et les périodes de pointe.



L'énergie nucléaire devrait soutenir les engagements du Canada en matière de réductions d'émissions de carbone.

Ontario Power Generation



EXIGENCES POUR METTRE EN PLACE DES RÉACTEURS MODULAIRES DE PETITE TAILLE AVEC SUCCÈS

La plupart des répondants ont indiqué ce qu'ils considéraient comme des exigences pour mettre en place avec succès des réacteurs modulaires de petite taille au Canada. Bien que les réponses touchaient à un grand nombre de sujets, certaines thématiques se dégagent de façon claire : avantages économiques, acceptation du public, production d'énergie propre, sécurité, possibilité d'obtenir un permis et fiabilité.

Le pourcentage de répondants ayant mentionné certaines exigences est indiqué dans la Figure 5.

Il y avait des différences relativement à la façon dont les répondants abordaient le sujet des exigences : certains mentionnaient des exigences liées à la technologie comme la sécurité alors que d'autres se concentraient sur des exigences ne concernant pas les réacteurs en tant que tels, comme l'acceptation du public.

Selon les réponses, il est évident que la sécurité est une exigence de première importance. Quoique les répondants, particulièrement les concepteurs de technologie, aient discuté des caractéristiques de sécurité des réacteurs qu'ils proposaient, la sécurité n'était parfois pas mentionnée comme exigence, et les données de la figure n'en tiennent pas compte. Les répondants considèrent la sécurité comme une caractéristique intrinsèque de cette technologie. Si elle n'était pas parfaitement sécuritaire, ils ne la considéraient même pas comme une option viable. Les réponses concernaient donc d'autres exigences devant être satisfaites pour mettre en place les réacteurs.

Le problème principal mis en relief par les réponses était la question monétaire : s'il est impossible de prouver que la technologie permet de tirer des avantages économiques, ou si les coûts en capital ou du cycle de vie sont trop élevés, alors le projet ne pourra pas être réalisé avec succès.

Les répondants ont conscience de la menace posée par les changements climatiques et du fait que les réacteurs modulaires de petite taille peuvent fournir une source d'énergie propre sans gaz à effet de serre.

Pour les mettre en place, l'acceptation de l'utilisation de l'énergie nucléaire par le public à tous les échelons et par tous les partis sera nécessaire : local, provincial, fédéral et toutes les parties prenantes, ce qui comprend les peuples autochtones.

Il faut pouvoir obtenir un permis pour les réacteurs modulaires de petite taille. L'organisme de règlement doit avoir un cadre réglementaire pour ceux-ci et pouvoir accorder des permis de façon efficace en fonction de coûts et d'un échéancier prévisibles.

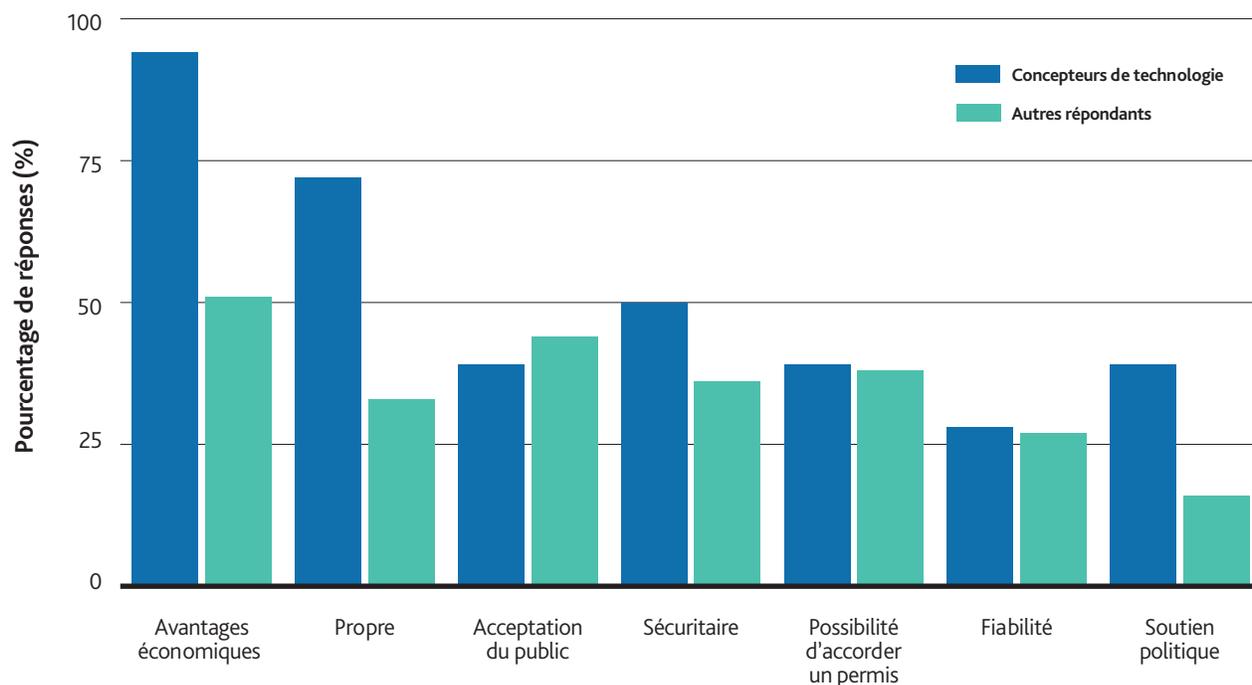
Particulièrement pour les réacteurs situés à des endroits éloignés où il n'y a pas de réseau, il est essentiel qu'ils soient fiables et qu'il y ait un minimum de pannes.

Pour développer et mettre en place les nouvelles technologies, il doit y avoir un soutien politique constant.

D'autres explications des répondants relativement à ces points se trouvent dans l'annexe.

Figure 10

10 POURCENTAGE DE RÉPONDANTS AYANT INDIQUÉ CERTAINES EXIGENCES POUR LA MISE EN PLACE DE RÉACTEURS MODULAIRES DE PETITE TAILLE⁷



Faites participer les communautés des Premières Nations et favorisez leur participation en tant que professionnels techniques ou des affaires ou en tant que fournisseurs.

X-Energy

⁷ Cette figure présente le pourcentage de répondants ayant mentionné certaines exigences pour mettre en place avec succès des réacteurs modulaires de petite taille au Canada. 82 % des concepteurs ont mentionné les avantages économiques, tandis que 56 % des autres répondants ont indiqué une autre exigence.



POINTS CLÉS MENTIONNÉS PAR LES RÉPONDANTS

IL FAUT TIRER DES AVANTAGES ÉCONOMIQUES DES RÉACTEURS.

- Ils doivent avoir des conséquences positives sur l'économie locale et nationale.
- Ils doivent entraîner la création d'emplois locaux et d'emplois ailleurs au Canada intégrés dans la chaîne d'approvisionnement canadienne.
- Source d'énergie propre et économique
- Coûts en capital faibles.
- Coûts de cycle de vie faibles.
- Comparables à ceux d'autres sources d'énergie.
- Percées commerciales requises.

LES RÉACTEURS DOIVENT PRODUIRE DE L'ÉNERGIE DE FAÇON PROPRE.

- Près de zéro émission de gaz à effet de serre pour toute leur durée de vie.
- Intégrable aux autres sources d'énergie renouvelable.
- Composante d'une économie « décarbonée ».
- Faible production de déchets, petits stocks d'actinide et peu besoin d'eau.
- Stratégie de mise hors service et de gestion des déchets viable requise.
- Site doit redevenir une zone verte.

SOUTIEN LOCAL ET SOCIAL NÉCESSAIRES.

- Sensibilisation, acceptation et soutien.
- Acceptation à tous les échelons : local, provincial et national.
- Communautés convaincues de la pertinence du projet.
- Conséquences économiques positives de façon locale requises pour obtenir l'acceptation des communautés.
- Acceptation et engagement des communautés autochtones essentiels, surtout dans le Nord du Canada.
- Acceptation des réacteurs modulaires de petite taille par la société dans son ensemble.
- Les défis relatifs à l'acceptation par la société de l'utilisation de l'énergie nucléaire s'appliquent aussi à ces réacteurs.
- Processus de prise de décision où la communauté est bien informée.

RÉACTEURS SÉCURITAIRES.

- Caractéristiques de sécurité développées.

- Sécurité améliorée par rapport aux installations contemporaines.
- Caractéristiques de sécurité passive ou intrinsèque requises.

POSSIBILITÉ D'ACCORDER UN PERMIS POUR LES RÉACTEURS.

- L'organisme de réglementation doit être certain que les réacteurs sont sécuritaires pour accorder des permis.
- Le processus de délivrance de permis doit être efficace.
- Les coûts du processus de délivrance de permis doivent être connus avec certitude.
- La durée du processus de délivrance de permis doit être connue avec certitude.
- Codes et normes applicables pour la conception, l'approvisionnement, la construction et l'exploitation.

LES RÉACTEURS DOIVENT ÊTRE FIABLES.

- Les réacteurs doivent avoir un taux de disponibilité élevé.
- Les pannes de fonctionnement doivent être minimisées.
- C'est particulièrement important pour les consommateurs industriels de chaleur industrielle potentiels et les applications où il n'y a pas de réseau.

IL DOIT Y AVOIR UN SOUTIEN POLITIQUE.

- Pour la mise en place des réacteurs, tous les ordres de gouvernement doivent offrir un soutien sous la forme de politiques publiques.
- Les outils politiques comprennent les incitations fiscales (comme les taxes sur les émissions carboniques), les accords d'achat d'énergie, les partenariats public-privé, les garanties d'emprunt et le financement public partiel des réacteurs.
- Le soutien politique doit être constant, car cela prend beaucoup de temps pour mettre en place des réacteurs et ceux-ci ont une longue durée de vie.
- Mettre en place des conditions de marché adéquates.
- Créer un marché rapidement, en se servant des réacteurs pour atteindre d'autres objectifs gouvernementaux, comme la réduction des émissions de carbone produites par les opérations militaires et dans les régions éloignées ou élaborer des accords d'achat d'énergie pour des technologies mises en place pour la première fois.

Les peuples autochtones ont été mentionnés par de nombreux répondants. Les concepteurs de technologie et les autres joueurs de l'industrie ont conscience de l'importance et de la nécessité d'engager ceux-ci dans le processus. Les commentaires incluaient les éléments suivants :

- La nécessité d'avoir un dialogue continu, respectueux et efficace avec les organisations et les municipalités autochtones du Nord du Canada.
- Faire participer les communautés des Premières Nations et favoriser leur participation en tant que professionnels techniques ou des affaires ou en tant que fournisseurs.
- Favoriser les partenariats économiques et de gestion et les copropriétés avec les communautés locales et autochtones.

Les répondants ont discuté du fait que les peuples autochtones, particulièrement ceux des communautés éloignées, qui se servent du diesel comme source d'énergie principale pourraient tirer de grands avantages des réacteurs. À mesure que l'industrie des réacteurs modulaires de petite taille se développera, il faudra consulter ces communautés et les engager dans le processus pour veiller à ce que le point de vue des utilisateurs finaux potentiels soit bien compris.

Voici d'autres exigences mentionnées par les répondants :

- Exploitation autre que la production d'électricité
- Conception et utilisation simples
- Mise en place rapide
- Risques bien compris et quantifiés
- Réacteur transportable
- Planifications précises et prévisibles
- Réacteurs non raccordés au réseau électrique pouvant être contrôlés à distance
- Conception uniformisée
- Taille modulable
- Besoins en dotation de personnel aussi réduits que possible
- Questions de sécurité évaluées et traitées rapidement, particulièrement pour les nouveaux concepts
- Option de recycler les stocks de combustible usé actuels pour s'en servir comme combustible



Une des faiblesses principales de l'industrie nucléaire canadienne est que les "scientifiques s'adressent à un public scientifique" plutôt qu'au public canadien.

Systemes Humains-Machines Inc.



DÉFIS POUR METTRE EN PLACE LES RÉACTEURS

De nombreux répondants ont indiqué des obstacles et des défis devant être surmontés pour mettre en place les réacteurs. Les défis mentionnés les plus fréquemment sont l'obtention du financement pour un type d'unité mis en place pour la première fois, l'obtention de l'acceptation sociale, la mise en place d'une réglementation pour une technologie inconnue, la réalisation d'une analyse de rentabilité solide et l'obtention du soutien du gouvernement.

Le pourcentage de répondants ayant mentionné ces défis sont indiqués dans la Figure 11.

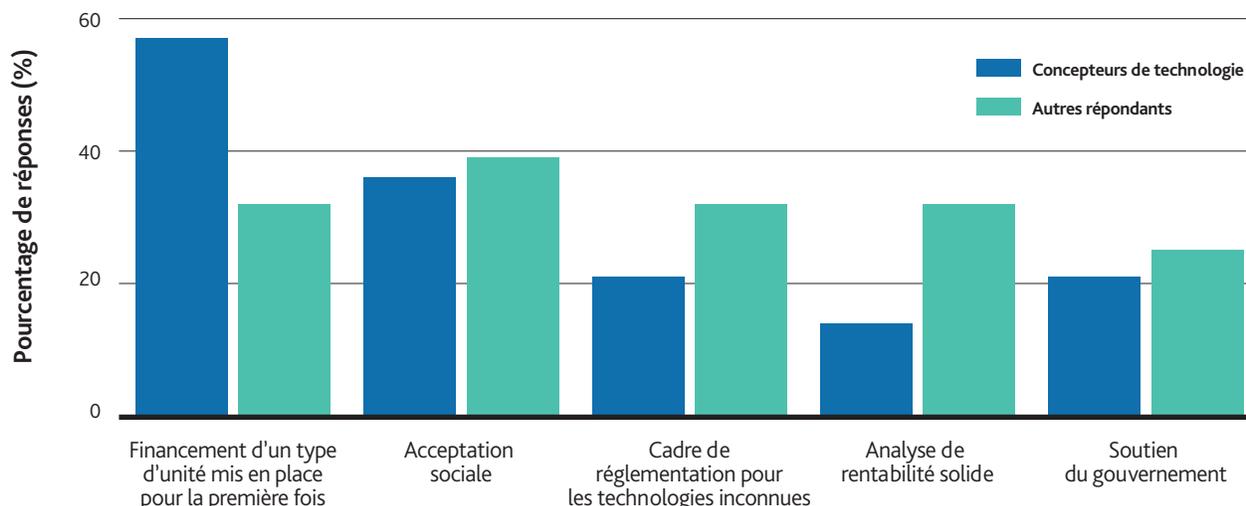
Les défis indiqués ici et les exigences mentionnées dans les sections précédentes sont souvent liés. Les répondants percevaient souvent des exigences à satisfaire de la section précédente

comme des obstacles à surmonter. De façon similaire, certains des défis mentionnés dans la présente section sont associés aux sujets de recherche devant être explorés davantage indiqués dans la section de R et D ci-bas.

L'obtention du financement pour la construction d'une unité dotée d'une technologie jamais installée auparavant, ce qui est associé à un risque plus élevé que pour les technologies familières, était considéré comme le défi principal. Il était suivi de près par l'obtention de l'acceptation du public. Bien que de nombreux répondants considèrent le cadre réglementaire canadien comme solide et favorable pour les nouvelles technologies, il y a néanmoins de l'inquiétude quant à la capacité de réglementer des technologies inconnues. La réalisation d'une analyse de rentabilité solide, particulièrement pour des technologies destinées à de nouveaux marchés, a été mentionnée surtout par les répondants qui ne sont pas des concepteurs. L'obtention du soutien du gouvernement, aussi mentionné comme une exigence importante, est aussi considérée comme un obstacle pour la mise en place des réacteurs.

Figure 11

POURCENTAGE DE RÉPONDANTS AYANT INDIQUÉ CERTAINS DÉFIS DEVANT ÊTRE SURMONTÉS POUR LA MISE EN PLACE DE RÉACTEURS MODULAIRES DE PETITE TAILLE⁸



⁸ Cette figure présente le pourcentage de répondants ayant indiqué certains défis pour la mise en place des réacteurs modulaires de petite taille au Canada. 64 % des concepteurs et 35 % des autres répondants seulement ont mentionné un défi.



POINTS CLÉS MENTIONNÉS PAR LES RÉPONDANTS

CERTAINS DÉFIS SONT ASSOCIÉS AU FINANCEMENT D'UN TYPE D'UNITÉ MIS EN PLACE POUR LA PREMIÈRE FOIS OÙ D'UN RÉACTEUR DE DÉMONSTRATION.

- Les coûts d'une telle unité iraient de plusieurs centaines de millions à plus d'un milliard de dollars.
- Aucune organisation ne sera probablement disposée à assumer tout le risque.
- Il faut obtenir une certaine forme de soutien de la part du gouvernement.

UN AUTRE DÉFI CONSISTE À OBTENIR L'ACCEPTATION SOCIALE DE CE TYPE DE RÉACTEUR.

- Il y a plusieurs obstacles à surmonter pour faire accepter socialement l'utilisation de l'énergie nucléaire.
- Il faut sensibiliser les gens.
- On considère que le niveau d'acceptation est faible en raison du peu de familiarité des gens avec cette technologie.
- Dans le passé, le public n'a pas été bien informé des avantages associés à ces technologies.
- Il n'y a pas de signe clair indiquant que le public soutiendrait en masse la mise en place de réacteurs.
- Il n'y a aucune certitude qu'une communauté hôte offrirait un soutien continu.
- Le gouvernement doit soutenir le processus de sensibilisation du public.

IL FAUT FAIRE UNE ANALYSE DE RENTABILITÉ SOLIDE POUR RÉALISER CE PROJET AVEC SUCCÈS.

- Les plans d'affaires proposés ne sont peut-être pas réalisables.
- Les clients dont les besoins seraient satisfaits en mettant en place les réacteurs proposés n'ont pas nécessairement été déterminés.
- Des doutes existent quant aux prévisions de coût et aux risques de dépassement de coûts.

- Il n'y a pas d'indice clair comme quoi les réacteurs seraient concurrentiels sur le plan des prix.
- Les coûts dépendent du marché. Ils seraient plus élevés pour les marchés des endroits éloignés où il n'y a pas de réseau électrique.

IL FAUT UN SOUTIEN GOUVERNEMENTAL CONSTANT POUR LE DÉVELOPPEMENT ET LA MISE EN PLACE.

- Un soutien politique et un soutien sous la forme de politiques publiques sont requis.
- Il doit y avoir un soutien politique maintenu pendant des décennies pour réaliser la mise en place avec succès.
- Les différents ordres de gouvernement doivent collaborer.
- Des politiques provinciales et fédérales claires qui demeurent en place sont requises.

IL PEUT Y AVOIR DES DÉFIS LIÉS À LA DÉLIVRANCE DE PERMIS POUR DES TECHNOLOGIES INCONNUES.

- La plupart des répondants considèrent que le Canada est le meilleur endroit pour délivrer des permis pour de nouvelles technologies.
- Ceux-ci ont aussi indiqué que l'organisme de réglementation a surtout de l'expérience pour les réacteurs refroidis à l'eau.
- Les technologies de plusieurs réacteurs proposés impliquent l'utilisation de nouveaux caloporteurs ou combustibles.
- Il est incertain qu'il soit possible d'accorder des permis pour ces nouveaux types de réacteurs de façon efficace en vertu de la réglementation actuelle, en pouvant anticiper les coûts et la durée du procédé de délivrance de permis⁹.

Voici d'autres obstacles mentionnés par les répondants :

- Il n'est pas certain qu'il y ait une demande en énergie.
- Responsabilités en matière de déchets.
- Personnel hautement qualifié insuffisant.
- Technologies non éprouvées et importants travaux de R et D en amont requis.
- Choix d'un site pour un type d'unité mis en place pour la première fois.
- État de préparation de la chaîne d'approvisionnement.
- Expérience en matière d'exploitation insuffisante.

⁹ La CCSN a activement sollicité l'avis des gens sur la façon dont le cadre réglementaire canadien pourrait encadrer les réacteurs modulaires de petite taille, comme le prouve le document DIS-16-04 « Petits réacteurs modulaires : Stratégie, approches et défis de réglementation » paru le mois de mai 2016.



POINTS DE VUE DES PARTIES PRENANTES

La plupart des parties prenantes ont mentionné des exigences et des défis similaires à ceux déjà présentés. Néanmoins, des parties prenantes spécifiques ont insisté sur certains points en particulier.

Les **services publics, les exploitants et les utilisateurs finaux** potentiels accordent beaucoup d'importance au fait que les sources d'énergie doivent émettre le moins de gaz à effet de serre possible et doivent n'avoir que des conséquences limitées sur l'environnement. Obtenir des avantages économiques est aussi une priorité. Ces parties prenantes ont aussi soulevé le fait qu'il y a trop de types de réacteurs modulaires de petite taille proposés en ce moment. Dans l'une des réponses, il était proposé d'employer une approche pancanadienne dans le cadre de laquelle la sélection d'une technologie spécifique et la mise en place de réacteurs presque identiques seraient favorisées. Cette forme d'uniformisation réduirait les coûts et les incertitudes. Certains répondants ont exprimé des inquiétudes sur les défis liés à la délivrance de permis pour des technologies inconnues (c.-à-d. des réacteurs non refroidis à l'eau).

Le **secteur d'extraction des ressources** (ce qui comprend l'industrie pétrolière, gazière et minière) a indiqué qu'il souhaitait mieux comprendre le rôle potentiel des réacteurs pour une extraction de ressources durable sur le plan de l'environnement afin d'aider à diminuer leurs émissions de gaz à effet de serre. Pour que les technologies des réacteurs fonctionnent pour ces applications, il a été mentionné qu'elles devaient être fiables, sécuritaires et concurrentielles sur le plan des prix par rapport aux technologies actuelles. Une technologie pouvant produire de l'électricité et de la chaleur est doublement attrayante. Le potentiel de mobilité des réacteurs a été remarqué, puisque ceux-ci seraient seulement requis pour la durée de projet, et la possibilité de pouvoir les installer ailleurs après un projet est une caractéristique importante. Un répondant a proposé qu'utiliser un modèle fondé sur un principe de location, de remise à neuf et de réinstallation serait idéal. Il serait aussi important de minimiser les impacts environnementaux et la responsabilité environnementale à long terme.

La partie prenante de la **chaîne d'approvisionnement du secteur nucléaire**, ce qui comprend les fournisseurs de produits et de services, a mentionné le besoin d'avoir une chaîne d'approvisionnement adéquate et a encouragé la collaboration avec les autres parties prenantes. Elle a exprimé sa préoccupation relativement à la maturité technologique des réacteurs et il a été déterminé qu'exploiter avec succès un réacteur de démonstration est un prérequis pour réussir la mise en place. Les problèmes liés à l'économie, à la sécurité et à la délivrance de permis sont des priorités élevées.

Les concepteurs de technologie de réacteurs considèrent que les questions économiques et l'obtention du financement pour un prototype ou un réacteur de démonstration sont des priorités élevées. Ils ont aussi insisté sur le fait que la technologie doit être suffisamment mature.

Les organisations industrielles et de défense ont mis l'accent sur la nécessité que les réacteurs soient dotés de dispositifs de sécurité importants, améliorés ou de dispositifs de sécurité intrinsèque.

Les communautés et les individus ont surtout fréquemment mentionné l'importance de pouvoir en tirer des avantages économiques. Il a été indiqué qu'exploiter avec succès un réacteur de démonstration est un prérequis pour en mettre en place un plus grand nombre, mais son emplacement éventuel n'a pas été déterminé de façon claire. L'acceptation par les communautés hôtes de la présence de réacteurs était évidemment importante pour cette partie prenante.

Les instituts de recherche et les établissements universitaires accordaient beaucoup d'importance à l'acceptation sociale de l'énergie nucléaire et de son rôle crucial pour une mise en place de réacteurs modulaires réalisée avec succès. Les obstacles liés aux déchets nucléaires et les responsabilités nucléaires héritées ont été mis de l'avant uniquement par ce groupe. Des exigences de R et D supplémentaires ont aussi été mentionnées comme obstacles potentiels.



La plupart des risques et des problèmes relevés qui sont des obstacles potentiels à la mise en place de réacteurs modulaires de petit taille sont de nature économique, politique et sociale plutôt que de nature technologique.

Sylvia Fedoruk Canadian Centre for Nuclear Innovation Inc.



GOVERNEMENT : UNE DEMANDE DE SOUTIEN

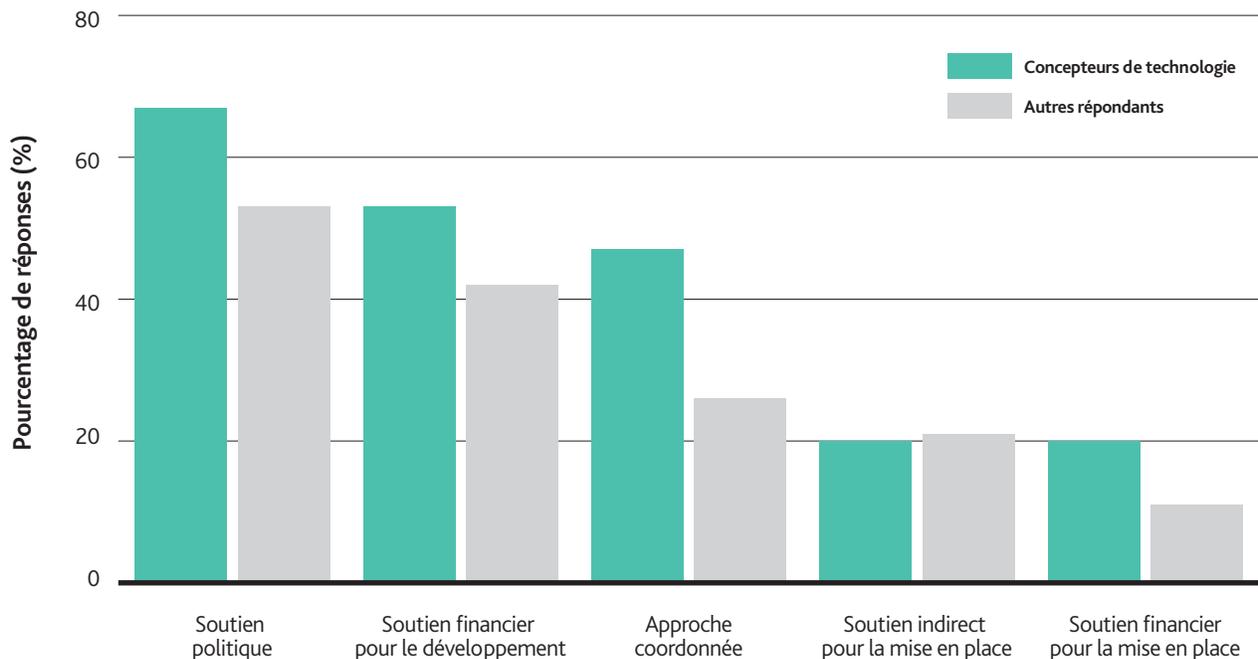
Les répondants ont indiqué de nombreux rôles que le gouvernement pourrait remplir afin de favoriser l'industrie canadienne des réacteurs modulaires de petite taille. Les répondants ont demandé que le gouvernement fournisse un soutien politique constant sans équivoque pour l'énergie nucléaire et les réacteurs modulaires de petite taille en particulier, un soutien financier pour le

développement, un soutien indirect et financier pour la mise en place et qu'il mette en place une approche coordonnée pour tous les ordres de gouvernement.

La Figure 12 montre la perception des concepteurs et des autres répondants par rapport aux rôles que le gouvernement devrait remplir.

Figure 12

RÔLES QUE LE GOUVERNEMENT DEVRAIT REMPLIR POUR LE DÉVELOPPEMENT ET LA MISE EN PLACE DES RÉACTEURS MODULAIRES DE PETITE TAILLE SELON LES RÉPONDANTS¹⁰



¹⁰ La figure montre le pourcentage de répondants qui ont mentionné certains rôles pour le gouvernement. 75 % des concepteurs et 33 % des autres répondants ont mentionné un rôle pour le gouvernement.

Les concepteurs et les autres répondants partageaient le même point de vue relativement aux priorités et aux rôles du gouvernement. La nécessité d'avoir un soutien politique était le rôle mentionné le plus fréquemment. Le soutien financier pour le développement arrivait en deuxième position, en corrélation avec le risque associé à une unité dotée d'une technologie implantée pour la première fois. En troisième position arrivait la nécessité de coordonner les travaux pour veiller à répondre du Canada de la façon la plus économique pour les Canadiens. Quelques répondants ont indiqué le soutien financier pour la mise en place, mais presque 30 % des concepteurs ont mis l'accent sur d'autres formes de soutien gouvernemental indirect pour celle-ci, comme mettre en place et contrôler des conditions de marché favorables. On a relevé le soutien gouvernemental offert par la Chine, la Russie et les États-Unis pour leur marché.

La longue durée de vie et les coûts initiaux extrêmement élevés entraînent des risques importants pour les premiers à se lancer dans ce marché. L'un des répondants a souligné qu'entreprendre un projet de cette ampleur pour n'importe quel secteur serait très difficile sans garantie de l'État comme filet de sécurité même s'il était possible de respecter le budget et les délais.

Certains répondants ont affirmé que l'industrie pourrait rapidement subvenir à ses besoins une fois qu'un prototype de démonstration serait construit et qu'il était prouvé qu'il est possible d'obtenir un rendement du capital investi intéressant.

Les répondants ont aussi mentionné que les installations nucléaires canadiennes sont concentrées dans les mêmes régions. Les réacteurs modulaires seraient installés dans des zones géographiques à l'extérieur de celles-ci. Il serait nécessaire que les gouvernements fédéral et provinciaux aient une approche cohérente et coordonnée pour assurer le succès.

Afin d'aligner les efforts des divers ordres gouvernementaux, des régions, des communautés et des parties prenantes, certains répondants ont proposé d'adopter une stratégie nationale ou pancanadienne. On a mentionné qu'une telle approche est notamment employée pour l'initiative des supergrappes d'innovation du gouvernement du Canada, dans le cadre de laquelle il est possible d'aligner le soutien et les efforts de coordination des ressources nationales, ce qui comprend les travaux de R et D, à l'échelle du pays.



Chaque fournisseur devra communiquer avec le public [...], mais il est de la responsabilité du gouvernement de soutenir à grande échelle ce processus de sensibilisation.

StarCore Nuclear



POINTS CLÉS MENTIONNÉS PAR LES RÉPONDANTS

IL FAUT OBTENIR UN SOUTIEN POLITIQUE POUR METTRE EN PLACE LES RÉACTEURS AVEC SUCCÈS.

- Soutien politique sans équivoque pour la production d'énergie nucléaire et les réacteurs modulaires de petite taille en particulier.
- Engagement du gouvernement à maintenir son soutien de façon stable et continue.
- Soutien en matière de sensibilisation du public pour obtenir un vaste soutien public en faveur des réacteurs modulaires de petite taille.
- Politique forte pour combattre les changements climatiques soutenant le développement de l'énergie nucléaire.

LE SOUTIEN FINANCIER SERA LA CLÉ DU DÉVELOPPEMENT FUTUR.

- Rôle initial d'aider à satisfaire aux exigences financières et d'atténuer les risques, comme pour les projets de recherche de grande ampleur de nouvelle technologie utilisée pour la première fois, afin d'attirer des investisseurs souhaitant développer les réacteurs.
- Projets de réacteur bénéficiant de soutien et de supervision gouvernementale afin de progresser rapidement.
- Financement d'infrastructure adéquat (investissement privé, gouvernemental ou international) pour soutenir la démonstration et la commercialisation.
- Confiance que la stratégie de mise en place des réacteurs soit soutenue par un financement adéquat (mélange d'investisseurs du gouvernement, des services publics et privés) pour assurer que le secteur commercial puisse installer des réacteurs de façon viable à long terme.
- Engagement du gouvernement à adopter la technologie rapidement une fois qu'elle est mise en marché. P. ex., utiliser les réacteurs modulaires dans des installations fédérales associées à des missions de sécurité nationale pour atteindre les objectifs d'élimination complète d'émissions de carbone.
- Garantie de l'État comme filet de sécurité.
- Programme de garantie d'emprunt.
- Soutien consistant à faire des investissements initiaux.

UNE APPROCHE COORDONNÉE EST REQUISE POUR LA MISE EN PLACE.

- Alignement des politiques locales, régionales et nationales.
- Alignement des efforts de la CCSN, des gouvernements fédéral et provinciaux et des concepteurs de technologie des réacteurs en fonction des besoins d'utilisation des réacteurs au Canada.
- Conciliation des intérêts de toutes les parties prenantes.

DE NOMBREUSES OCCASIONS PERMETTENT D'OFFRIR UN SOUTIEN INDIRECT PERTINENT.

- Création d'un environnement favorable à la mise en place de politiques.
- Mise en place de conditions de marché adéquates, ce qui comprend des occasions de commerce mondial, et collaboration des organismes de réglementation en ce qui a trait aux leçons apprises.
- Mettre en place un cadre de travail précis pour le développement des réacteurs modulaires au Canada.
- Ajustement du soutien en fonction des conditions du marché.
- Gouvernance d'un marché de l'énergie équitable adéquat pour l'économie liée à la mise en place des réacteurs.

LA MISE EN PLACE INTRODUIRA D'AUTRES OCCASIONS D'OFFRIR UN SOUTIEN GOUVERNEMENTAL.

- Partenariats public-privé pour les risques financiers importants des types d'unités mis en place pour la première fois.
- Tarifs de rachat garanti.
- Accords d'achat d'énergie pour garantir un flux de revenus et attirer des investisseurs privés.
- Mise en place des réacteurs financée par le gouvernement.
- Mesures incitatives pour le secteur manufacturier.



BESOINS DE R ET D ET DE DÉVELOPPEMENT DE TECHNOLOGIE

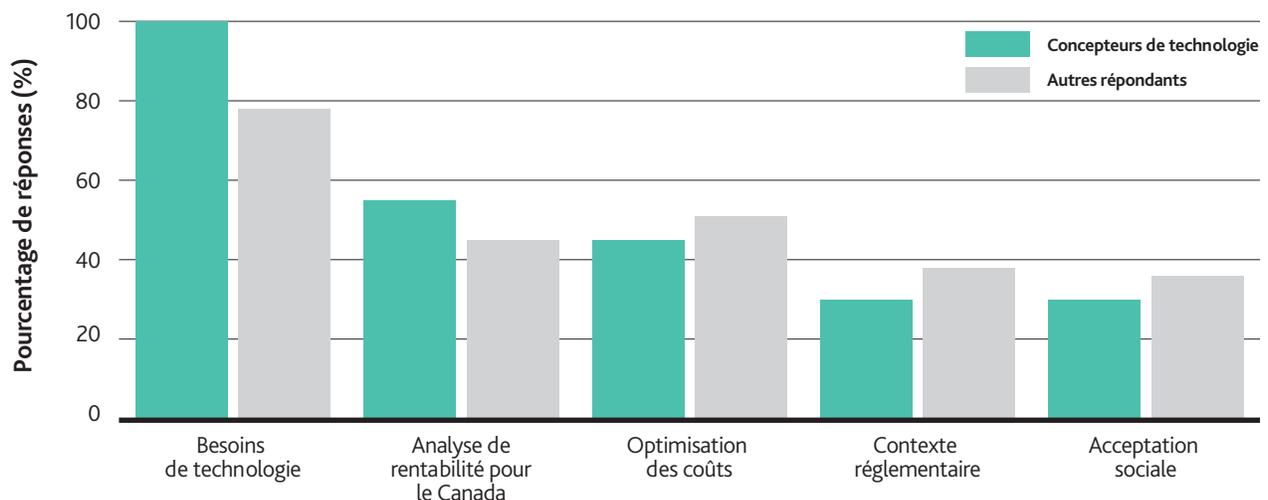
Les répondants ont indiqué les domaines techniques pour lesquels il y a des besoins de R et D, mais aussi des sujets plus vastes pour lesquels il n'y a pas suffisamment de connaissances. Bien que les concepteurs aient mentionné la plupart des besoins techniques de R et D auxquels il faut satisfaire pour faire progresser le développement des réacteurs, les autres répondants ont aussi fourni beaucoup d'information. Les domaines plus vastes concernaient en grande partie les besoins à satisfaire pour mettre en place ces technologies, tout d'abord au Canada, puis pour les exporter.

Les besoins de recherche à satisfaire pour la mise en place mentionnés par les répondants sont indiqués dans le Table 1 et la Figure 13, et ils comportent les points suivants :

- technologie appropriée pour le Canada;
- analyse de rentabilité pour le Canada;
- optimisation du coût du cycle de vie;
- contexte réglementaire;
- perception du public/acceptation sociale.

Figure 13

POURCENTAGE DE RÉPONDANTS QUI ONT INDIQUÉ DIVERS SUJETS DE RECHERCHE ET D'ANALYSE À EXPLORER POUR ASSURER LE DÉPLOIEMENT¹¹



¹¹ Cette figure montre le pourcentage de répondants qui ont mentionné certains sujets de R et D et d'analyse. Tous les concepteurs et 93 % des autres répondants ont mentionné la R et D.

Tableau 1

SUJETS DE RECHERCHE ET D'ANALYSE À EXPLORER POUR ASSURER LE DÉPLOIEMENT

BESOINS DE TECHNOLOGIE	<ul style="list-style-type: none"> ● Comprend la capacité en matière de science et de technologie des LNC et les autres capacités que les répondants développent ou celles dont ils auront besoin pour la mise en place.
ANALYSE DE RENTABILITÉ POUR LE CANADA	<ul style="list-style-type: none"> ● Évaluation du financement, du potentiel de commercialisation et d'exportation et du rapport efficacité-coût par rapport aux autres technologies. Comprend l'étude du marché, le modèle financier, l'analyse de faisabilité et l'analyse économique, les options potentielles et l'évaluation des avantages économiques comme la création d'emplois. ● Priorisation d'une solution technologique pour la mise en place au Canada. Évaluation de l'ampleur, du coût, de la sécurité, de la capacité de fonctionnement en suivi de charge, de la construction modulaire, de l'adéquation entre la technologie et le marché, du potentiel de commercialisation et d'exportation et de la minimisation de la duplication du développement de technologie.
OPTIMISATION DU COÛT DU CYCLE DE VIE	<ul style="list-style-type: none"> ● Tous les coûts, ce qui comprend la fabrication, la construction, l'entretien, l'exploitation, la partie classique d'une centrale, l'entretien, les émissions de tout le cycle de vie, l'exploitation minière, la mise hors service et la gestion des déchets. ● Technologies de fabrication avancées, impression en trois dimensions, modularisation et autres méthodes pour fabriquer des composants de façon efficace et économique. Comprend la création de procédés de fabrication à l'échelle laboratoire ou préindustrielle pour les valider.
CONTEXTE RÉGLEMENTAIRE.	<ul style="list-style-type: none"> ● Diminuer l'incertitude du processus de délivrance de permis de façon à pouvoir anticiper sa durée et les coûts connexes.
ACCEPTATION SOCIALE	<ul style="list-style-type: none"> ● Problèmes liés aux politiques publiques, aux relations avec la communauté et à l'acceptation par le public de la technologie, ce qui inclut l'automatisation et la régulation à distance.

La plupart des répondants autres que les concepteurs ont mis principalement l'accent sur la nécessité de faire de la recherche sur ces sujets. Bien que la plupart de ces sujets aient été mentionnés par des fournisseurs de services potentiels comme des éléments pour lesquels ils pourraient aider les LNC, ils ont aussi été indiqués comme des sujets de recherche et d'analyse à explorer, puisque ce sont des questions clés à traiter pour introduire les réacteurs modulaires sur le marché avec succès, comme indiqué dans les sections précédentes. Certains répondants ont suggéré de créer un centre d'excellence de fabrication de pointe. Il vaut la peine de remarquer que la CCSN traite déjà de façon active les questions réglementaires¹².

La plupart des besoins de R et D techniques ont été indiqués par des concepteurs de technologie et des fournisseurs de réacteurs. En plus de l'intérêt d'installer un prototype ou un réacteur de démonstration sur un site des LNC, les répondants ont aussi mentionné les catégories de science et de technologie des LNC qui pourraient les intéresser. La majorité des répondants étaient intéressés par les catégories générales de science et de technologie suivantes :

- recherche sur les matériaux et les combustibles nucléaires avancés;
- sûreté nucléaire, sécurité et gestion des risques;
- ingénierie de systèmes et ingénierie nucléaire;
- applications de chimie nucléaire.

¹² Commission canadienne de sûreté nucléaire, « Petits réacteurs modulaires : Stratégie, approches et défis de la réglementation », Document de travail DIS-16-04, de mai 2016, et le « Rapport sur ce que nous avons entendu – DIS-16-04 », <http://nuclearsafety.gc.ca/eng/acts-and-regulations/consultation/completed/dis-16-04.cfm>

Ils avaient un intérêt particulier pour les catégories suivantes :

- examens post-irradiatoires;
- instrumentation, régulateurs et logiciels;
- caractérisation des matériaux;
- systèmes thermohydrauliques;
- analyse de cycle de combustible avancé;
- caractérisation de combustible;
- développement de combustible;
- fabrication de combustibles et assemblages combustibles;
- examen des matériaux et des composants;
- corrosion et électrochimie.

Les fournisseurs de réacteurs et les concepteurs de technologie sont clairement intéressés par la capacité unique des LNC en matière de combustibles nucléaires avancés.

Bien que la plupart des catégories de science et de technologie des LNC soient d'intérêt, les différences entre les technologies de réacteur exigeront de s'adapter en fonction de la technologie spécifique. Par exemple, l'expertise et l'équipement actuels doivent être adaptés en fonction de différents matériaux et formes de combustibles. En outre, en fonction du type de réacteur, le besoin de capacité de R et D en matière de combustible peut varier selon la maturité de la conception et les chaînes d'approvisionnement actuelles.

En plus des activités de R et D mentionnées ci-dessus, de nombreux répondants ont exprimé le désir ou le besoin de mettre en place des installations supplémentaires :

- De nombreux répondants souhaitent la construction d'une installation de fabrication ou de préparation de combustible située dans les LNC, idéalement en la plaçant sur le site d'un réacteur modulaire de petite taille de démonstration.
- Ils voudraient aussi qu'il y ait des cellules de haute activité spécialisées avec de l'équipement de manipulation de combustible sur ce site.
- Plusieurs répondants ont exprimé de l'intérêt pour la mise en place d'une installation de démonstration chauffée de façon électrique ou non nucléaire sur un site des LNC. Une telle installation servirait à tester des matériaux et des composants, à faire des simulations transitoires et à former les exploitants.
- De nombreux répondants ont aussi mentionné leur intérêt pour des installations de formation d'exploitant. Plusieurs répondants ont mis de l'avant l'idée de mettre en place des simulateurs de formation qui seraient contrôlés par un logiciel ou qui consisteraient en une installation de démonstration non nucléaire située dans les LNC. Dans certains cas, on ferait appel à l'expertise des LNC en instrumentation, en modules de contrôle, en logiciels et en performance humaine pour élaborer le simulateur.



En raison du conservatisme inhérent de l'industrie et d'une longue période de repli pour la recherche et le développement, le secteur nucléaire n'est plus un innovateur technologique et ne fait que suivre les autres. Les réacteurs modulaires de petite taille représentent une occasion de redevenir innovants.

Dalton Nuclear Institute, The University of Manchester



PROTOTYPE POTENTIEL DE RÉACTEUR MODULAIRE DE PETITE TAILLE POUR DES SITES GÉRÉS PAR LES LNC

Dix-neuf fournisseurs de réacteurs ou concepteurs de technologie uniques ont soumis une description technique de réacteur. Seize d'entre eux ont exprimé de l'intérêt pour installer un prototype ou un réacteur de démonstration sur un site des LNC (les trois autres envisageaient une mise en place commerciale au Canada sans toutefois le localiser). En tout, dix-neuf concepts ont été décrits par les répondants intéressés par un prototype.

Les dix-neuf prototypes ont été regroupés dans des catégories de type de réacteur¹³ (Figure 14) :

- Réacteurs refroidis à l'eau
- Réacteurs à haute température refroidis par gaz (RHTRG)
- Réacteurs rapides refroidis au sodium (RNR-Na)
- Réacteurs rapides refroidis au plomb (RNR-Pb)
- Réacteurs rapides refroidis au gaz (RNR-G)
- Réacteurs à sels fondus (RSF)
- Réacteurs de fusion

Comme indiqué dans la Figure 14, ce sont principalement les concepteurs de technologie de réacteurs non refroidis à l'eau qui ont exprimé de l'intérêt.

Le nombre de types de combustibles nucléaires différents varie tout autant et les combustibles comprenaient (sans s'y limiter) du combustible oxyde traditionnel, du combustible à particules enrobées (c.-à-d. du TRISO¹⁴) et des sels fondus (Figure 15). Certains fournisseurs ont proposé qu'un prototype potentiel se serve de plus d'un type de combustible ou qu'un prototype de réacteur emploie un combustible de type différent que celui

associé au concept de référence (commercial). Il est notable que le combustible de quatre réacteurs seulement serait de l'uranium enrichi à moins de 5 % en uranium 235 (c.-à-d. un combustible de réacteur refroidi à l'eau). Les autres réacteurs auraient recours à de l'uranium plus enrichi (à moins de 20 % en uranium 235) ou à des combustibles contenant du plutonium, à l'exception du réacteur de fusion qui ne se sert d'aucun élément lourd.

La relation entre la puissance thermique d'un réacteur et la puissance électrique produite dépend des caractéristiques de conception, comme la température de sortie du caloporteur. Les réacteurs proposés ont une efficacité de conversion thermoélectrique différente, en fonction des choix de conception du concepteur. Sauf pour quelques exceptions, les répondants considèrent la puissance électrique comme le paramètre de sortie principal d'un prototype ou d'un réacteur de démonstration installé sur un site des LNC. La nécessité de raccorder le prototype au réseau électrique était soit explicite ou pouvait être inférée en considérant le fait que l'électricité est un paramètre de sortie.

La puissance de sortie des divers réacteurs allait de 5 à 2 500 MWth et de 2 à 1 000 MWe. Aux fins de ce rapport, si un fournisseur n'indiquait pas que la puissance de sortie d'un prototype ou d'un réacteur de démonstration était différente de celle d'un réacteur commercial, on posait comme hypothèse que la puissance de sortie du prototype est identique à celle d'un réacteur commercial. En outre, si le réacteur commercial consistait en de multiples unités (réacteurs), on considérait que le prototype ou le réacteur de démonstration n'était qu'une seule unité. La Figure 16 présente la puissance de sortie des prototypes et des réacteurs commerciaux (en incluant les réacteurs à multiples unités). Les fournisseurs ont surtout proposé des réacteurs relativement grands (200 à 1 000 MWe). Néanmoins, il y avait un nombre important de concepts de réacteurs relativement petits (10 à 50 MWe) et très petits (moins de 10 MWe).

13 Ces catégories correspondent aux différents types de réacteurs nucléaires de l'Association nucléaire mondiale, de l'Agence internationale de l'énergie atomique et Forum international Génération IV.

14 Particules isotropiques à trois couches

Figure 14

TYPES DE RÉACTEUR MODULAIRE DE PETITE TAILLE PROPOSÉS

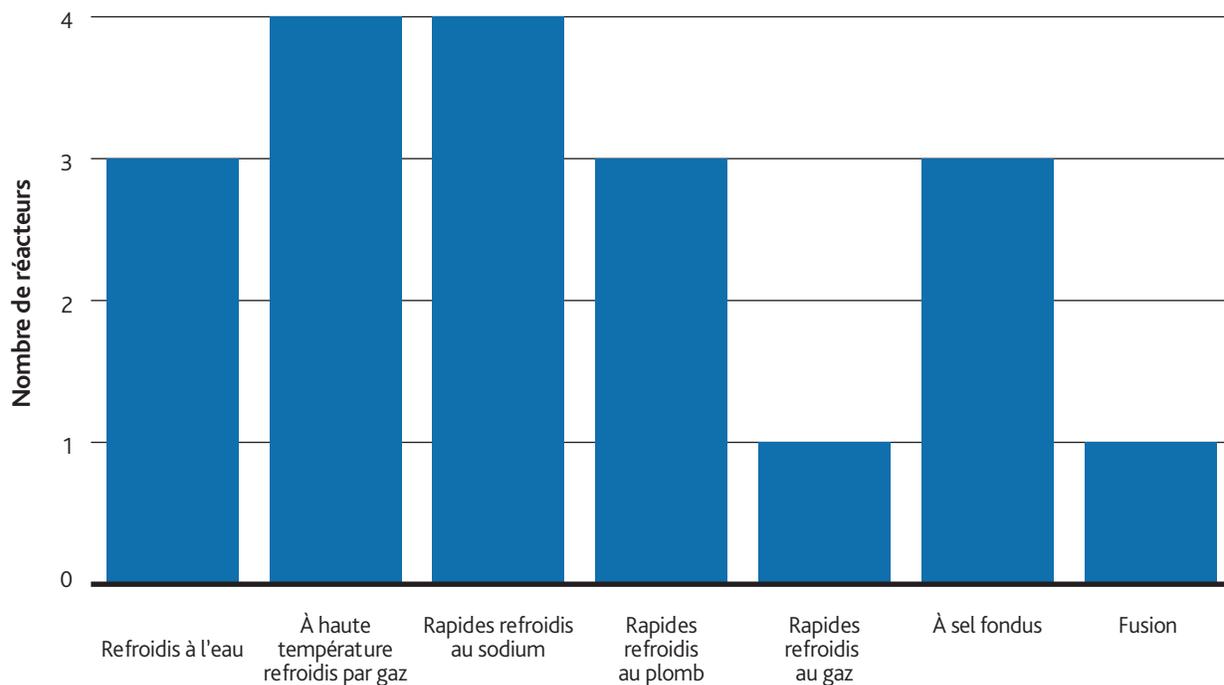
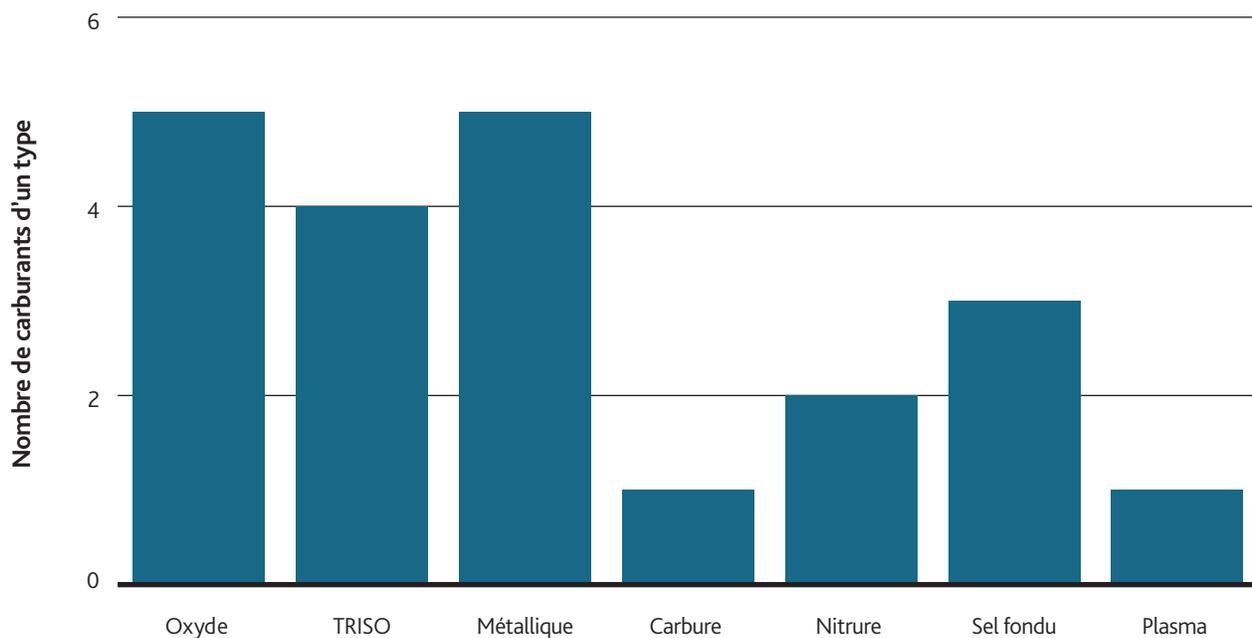


Figure 15

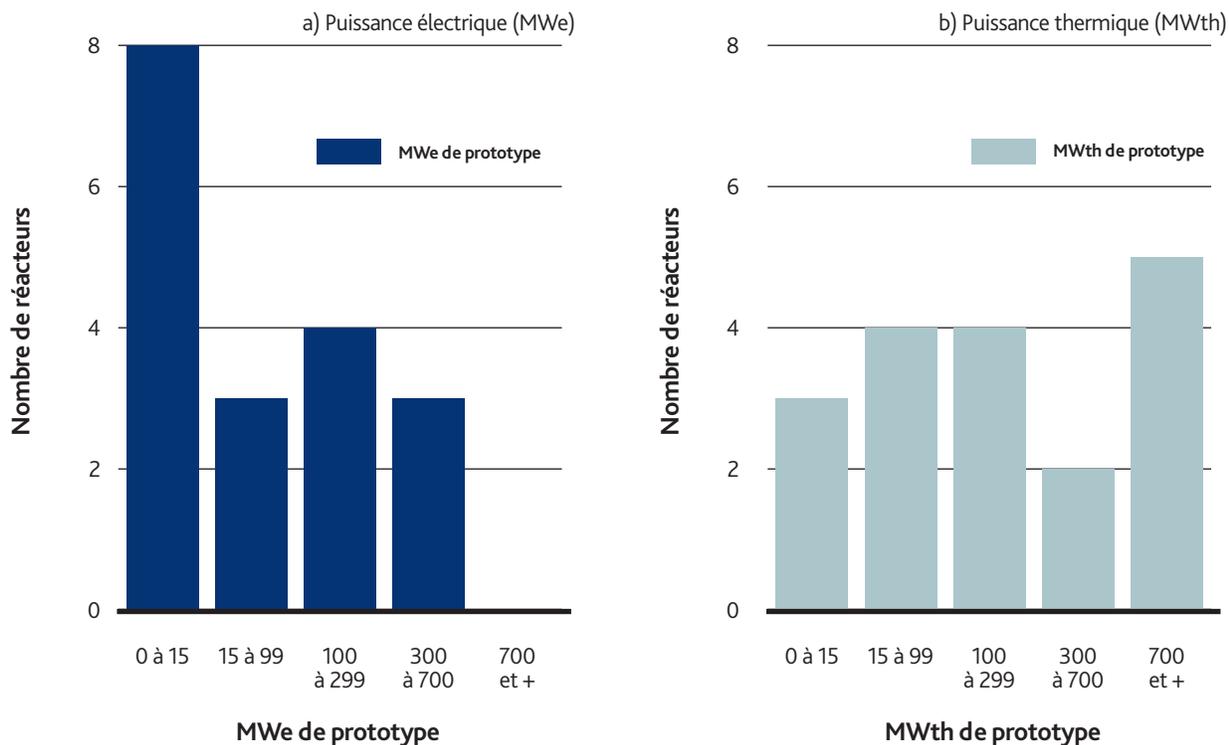
TYPES DE COMBUSTIBLES NUCLÉAIRES PROPOSÉS POUR LES PROTOTYPES DE RÉACTEURS¹⁵



¹⁵ Le nombre de types carburant peut être plus élevé que le nombre de réacteurs, puisque certains concepteurs envisagent d'utiliser différents types de combustible ou considèrent la possibilité de changer de type de combustible pendant la durée de vie du prototype.

Figure 16

PUISSANCE DE SORTIE DES PROTOTYPES – A) PUISSANCE ÉLECTRIQUE DE SORTIE B) PUISSANCE THERMIQUE DE SORTIE



La plupart des intérêts (11 sur 18 réponses) provenaient de fournisseurs avec de très petits démonstrations proposés de PRMs (0 à 99 MWe). Néanmoins, il y avait un intérêt substantiel dans les PRMs dans la gamme de 100 à 700 MWe.

La grande majorité des répondants pensait que son premier prototype ou réacteur de démonstration serait parfaitement fonctionnel d'ici huit à treize ans (2025 à 2030). Les estimations les plus positives indiquaient qu'il serait parfaitement fonctionnel dès l'année 2022.

NIVEAUX DE MATURITÉ TECHNOLOGIQUE

L'échelle de niveau de maturité technologique (TRL) est une échelle pour indiquer à quel point une technologie est prête à être utilisée. Ce chiffre va de 1 à 9, soit du point où on a tout simplement observé et signalé les principes scientifiques de base de la technologie à celui où elle a été implantée avec succès¹⁶. Aux fins de ce rapport, ces neuf niveaux ont été regroupés en trois grandes catégories :

- TRL 1 à 3 : Principe fondamental et essai de validation
- TRL 4 à 6 : Validation d'un composant ou d'un sous-système en laboratoire ou en environnement simulé
- TRL 7 à 9 : Prototype ou implantation

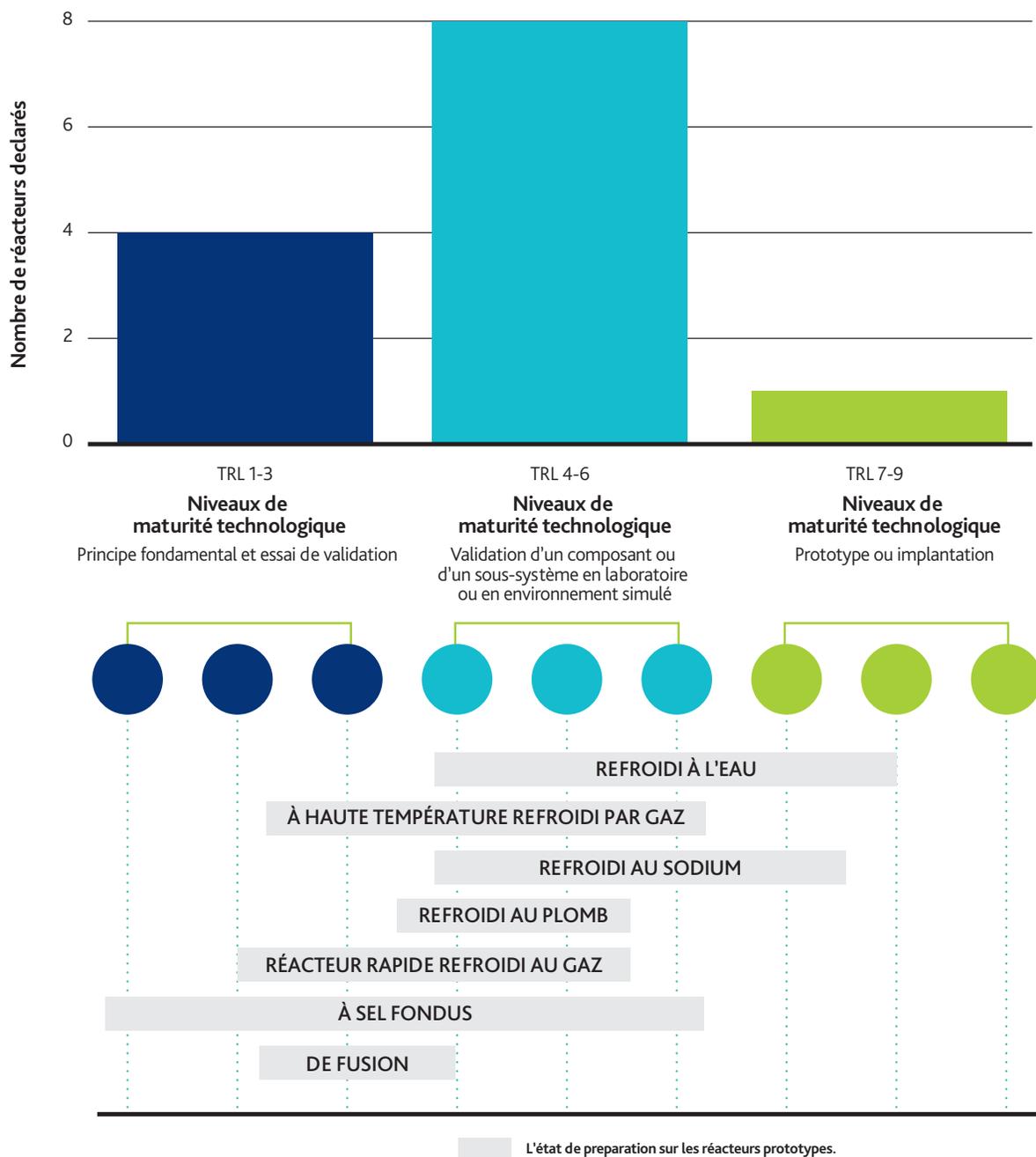
La majorité des répondants ont indiqué un TRL pour le système au complet ou pour des composants individuels. Dans le deuxième cas, le TRL minimal associé à un composant était considéré comme représentatif du système au complet. Ce chiffre ne représente pas nécessairement l'importance des travaux de R et D requis pour que la technologie soit commercialisable, mais il illustre le besoin de réaliser des travaux de R et D supplémentaires. Comme montré à la Figure 8, le fonctionnement des composants ou des sous-systèmes de la plupart des technologies a été validé. Les travaux de R et D supplémentaires porteraient principalement sur l'intégration des différents composants et sous-systèmes de façon à bâtir un prototype ou un réacteur de démonstration.

Selon les répondants, l'ordre des prototypes en fonction d'un TRL moyen est : réacteurs refroidis à l'eau, réacteurs rapides refroidis au sodium, réacteurs à haute température refroidis par gaz, réacteurs refroidis au plomb, réacteurs à sels fondus.

¹⁶ On considère que c'est la National Aeronautics and Space Administration qui a défini le niveau de maturité technologique pour la première fois. Ce rapport utilise la définition de Services publics et Approvisionnement Canada, celle-ci étant conforme aux autres définitions en usage dans le monde.

Figure 17

TRL MINIMUM INDIQUÉS PAR LES FOURNISSEURS DE RÉACTEUR ET LES CONCEPTEURS DE TECHNOLOGIE





CONCLUSION

Le volume et la qualité des réponses reçues indiquent clairement qu'il existe un intérêt considérable pour l'industrie des réacteurs modulaires de petite taille au Canada et pour tester des technologies en installant un prototype de réacteur aux LNC. Grâce à cet exercice, les LNC ont maintenant des informations plus précises sur les besoins de cette industrie et pour l'initiative des LNC pour ce type de réacteur. Pendant les prochains mois, nous utiliserons ces informations tirées à l'aide du questionnaire pour aider à façonner l'initiative des LNC.

Les réponses ont permis de clarifier quelles technologies des réacteurs modulaires de petite taille sont d'intérêt et pourquoi l'ensemble des parties prenantes est intéressé à développer ces nouvelles technologies pour produire de l'énergie propre à faible coût. Il est clair que le Canada a de nombreux avantages permettant d'accélérer leur développement, les sites des LNC pour lesquels des permis ont été délivrés ainsi que la CCSN, organisme de réglementation tenu en haute estime, n'étant pas des moindres.

Les exigences à satisfaire pour pouvoir mettre en place les réacteurs avec succès au Canada et les obstacles à surmonter pour pouvoir les commercialiser sont évidents. Ces exigences et obstacles exigeront de définir une stratégie précise bien pensée qui donne un rôle important au gouvernement. Le rôle le plus important du gouvernement est d'offrir un soutien politique et un soutien sous la forme de politiques pour créer un environnement d'investissement stable et sensibiliser le public et gagner sa confiance de façon proactive.

Le site des LNC est adéquat pour répondre aux besoins de la plupart des concepteurs, mais il ne suffit pas de faire de la recherche sur les exigences techniques et de mettre sur pied les installations de démonstration. Il faudra faire des efforts substantiels pour déterminer et mettre en place les conditions de financement permettant de commercialiser les réacteurs.

Les LNC croient que les résultats du questionnaire constituent une contribution importante à la base de connaissances, les occasions de mettre en place des réacteurs modulaires de petite taille au Canada continuant à être évaluées.



Le Canada était un chef de file mondial dans le secteur de la technologie nucléaire. Grâce au gouvernement actuel et à ses priorités, ce qui comprend protéger l'environnement, réduire les GES, soutenir la science et l'innovation et investir dans les communautés du Nord et éloignées tout en établissant des relations fortes entre les provinces et le gouvernement fédéral, nous avons une excellente occasion pour développer cette technologie au Canada et redevenir un chef de file mondial. Si nous n'en profitons pas, il sera impossible de le faire pendant la prochaine génération.

Vic Pakalnis,
président-directeur général de MIRARCO Mining Innovation



Canadian Nuclear Laboratories | Laboratoires Nucléaires Canadiens