



L'AIDE-MÉMOIRE

DU NUCLÉAIRE AU CANADA



anc

association
nucléaire
canadienne

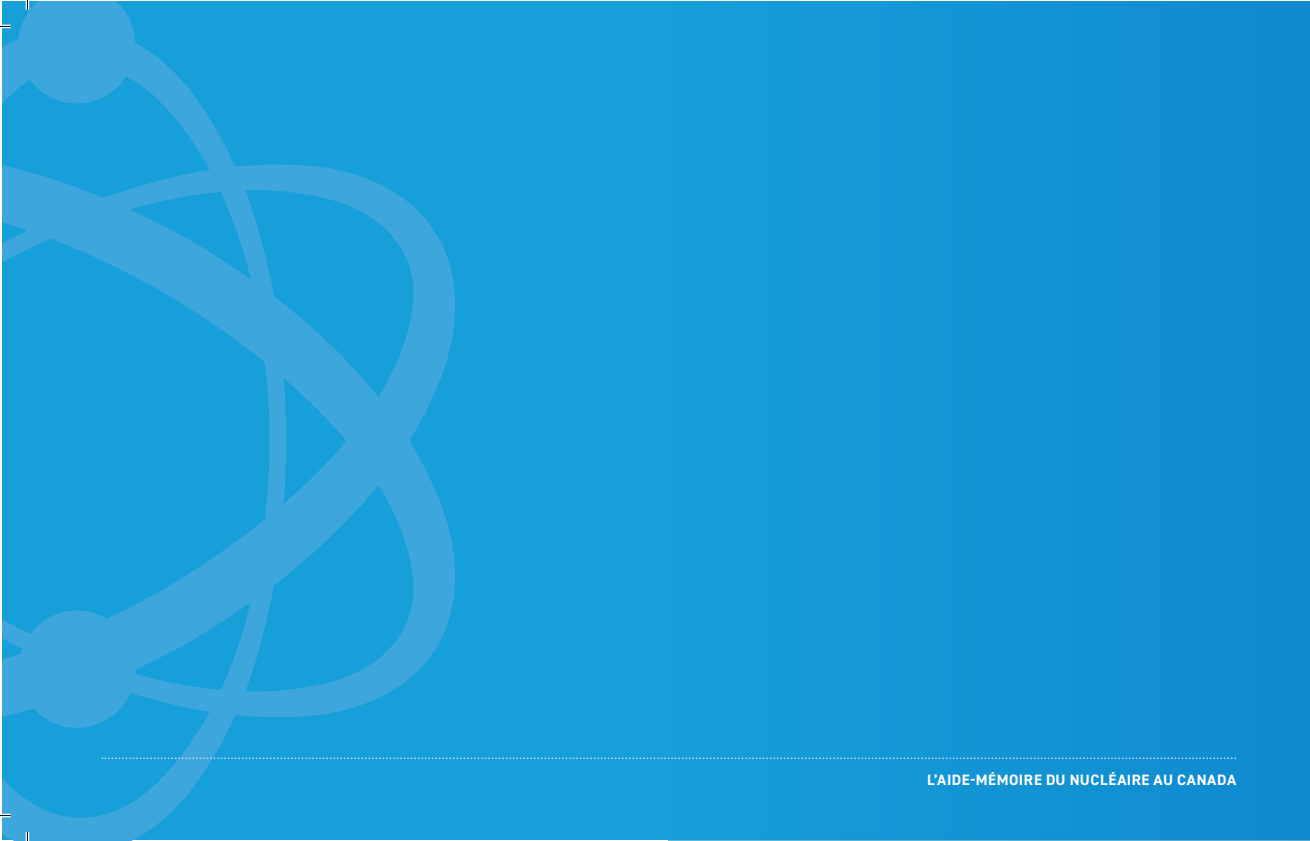


TABLE DES MATIÈRES

SOMMAIRE	1
2 Message du président	
3 Résumé	
4 Historique du nucléaire au Canada	
L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE DANS LE MONDE ET AU CANADA	9
10 L'énergie nucléaire dans le monde	
11 Réacteurs nucléaires dans le monde	
14 L'énergie nucléaire au Canada	
17 Sources d'électricité par province	
18 La centrale nucléaire de Bruce	
19 La centrale nucléaire de Darlington	
20 La centrale nucléaire de Pickering	
21 La centrale nucléaire de Point Lepreau	
22 Les projets de réfection des centrales nucléaires au Canada	
L'ENVIRONNEMENT ET L'ÉCONOMIE	23
24 L'énergie nucléaire et l'environnement	
25 Émissions de CO ₂ dans le monde au fil du temps	
26 Les objectifs climatiques du Canada	
27 Le nucléaire et les objectifs de développement durable de l'ONU	
29 L'empreinte terrestre du nucléaire	
30 Le nucléaire et l'économie canadienne	
31 La production d'uranium	
32 Le coût de l'énergie nucléaire	

L'URANIUM ET LES RÉACTEURS NUCLÉAIRES	33
34 L'uranium	
35 Conversion du minerai d'uranium en combustible pour les réacteurs CANDU	
36 Méthodes d'extraction de l'uranium	
37 L'industrie minière de l'uranium au Canada	
38 La puissance de l'uranium	
39 Le fonctionnement de la fission nucléaire	
40 Les réacteurs nucléaires	
42 Les réacteurs CANDU	
43 Les réacteurs nucléaires à l'échelle mondiale	
46 Types de réacteurs de puissance dans le monde	
47 Les réacteurs de nouvelle génération et les combustibles avancés	
48 Les petits réacteurs modulaires	
49 Les PRM, l'environnement et l'économie	
50 Évolution des PRM au Canada	
LES DÉCHETS RADIOACTIFS ET LES MOYENS DE TRANSPORT	51
52 Les déchets radioactifs	
53 Le combustible épuisé	
54 La gestion du combustible nucléaire épuisé	
55 La société de gestion des déchets nucléaires	
56 Dépôt géologique en profondeur	
57 Les déchets radioactifs de faible et de moyenne activité	
58 Le transport	
59 Les types d'emballage	

LA SCIENCE ET LES TECHNOLOGIES NUCLÉAIRES 61

- 62 La science et les technologies nucléaires au Canada
- 63 Les radio-isotopes et demi-vies
- 64 La médecine nucléaire
- 65 La radiothérapie et la stérilisation
- 66 Favoriser l'économie de l'hydrogène
- 67 Le Canada et l'économie de l'hydrogène
- 68 L'irradiation des aliments
- 69 Les applications agricoles du rayonnement
- 70 Les inspections industrielles
- 71 Les jauges et traceurs industriels
- 72 Le dessalement nucléaire
- 73 Les déplacements propulsés par l'énergie nucléaire
- 74 Les produits de consommation
- 75 Les autres utilisations de la technologie nucléaire
- 76 Les centres de recherche nucléaire
- 78 La recherche sur la fusion nucléaire

LE RAYONNEMENT, LA SÛRETÉ NUCLÉAIRE ET LA RÉGLEMENTATION 79

- 80 Le rayonnement
- 81 Les doses de rayonnement et les effets
- 82 Le rayonnement de fond
- 83 Les effets du rayonnement sur le corps
- 85 La sûreté nucléaire
- 86 La réglementation nucléaire
- 87 Quelle est la priorité du CCSN ?
- 88 La sécurité des sites
- 89 La cybersécurité

RESSOURCES 91

- 92 Établissements postsecondaires canadiens offrant des programmes nucléaires
- 93 Autres ressources
- 96 À propos de l'ANC

SOMMAIRE

MESSAGE DU PRÉSIDENT

Notre Aide-mémoire offre un aperçu du rôle et des réalisations de l'énergie nucléaire et des technologies qui s'y rattachent, au Canada comme partout dans le monde. Je vous encourage fortement à le consulter lorsque vous discuterez avec vos collègues, vos amis, votre famille ou toute autre personne qui souhaite en apprendre davantage sur ce que notre industrie a à offrir.

L'industrie nucléaire joue un rôle primordial au Canada, car elle procure aux foyers et aux entreprises du pays une énergie fiable, abordable et à faible teneur en carbone. Alors que le monde entier s'interroge sur la manière de préserver la vigueur et la résilience des économies face à l'instabilité géopolitique et à la menace omniprésente du changement climatique, l'énergie nucléaire constitue une solution à bon nombre des problématiques que nous avons en commun.

Qu'il s'agisse de nos réacteurs conventionnels, capables de fournir une énergie stable et à faible teneur en carbone depuis plusieurs générations, ou de plus récents modèles, notamment nos petits réacteurs modulaires, le Canada maintient sa position de chef de file mondial dans le domaine de l'énergie nucléaire. Au-delà de la production d'électricité, l'énergie et les technologies nucléaires offrent de nombreux bénéfices, parmi lesquels la lutte contre le cancer, la sécurité alimentaire, le fonctionnement des engins spatiaux et même le soutien à l'économie naissante de l'hydrogène.



John Gorman
Président et chef de la direction
Association nucléaire canadienne

Nous sommes particulièrement fiers des progrès accomplis au cours des 60 dernières années, tout en restant attentifs aux perspectives d'avenir. Je vous invite à découvrir ce que nous avons réalisé, ainsi que ce qui nous attend dans les années et les décennies futures en consultant l'aide-mémoire du nucléaire au Canada.

RÉSUMÉ

L'aide-mémoire du nucléaire au Canada est riche en renseignements les plus récents sur l'énergie nucléaire à l'échelle nationale et mondiale. Les points saillants abordés sont les suivants :

- À l'heure actuelle, on dénombre 422 réacteurs nucléaires en exploitation à travers le monde. Le Canada compte 19 réacteurs de puissance qui assurent environ 14 % de la production nationale d'électricité.
- En tout, 56 réacteurs sont en cours de construction partout dans le monde, principalement dans les économies émergentes comme la Chine et l'Inde. De plus, environ 100 réacteurs ont été commandés ou sont prévus, et on étudie la possibilité d'en construire 300 autres.
- La production d'énergie nucléaire permet de réduire les émissions de CO2 dans le monde, qui a atteint le niveau record de 36,6 milliards de tonnes en 2022.
- Au Canada, le nucléaire génère des recettes de plus de six milliards de dollars par année. Il représente un total de 76 000 emplois directs et indirects au pays.
- Le Canada est un leader dans la chaîne d'approvisionnement mondiale en uranium. La plupart de l'uranium canadien est extrait dans le nord de la Saskatchewan, région qui possède les gisements de minerais les plus riches au monde.
- Le Canada a été un pionnier dans la création de l'un des premiers réacteurs nucléaires, le CANDU®. À l'heure actuelle, on dénombre 30 réacteurs nucléaires CANDU ou issus de la technologie CANDU en exploitation à l'échelle internationale.
- La technologie nucléaire est abondamment utilisée en médecine et dans l'industrie. Chaque année au Canada, on effectue plus de 1,3 million d'exams d'imagerie diagnostique ainsi que des milliers de traitements de radiothérapie.
- L'industrie nucléaire canadienne figure parmi les plus sécuritaires et les plus rigoureusement réglementées à travers le monde.

* Marque déposée d'Énergie atomique du Canada limitée (EACL), utilisée sous licence exclusive par Candu Énergie Inc., membre du groupe SNC-Lavalin.

HISTORIQUE DU NUCLÉAIRE AU CANADA

1900 - 1910

Le prix Nobel de chimie est décerné à Ernest Rutherford pour son travail sur la décroissance radioactive réalisé à l'Université McGill de Montréal au Québec.

1921 - 1930

Gilbert A. Labine découvre le premier gisement d'uranium au Canada, au Grand lac de l'Ours dans les Territoires du Nord-Ouest.

1931 - 1940

George C. Laurence conçoit l'un des premiers réacteurs nucléaires au monde, au Conseil national de recherches du Canada (CNRC) à Ottawa, en Ontario.

1941 - 1950

Le CNRC commence à construire la première installation de recherche nucléaire à Chalk River, en Ontario.

La pile expérimentale d'énergie zéro (ZEEP - Zero Energy Experimental Pile) fait du Canada le deuxième pays à contrôler la réaction de fission nucléaire.

La Commission de contrôle de l'énergie atomique (CCEA) est établie comme l'organisme fédéral de réglementation nucléaire du Canada.

Le réacteur national de recherche expérimental (NRX - National Research Experimental), le plus puissant du monde, entre en service à Chalk River.

1951 - 1960

Deux équipes distinctes dirigées par Harold E. Johns et Roy Errington construisent les deux premiers appareils de radiothérapie au cobalt 60 dans le monde. Le premier traitement contre le cancer par radiothérapie externe est administré à London, en Ontario. Onze jours plus tard, on administre le second à Saskatoon, en Saskatchewan.

Énergie atomique du Canada Limitée (EACL) est créée en tant que société d'État fédérale.

Le cœur du réacteur NRX subit des dommages lors d'un accident - il s'agit du premier accident du genre. Quatorze mois plus tard, on procède au redémarrage du réacteur qui a été décontaminé et reconstruit.

Wilfrid B. Lewis amorce le développement du réacteur nucléaire CANDU en collaboration avec EACL, Ontario Hydro et la Compagnie générale électrique du Canada.

Le réacteur national de recherche universel (NRU - National Research Universal) entre en service à Chalk River.

1961 - 1970

Le réacteur nucléaire de démonstration (NPD - Nuclear Power Demonstration), premier réacteur canadien de production électrique et prototype des réacteurs CANDU, entre en exploitation à Rolphton, en Ontario. Il a une puissance de 20 MWe.

EACL met au point le premier stérilisateur commercial au cobalt 60 pour les aliments et les fournitures médicales.

La centrale Douglas Point, première centrale nucléaire canadienne à grande échelle, entre en exploitation à Kincardine, en Ontario. Elle a une puissance de 220 MWe.

1971 - 1980

Le premier réacteur CANDU à l'extérieur du Canada entre en exploitation à la centrale Rajasthan 1 en Inde.

Les quatre réacteurs de la centrale Pickering A entrent en exploitation. Leur puissance totalise 2060 MWe, ce qui en fait la centrale nucléaire la plus puissante du monde à l'époque.

EACL conçoit et construit le premier réacteur de recherche SLOWPOKE.

1981 - 1990

Les centrales Pointe Lepreau au Nouveau-Brunswick et Gentilly 2 au Québec entrent en exploitation. Elles ont chacune une puissance de 635 MWe.

Le prix Nobel de physique est décerné à Bertram N. Brockhouse pour ses recherches sur la diffusion neutronique menées à Chalk River.

1991 - 2000

La Chine acquiert deux réacteurs CANDU. À l'époque, il s'agit du plus important contrat commercial passé entre deux pays.

La Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN), créée en vertu de la Loi sur la sûreté et la réglementation nucléaires, remplace la CCEA en tant qu'organisme de réglementation nucléaire au Canada.

2001 - 2010

La Loi sur les déchets de combustible nucléaire est adoptée. Elle prévoit la création de la Société de gestion des déchets nucléaires (SGDN). Le gouvernement fédéral approuvera en 2007 la méthode de gestion adaptative progressive proposée par la SGDN pour l'entreposage à long terme du combustible nucléaire épuisé.

Les actifs de la Division des réacteurs CANDU d'EACL sont acquis par CANDU Énergie Inc., filiale appartenant en propriété exclusive à SNC-Lavalin. EACL demeure une société d'État fédérale.

2011 - 2020

Deux réacteurs nucléaires de la centrale de Bruce A sont remis en service après avoir été rénovés. La centrale nucléaire de Bruce devient alors la plus grande centrale nucléaire en exploitation au monde.

Le prix Nobel de physique est décerné à Arthur B. McDonald de l'Observatoire de neutrinos de Sudbury, en Ontario, pour avoir démontré que les neutrinos possèdent une masse.

La société d'État Énergie atomique du Canada Limitée (ÉACL) s'engage par contrat à ce que ses sites et ses installations soient gérés et exploités par les Laboratoires nucléaires canadiens.

L'Ontario commence la réfection de 10 de ses 18 réacteurs nucléaires – le plus gros projet en matière d'énergie propre en Amérique du Nord.

Arrêt définitif du réacteur national de recherche universel (NRU), en service depuis plus de 60 ans.

Le Premier ministre du Canada annonce la création d'un nouvel institut d'isotopes médicaux (Institute for Advanced Medical Isotopes) dans l'installation TRIUMF de l'Université de la Colombie-Britannique.

Un groupe diversifié, composé de parties prenantes des secteurs de l'industrie, de la recherche et des gouvernements fédéral et provinciaux, collabore à la réalisation du rapport *Appel à l'action : Feuille de route des petits réacteurs modulaires*.

Les premiers ministres de la Saskatchewan, de l'Ontario et du Nouveau-Brunswick signent un protocole d'entente visant la mise au point de petits réacteurs modulaires, en vue de contribuer à la lutte contre les changements climatiques. En 2021, l'Alberta signe le protocole à son tour.

2021 - PRÉSENT

Ressources naturelles Canada coordonne la mise sur pied du Plan d'action national sur les petits réacteurs modulaires.

La société Ontario Power Generation (OPG) a choisi GE Hitachi Nuclear Energy pour déployer un petit réacteur modulaire sur le nouveau site nucléaire de Darlington – unique site au Canada actuellement autorisé à construire un nouveau réacteur nucléaire.

L'entreprise de services SaskPower a choisi le petit réacteur modulaire de GE Hitachi Nuclear Energy pour un éventuel déploiement dans la province de la Saskatchewan au milieu des années 2030. Cette sélection fait suite à un processus d'évaluation indépendant et exhaustif, lequel prévoyait également une étroite collaboration avec Ontario Power Generation, quant à l'éventualité d'un déploiement pancanadien de l'énergie nucléaire à partir d'un parc de réacteurs.

L'Ontario a décidé de prolonger la durée de vie de la centrale nucléaire de Pickering jusqu'en 2026. Les représentants de la province cherchent à savoir s'il est possible de la remettre à neuf en vue de prolonger sa durée de vie de 30 ans et ainsi combler le déficit énergétique anticipé.

L'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) a participé à la 27e conférence des Nations unies sur le changement climatique à Sharm El Sheik, en Égypte – plus connue sous le nom de la COP27 –, et organise plusieurs événements pour démontrer comment la technologie et les applications nucléaires contribuent aux efforts de lutte aux changements climatiques.

L'Énoncé économique de l'automne 2022 a évoqué le crédit d'impôt pour l'investissement dans les technologies propres (Clean Tech ITC), qui accorde un crédit d'impôt remboursable égal à 30 % pour les petits réacteurs nucléaires modulaires.



L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE DANS LE MONDE ET AU CANADA

L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE DANS LE MONDE

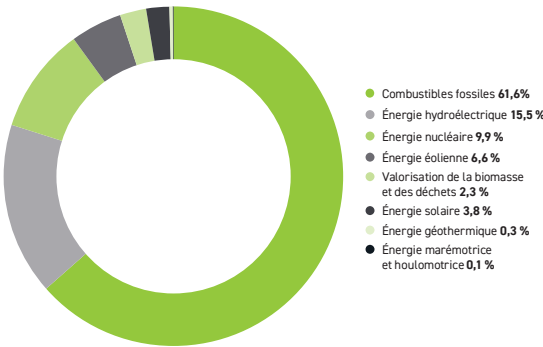
En 2021, le nucléaire assurait 9,9 % de la production mondiale d'électricité.

Il s'agit de la principale source d'énergie à faible émission de carbone dans le monde après l'hydroélectricité.

Avec une part de 61,6 %, les combustibles fossiles sont de loin la source d'électricité la plus largement utilisée. Le charbon représente dans ce chiffre environ les deux tiers, et le gaz naturel environ le tiers.

Les sources renouvelables non hydroélectriques les plus courantes – éolienne, solaire, géothermique, biomasse et marémotrice – ont généré un total de 13,1 % de l'énergie.

SOURCES D'ÉLECTRICITÉ DANS LE MONDE EN 2021



SOURCE : U.S. Energy Information Administration, « International Energy Agency », 2023. <https://www.eia.gov/beta/international/data/browser/>.

RÉACTEURS NUCLÉAIRES DANS LE MONDE

Il y a 422 réacteurs nucléaires actuellement exploitables dans le monde, qui ont une capacité utile de production d'environ 378 gigawatts (GW).

- Ce nombre comprend 37 réacteurs japonais qui ont été mis hors service peu de temps après l'accident de Fukushima survenu en 2011. En février 2021, neuf d'entre eux ont été remis en marche et 16 autres sont en cours d'approbation pour un redémarrage.

Au total, **56** réacteurs sont en construction dans le monde, principalement dans les économies émergentes comme la Chine et l'Inde.

En outre, plus de 100 réacteurs ont été commandés ou sont en cours de commande, et plus de 300 autres ont été proposés.



SOURCE : IAEA Power Reactor Information System, "Operational & Long Term Shutdown Reactors." 2023. <https://www.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/OperationalReactorsByCountry.aspx>.
World Nuclear Association, "Plans for New Reactors Worldwide." 2023. <https://www.world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/plans-for-new-reactors-worldwide.aspx>.

RÉACTEURS NUCLÉAIRES ACTUELLEMENT EN EXPLOITATION

PAYS	RÉACTEURS	PUISSANCE NETTE (MWE)	PART DE LA PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ (%)
Argentine	3	1 641	7,2
Arménie	1	448	25,3
Bélarus	1	1 110	14,1
Belgique	6	4 936	50,8
Brésil	2	1 884	2,4
Bulgarie	2	2 006	34,6
Canada	19	13 624	14,3
Chine	55	52 170	5,0
République tchèque	6	3 934	36,6
Finlande	5	4 394	32,8
France	56	61 370	69,0
Hongrie	4	1 916	46,8
Inde	22	6 795	3,2
Iran	1	915	0
Japon	17	16 321	7,2
Mexique	2	1 552	5,3
Pays-Bas	1	482	3,1
Pakistan	6	3 256	10,6

PAYS	RÉACTEURS	PUISSANCE NETTE (MWE)	PART DE LA PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ (%)
Romanie	2	1 300	18,5
Russie	37	27 727	20,0
Slovaquie	4	1 868	52,3
Slovénie	1	688	36,9
Afrique du Sud	2	1 854	6,0
Corée du Sud	25	24 415	28,0
Espagne	7	7 123	20,8
Suède	6	6 935	30,8
Suisse	4	2 973	28,8
Ukraine	15	13 107	55,0
Émirats arabes unis	3	4 107	1,3
Royaume-Uni	9	5 883	14,8
États-Unis	92	94 718	19,6
Total	422	378 754	
Cette information fait également partie des totaux :			
Taiïwan	3	2 859	10,8

SOURCE : IAEA Power Reactor Information System. « Operational & Long-Term Shutdown Reactors », 2023. <https://www.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/OperationalReactorsByCountry.aspx>.

L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE AU CANADA

Il existe 19 réacteurs de puissance exploitables dans quatre centrales de production d'énergie nucléaire au Canada.

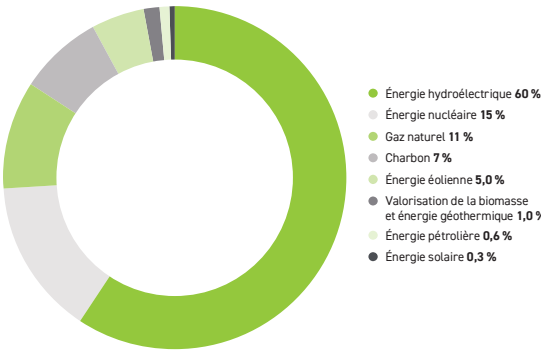
En 2019, l'énergie nucléaire a répondu à environ 15 % des besoins en électricité au pays.

En 2019, l'hydroélectricité produisait environ 60 % de l'énergie requise à l'échelle nationale, faisant d'elle la plus grande source d'électricité.

Bien que l'Ontario ait été éliminé progressivement le charbon en 2014, son utilisation continue d'être répandue ailleurs au pays.

Les sources renouvelables – autres que l'hydroélectricité – ont fourni environ 6,9 % de l'énergie électrique au Canada en 2019.

SOURCES D'ÉLECTRICITÉ AU CANADA EN 2019



SOURCE : Régie de l'énergie du Canada. « Supplément Avenir énergétique du Canada en 2020 : Électricité », 2023. <https://www.cer-rec.gc.ca/fr/donnees-analyse/avenir-energetique-canada/electricite-2020/index.html>.

LES RÉACTEURS NUCLÉAIRES DU CANADA

CENTRALE	ÉTAT	UNITÉ DE RÉFÉRENCE (MWE)	MISE EN SERVICE
Bruce A : Réacteur 1	En exploitation	760	1977
Bruce A : Réacteur 2	En exploitation	760	1976
Bruce A : Réacteur 3	En exploitation	750	1977
Bruce A : Réacteur 4	En exploitation	750	1978
Bruce A : Réacteur 5	En exploitation	817	1984
Bruce A : Réacteur 6	En exploitation	817	1984
Bruce A : Réacteur 7	En exploitation	817	1986
Bruce A : Réacteur 8	En exploitation	817	1987
Darlington : Réacteur 1	En exploitation	878	1990
Darlington : Réacteur 2	En exploitation	878	1990
Darlington : Réacteur 3	En exploitation	878	1992
Darlington : Réacteur 4	En exploitation	878	1993
Douglas Point*	Fermée	206	1967

CENTRALE	ÉTAT	UNITÉ DE RÉFÉRENCE (MWE)	MISE EN SERVICE
Gentilly-1*	Fermée	250	1971
Gentilly-2	Fermée	635	1983
Pickering A : Réacteur 1	En exploitation	515	1971
Pickering A : Réacteur 2	Fermée	515	1971
Pickering A : Réacteur 3	Fermée	515	1972
Pickering A : Réacteur 4	En exploitation	515	1973
Pickering A : Réacteur 5	En exploitation	516	1982
Pickering A : Réacteur 6	En exploitation	516	1983
Pickering A : Réacteur 7	En exploitation	516	1984
Pickering A : Réacteur 8	En exploitation	516	1986
Point Lepreau	En exploitation	660	1982
Rolphton Nuclear Power Demonstration	Fermée	22	1962

*PROTOTYPE

SOURCE : IAEA Power Reactor Information System. « Canada », 2023. <https://pris.iaea.org/PRIS/CountryStatistics/CountryDetails.aspx?current=CA>.

SOURCES D'ÉLECTRICITÉ PAR PROVINCE

Les sources d'énergie varient considérablement d'une province à l'autre.

En 2019, l'énergie nucléaire a alimenté en électricité environ 59 % des besoins de l'Ontario et 38 % au Nouveau-Brunswick.

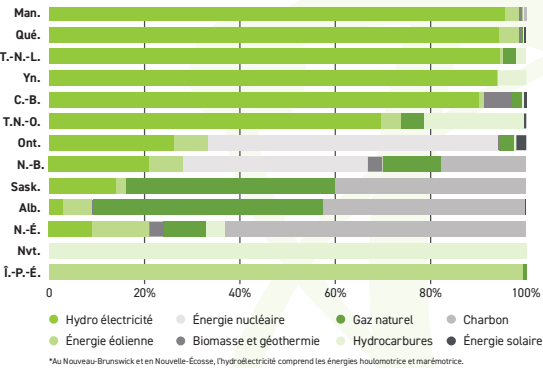
L'énergie hydroélectrique est la principale source d'électricité en Colombie-Britannique, au Manitoba, au Québec, à Terre-Neuve, dans les Territoires du Nord-Ouest et au Yukon.

Le gaz naturel représente 54 % de la production d'électricité en Alberta, suivi de près par le charbon. En Saskatchewan, l'électricité est produite à partir de combustibles fossiles : environ 41 % à partir du charbon et 40 % à partir du gaz naturel.

Les combustibles fossiles continuent de fournir la majeure partie de l'électricité en Nouvelle-Écosse et au Nunavut.

La production d'électricité de l'Île-du-Prince-Édouard provient à 99 % de parcs éoliens, mais cette province importe encore environ 60 % de son électricité du Nouveau-Brunswick.

PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ PAR PROVINCE EN 2019



*Au Nouveau-Brunswick et en Nouvelle-Écosse, l'hydroélectricité comprend les énergies houlomotrice et marémotrice.

SOURCE : Régie de l'énergie du Canada. « Profils énergétiques des provinces et territoires », 2023. <https://www.cer-rec.gc.ca/fr/donnees-analyse/marches-energetiques/profils-energetiques-provinces-territoires/index.html>.

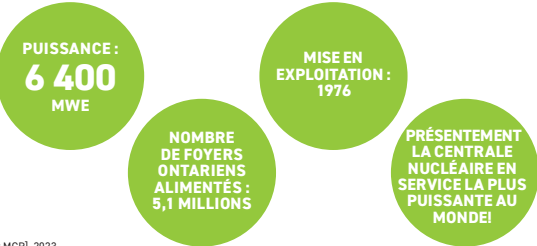
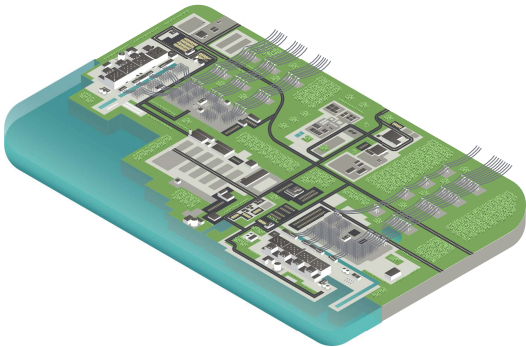
LA CENTRALE NUCLÉAIRE DE BRUCE

Le complexe nucléaire de Bruce compte huit réacteurs, ce qui en fait la plus grande centrale nucléaire en exploitation au monde. Elle est située sur la rive du lac Huron, à 190 km du centre-ville de Toronto, en Ontario, et elle alimente le réseau d'électricité depuis 1976.

Grâce à ses huit réacteurs totalisant une puissance de 6 400 MWe, la centrale de Bruce a produit 43,23 milliards de kWh en 2020, soit suffisamment d'électricité pour alimenter plus de cinq millions de foyers ontariens.

(En moyenne, un foyer ontarien consomme environ 8 493 kWh par an.)

En 2016, Bruce Power a amorcé des travaux de remise en état à mi-vie des réacteurs 3 à 8. Les principaux composants ont été remplacés de façon à en assurer le fonctionnement pour les décennies à venir. Le réacteur 6, l'un des premiers à faire l'objet d'une remise en état, a été mis hors service en janvier 2020. La prolongation de la durée de vie de chaque unité permettra d'ajouter environ 30 à 35 ans de vie opérationnelle, et les autres investissements contribueront à ajouter 30 années-réacteurs à la durée de vie opérationnelle des unités.



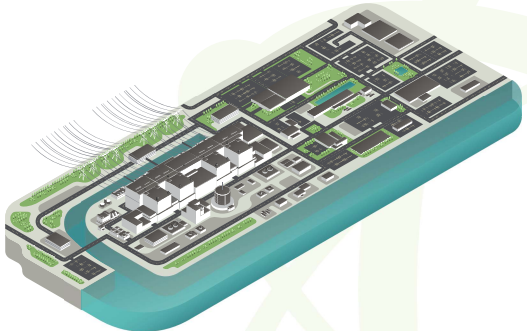
SOURCES : Ontario Energy Board. "2019 Yearbook of Electricity Distributors." https://www.oeb.ca/oeb/_Documents/RRR/2019_Yearbook_of_Electricity_Distributors.pdf?v=20201116.
Bruce Power. "The Ontario Energy Report," 2020.
https://www.brucepower.com/wp-content/uploads/2020/01/2020_OntarioEnergyReport-1.pdf.
Bruce Power. « Life-Extension Program & MCR Project » [Programme de prolongation de la durée de vie et projet MCR], 2023.
<https://www.brucepower.com/life-extension-program-mcr-project/>.

LA CENTRALE NUCLÉAIRE DE DARLINGTON

La centrale nucléaire de Darlington se classe au deuxième rang des plus grandes installations nucléaires au Canada. Elle est située sur la rive du lac Ontario, à 70 km du centre-ville de Toronto, en Ontario.

Grâce à ses quatre réacteurs totalisant une puissance de 3 512 MWe, la centrale de Darlington produit suffisamment d'électricité pour alimenter plus de 20 % des besoins en électricité de l'Ontario, soit deux millions de foyers ontariens.

Le réacteur 2 a été arrêté en octobre 2016 pour des travaux de réfection à mi-vie. Cette étape s'est terminée en avril 2020 – en avance sur le calendrier et en deçà du budget prévu – et le réacteur 2 a été remis en service en juin 2020. La réfection du réacteur 3 est en cours et les travaux devraient se terminer en 2024. Les travaux de remise à neuf de l'Unité 1 ont été entrepris en février 2022, et sont à ce jour avancés dans une proportion de 25 %. La mise au point de l'Unité 4 progresse bien, grâce aux leçons apprises dans le cadre des trois autres projets de remise à neuf.



SOURCE : Ontario Power Generation. « Darlington Refurbishment », 2023. <https://www.opg.com/strengthening-the-economy/our-projects/darlington-refurbishment/>.

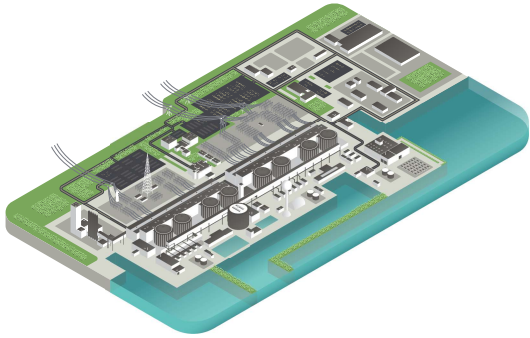
LA CENTRALE NUCLÉAIRE DE PICKERING

En 1973, l'achèvement du réacteur 4 a fait de la centrale nucléaire de Pickering A l'une des plus puissantes au monde. Les centrales Pickering A et B sont situées à 30 km du centre-ville de Toronto, en Ontario.

Grâce à la puissance générée de 3 100 MWe, les six réacteurs en exploitation de Pickering A et B produisent suffisamment d'énergie pour répondre à environ 14 % des besoins énergétiques de l'Ontario.

La centrale de Pickering comptait huit réacteurs jusqu'à l'arrêt définitif des réacteurs 2 et 3 en 1997.

Il est prévu que les réacteurs restants soient exploités jusqu'en 2026. En 2022, le gouvernement de l'Ontario a demandé à OPG de mener une analyse de faisabilité sur une éventuelle remise à neuf des Unités 5 à 8. OPG effectuera un examen technique approfondi et compte présenter ses recommandations définitives à la province d'ici la fin de l'année 2023.



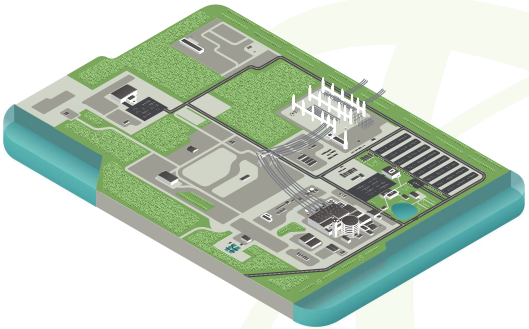
SOURCE : Ontario Power Generation, « Pickering Nuclear Generating Station », 2023. <https://www.opg.com/powering-ontario/our-generation/nuclear/pickering-nuclear-generation-station/>.

LA CENTRALE NUCLÉAIRE DE POINT LEPREAU

La centrale nucléaire Pointe Lepreau est située au Nouveau-Brunswick, à une trentaine de kilomètres au sud-ouest de Saint John. Son réacteur a été le premier CANDU 6 à produire de l'électricité sur une base commerciale.

Après une réfection visant à prolonger sa durée de vie utile, la centrale nucléaire a été remise en exploitation en novembre 2012. Aujourd'hui, elle assure environ 38 % de la production d'électricité du Nouveau-Brunswick.

Dotée d'une puissance de 660 MWe, Pointe Lepreau a produit 5,8 milliards de kWh en 2019, assez pour alimenter 333 000 ménages du Nouveau-Brunswick. (En moyenne, la consommation énergétique d'un ménage au Nouveau-Brunswick est d'environ 17 000 kWh par an.)



SOURCE : Régie de l'énergie du Canada, « Profils énergétiques des provinces et territoires - Nouveau-Brunswick », 2023. <https://www.cer-rec.gc.ca/fr/donnees-analyse/marches-energetiques/profils-energetiques-provinces-territoires/profils-energetiques-provinces-territoires-nouveau-brunswick.html>.

LES PROJETS DE RÉFECTION DES CENTRALES NUCLÉAIRES AU CANADA

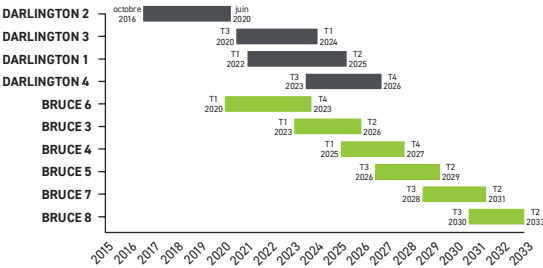
Il est possible de prolonger la durée de vie d'un réacteur nucléaire de plusieurs décennies, et ce, grâce à des projets de réfection, un processus qui consiste à moderniser et à optimiser les principaux équipements et les systèmes afin d'en assurer l'exploitation à long terme.

Le Canada a entrepris la réfection de dix de ses 19 réacteurs nucléaires en vue de prolonger leur durée de vie utile de 30 ans. Ces projets de réfection devraient s'échelonner sur une quinzaine d'années et créer des milliers d'emplois.

Les travaux de réfection de la centrale Point Lepreau et des réacteurs 1 et 2 de la centrale Bruce sont déjà terminés. Ces trois réacteurs ont été remis en service en 2012.

Selon une étude de la Chambre de commerce de l'Ontario, le programme de prolongation de la durée de vie de la centrale Bruce Power aura des retombées économiques nationales estimées entre 8,1 et 11,6 milliards de dollars canadiens.

DÉROULEMENT DE LA RÉFECTION DES CENTRALES NUCLÉAIRES



SOURCES : Ontario Power Generation, "Darlington Refurbishment," 2023, <https://www.opg.com/strengthening-the-economy/our-projects/darlington-refurbishment/>.
Bruce Power, « Life-Extension Program & MCR Project », 2020, <https://www.brucepower.com/life-extension-program-mcr-project/>.
La Chambre de commerce de l'Ontario, « Bruce Power Major Component Replacement Project: Economic Impact Analysis », 2019, p. 3.

L'ENVIRONNEMENT ET L'ÉCONOMIE

L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE ET L'ENVIRONNEMENT

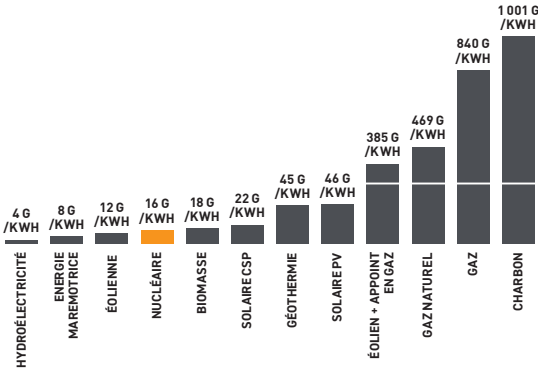
Tous les modes de production d'électricité génèrent une certaine quantité de CO₂ et d'autres gaz à effet de serre (GES), même lorsqu'ils ne brûlent pas de combustibles fossiles. À titre d'exemple, la construction de la centrale ou des équipements nécessite la production de ciment et l'utilisation de véhicules, chacun ayant sa propre empreinte carbone.

Si l'on considère tous les éléments constitutifs de la production d'électricité – notamment la construction, l'extraction minière, l'exploitation et le déclassement, – l'énergie nucléaire se classe parmi les technologies disponibles les plus propres.

L'hydroélectricité est également une source d'électricité à faible émission de carbone, mais elle n'est réalisable que dans des régions où de grandes quantités d'eau vive sont exploitables.

Les énergies solaire et éolienne sont aussi des sources d'électricité à faible émission de carbone, mais pour alimenter exclusivement un réseau, elles nécessitent souvent des sources auxiliaires. La plupart du temps, ces dernières proviennent de la combustion de gaz naturel, ce qui augmente fortement les émissions de CO₂.

CYCLE DE VIE DES ÉMISSIONS DE CO₂ PAR SOURCE D'ÉNERGIE



SOURCE : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. « IPCC Working Group III - Mitigation of Climate Change, Annex III: Technology-specific Cost and Performance Parameters - Table A.III.2 (Emissions of selected electricity supply technologies (gCO₂ eq/kWh)) » 2014, p. 1335. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_annex-iii.pdf#page=7.

ÉMISSIONS DE CO₂ DANS LE MONDE AU FIL DU TEMPS

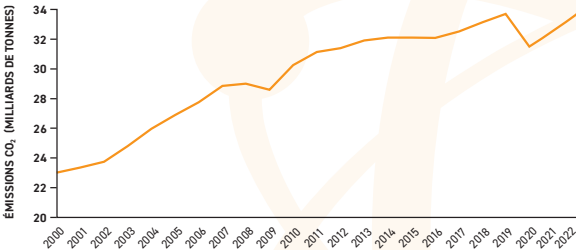
Les émissions mondiales de CO₂ liées à l'énergie ont atteint un niveau record de 36,6 milliards de tonnes en 2022. L'augmentation des émissions de combustibles fossiles en 2022 est principalement attribuable à une forte augmentation des émissions de carburant, à mesure que les voyages à travers le monde reprennent de la vigueur après la pandémie de COVID-19.

L'usage de combustibles fossiles est la principale source d'émissions de CO₂.

Si partout dans le monde, nous remplaçons toutes les centrales au charbon et au gaz naturel par des centrales nucléaires – qui produisent une énergie à faible émission de carbone – nous pourrions réduire les émissions mondiales de CO₂ de près de 13 milliards de tonnes par an.

À l'heure actuelle, en remplaçant le charbon et le gaz naturel, l'énergie nucléaire contribue à éviter environ 2,2 milliards de tonnes d'émissions de CO₂ par an. Cela équivaut à retirer de la circulation environ un tiers de toutes les voitures du monde!

ÉMISSIONS DE CO₂ DANS LE MONDE DEPUIS 2000



SOURCES : Forum économique mondial. « Analysis: Global CO₂ emissions from fossil fuels hits record high in 2022 », 2023. <https://www.weforum.org/agenda/2022/11/global-co2-emissions-fossil-fuels-hit-record-2022/>.
World Nuclear Association. « How can nuclear combat climate change? », 2023. <https://www.world-nuclear.org/nuclear-essentials/how-can-nuclear-combat-climate-change.aspx>.
Environmental Protection Agency des États-Unis. « Greenhouse Gas Emissions from a Typical Passenger Vehicle », 2023. <https://www.epa.gov/greenvehicles/greenhouse-gas-emissions-typical-passenger-vehicle>.

LES OBJECTIFS CLIMATIQUES DU CANADA

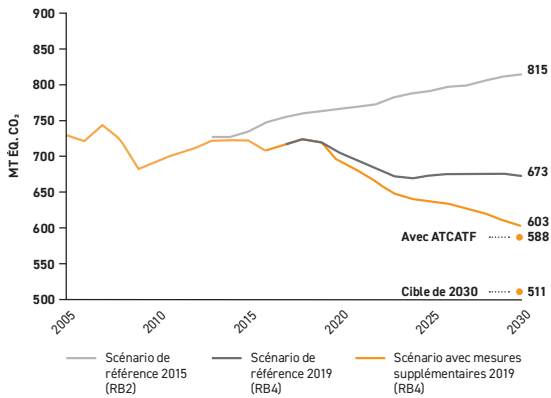
Les changements climatiques représentent l'une des plus grandes menaces de notre époque.

Dans le cadre de l'Accord de Paris de 2015, le Canada, comme 194 autres pays, a accepté de faire la transition vers une économie à faibles émissions de carbone et d'atteindre des objectifs de réduction des GES – lesquels sont propres à chaque pays.

Avec les mesures actuelles, le Canada ne sera vraisemblablement pas en mesure d'atteindre ses objectifs de 2030.

Si le Canada souhaite voir une réduction draconienne de ses émissions, il doit tirer parti de toutes les sources énergétiques à faible teneur en carbone disponibles, y compris le nucléaire.

PRÉVISIONS DES ÉMISSIONS DE GES AU CANADA



SOURCE : Environnement et Changement climatique Canada. « Projections des émissions de gaz à effet de serre et polluants atmosphériques : 2019. » <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/changements-climatiques/emissions-gaz-effet-serre/projections/2019.html>.

LE NUCLÉAIRE ET LES OBJECTIFS DE DÉVELOPPEMENT DURABLE DE L'ONU

L'industrie nucléaire canadienne contribue directement à 9 des 17 objectifs de développement durable (ODD) de l'ONU et indirectement aux huit autres, lesquels ont été conçus pour assurer la prospérité des pays développés et améliorer les conditions de vie des pays en développement d'ici 2030.

LE NUCLÉAIRE CONTRIBUE DIRECTEMENT AUX ÉLÉMENTS SUIVANTS :



2 : FAIM « ZÉRO »

La technologie nucléaire aide à protéger les végétaux contre les organismes nuisibles, en plus de renforcer la résistance des cultures face aux maladies et aux changements climatiques.



3 : BONNE SANTÉ ET BIEN-ÊTRE

La technologie nucléaire est utilisée pour diagnostiquer et traiter des maladies, notamment le cancer, et pour éliminer les agents pathogènes des produits alimentaires et des fournitures médicales.



6 : EAU PROPRE ET ASSAINISSEMENT

La technologie nucléaire peut aider à éliminer les contaminants des eaux usées, rendant l'eau propre à une réutilisation sécuritaire.



7 : ÉNERGIE PROPRE ET COUT ABORDABLE

L'énergie nucléaire est l'une des formes d'énergie les moins chères et aucun GES n'est émis lors de sa production.



9 : INDUSTRIE, INNOVATION ET INFRASTRUCTURE

L'industrie nucléaire étudie de façon innovante les options énergétiques et les améliorations technologiques pour l'avenir.



13 : LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Aucun GES n'est émis lors de la production de l'énergie nucléaire, ce qui réduit l'incidence de l'activité humaine sur le climat.



14 : VIE AQUATIQUE

La technologie nucléaire permet d'examiner l'état de santé des océans, en vue de mieux les comprendre et les protéger. Par exemple, on a recours à la technologie nucléaire pour analyser l'eau de mer, et ainsi remonter à la source des polluants et détecter la prolifération des algues.



15 : VIE TERRESTRE

La technologie nucléaire est utilisée pour évaluer les risques environnementaux, dans le but de protéger les forêts et d'inverser la tendance à l'appauvrissement de la biodiversité.



17 : PARTENARIATS POUR LA RÉALISATION DES OBJECTIFS

Depuis longtemps déjà, l'industrie nucléaire collabore avec les parties prenantes pour trouver des solutions aux problèmes d'ordre mondial.

L'EMPREINTE TERRESTRE DU NUCLÉAIRE

Le nucléaire constitue le mode de production d'électricité propre le plus économe en termes de superficie, à raison de 103 acres par million de mégawattheures.

Les autres options à faible teneur en carbone, comme l'énergie solaire et l'énergie éolienne, nécessitent une plus grande superficie – soit respectivement 3200 acres par million de mégawattheures et 17 800 acres par million de mégawattheures par an.

Pour produire 100 % de l'énergie mondiale à partir d'une seule source, le nucléaire aurait besoin d'une superficie équivalente à la Nouvelle-Écosse; l'énergie solaire occuperait toute la Colombie-Britannique, tandis que l'énergie éolienne nécessiterait presque l'ensemble du Québec.

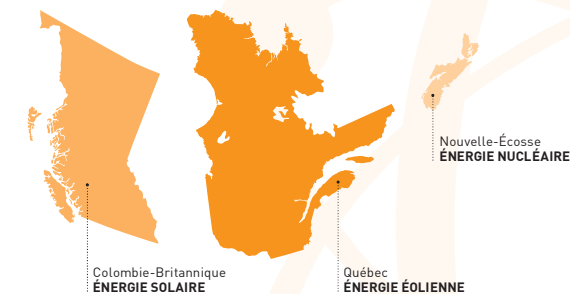
En raison de sa faible empreinte terrestre, le nucléaire a un effet tout à fait minime sur les habitats naturels.

Les effets des éoliennes sur les oiseaux et les chauves-souris ont été bien documentés, tout comme l'incidence des barrages hydroélectriques sur les écosystèmes aquatiques.

L'extraction de combustibles fossiles a un effet dévastateur sur les forêts, les pâturages et les réservoirs d'eau.

SOURCE : Nuclear Energy Institute. « Nuclear Needs Small Amounts of Land to Deliver Big Amounts of Electricity », 2023. <https://www.nei.org/news/2022/nuclear-brings-more-electricity-with-less-land>.

UTILISATION DU TERRITOIRE NÉCESSAIRE AU RAVITAILLEMENT MONDIAL EN ÉLECTRICITÉ



LE NUCLÉAIRE ET L'ÉCONOMIE CANADIENNE

La technologie nucléaire fait partie intégrante de toute économie avancée. Elle soutient la médecine, la science des matériaux, la fabrication de pointe, la sécurité alimentaire et la production d'énergie. En outre, l'énergie nucléaire joue un rôle essentiel dans le positionnement du Canada en tant que premier producteur d'hydrogène propre.

L'industrie nucléaire contribue à la création directe et indirecte de 76 000 emplois au Canada, avec une incidence sur le PIB canadien se chiffrant à 17 milliards de dollars par an.

Près de 200 entreprises canadiennes fournissent des produits ou des services à l'industrie nucléaire. Bien que la majorité de ces emplois soient liés à la production d'électricité, il faut savoir que l'extraction d'uranium est également une importante source d'emplois – et à elle seule, l'industrie des isotopes médicaux crée 8 500 emplois.

Les emplois dans le secteur de l'énergie nucléaire sont bien rémunérés et exigent habituellement des compétences professionnelles poussées.

SOURCE : MZ Consulting Inc. « Benefits of Nuclear Energy for Canadians », Association nucléaire canadienne, 2019. <https://cna.ca/wp-content/uploads/2019/11/MZ-Consulting-Benefits-of-Nuclear-Energy-for-Canadians.pdf>.

Les retombées économiques du secteur sont de plus en plus marquées, car des travaux majeurs sont en cours pour agrandir le parc nucléaire existant, et on prévoit d'autres projets, dont :

- La réfection du parc nucléaire de l'Ontario, qui permettra de prolonger la durée de vie utile des réacteurs.
- Un projet de PRM à la centrale de Darlington, en Ontario, qui doit être mis en service d'ici 2029, et il est prévu d'en construire trois autres.
- Un investissement de 1,2 milliard de dollars visant à revitaliser les Laboratoires de Chalk River d'EACL.
- Des initiatives de la part de quatre provinces visant à explorer et à promouvoir le déploiement de petits réacteurs modulaires.
- Un nouvel Institut visant la progression des recherches d'isotopes médicaux avancés à l'Université de la Colombie-Britannique [Institute for Advanced Medical Isotopes].

L'industrie nucléaire canadienne génère des revenus de plus de six milliards de dollars par an.

LA PRODUCTION D'URANIUM

Le Canada est le deuxième producteur d'uranium en importance au monde, Cameco Corporation et Orano Canada étant ses deux principales sociétés minières d'uranium.

Le pays exporte 85 % de l'uranium qu'il extrait. Toutes les exportations d'uranium du Canada sont destinées à des applications pacifiques.

L'uranium exporté injecte plus d'un milliard de dollars dans l'économie canadienne chaque année.

L'exploitation minière d'uranium est l'un des principaux employeurs des peuples autochtones de la Saskatchewan.

LE SAVIEZ-VOUS?

LE CANADA POSSÈDE 514 000 TONNES DE RÉSERVES D'URANIUM CONNUES, SOIT LA QUATRIÈME PLUS GRANDE RÉSERVE AU MONDE!

SOURCES : Ressources naturelles Canada. « À propos de l'uranium », 2023. https://www.rncan.gc.ca/energie/sources-denergie-et-reseau-de-distribution/energie-nucleaire-uranium/uranium-au-canada/propos-de-luranium/7696?_ga=2.261894221.1339612697.1635126445-1604748626.1635126445.
Ressources naturelles Canada. « L'industrie nucléaire canadienne et ses retombées économiques », 2023. https://www.rncan.gc.ca/energie/sources-denergie-et-reseau-de-distribution/energie-nucleaire-uranium/energie-nucleaire/lindustrie-nucleaire-canadienne-et-ses-retombees-economiques/77167?_ga=2.27481852.1339612697.1635126445-1604748626.1635126445.
World Nuclear Association. « World Uranium Mining Production », 2023. <http://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/mining-of-uranium/world-uranium-mining-production.aspx>.

PRODUCTION MONDIALE DES MINES D'URANIUM EN 2021

PAYS	TONNES D'U	% DE LA PRODUCTION MONDIALE
Kazakhstan	21 819	45
Canada	4 693	10
Australie	4 192	9
Namibie	5 753	12
Ouzbékistan	3 500	7
Niger	2 248	5
Russie	2 635	5
Chine	1 885	4
Ukraine	455	1
Afrique du Sud	385	1
Inde	615	1

LE COÛT DE L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE

Le nucléaire demeure l'une des sources d'électricité les plus abordables dans le monde.

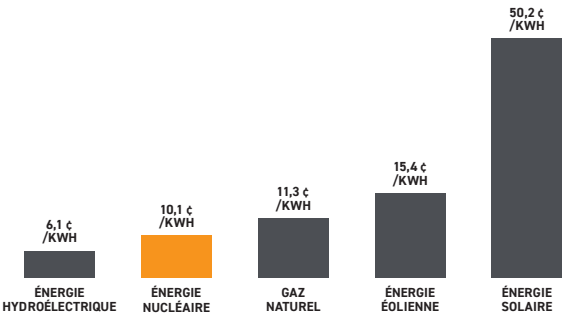
Si les centrales nucléaires nécessitent des investissements initiaux élevés, leur longue durée de vie et les faibles coûts du combustible, de l'exploitation et de l'entretien permettent, à terme, d'avoir accès à de l'énergie à faible coût.

En Ontario, seule l'hydroélectricité a un coût par kWh inférieur à celui du nucléaire. Le gaz naturel est environ un tiers plus cher que le nucléaire, tandis que l'éolien est deux tiers plus cher, et le solaire est plus de cinq fois plus cher.

LE SAVIEZ-VOUS?

PLUS DE LA MOITIÉ DU COÛT DU NUCLÉAIRE EST ATTRIBUABLE À LA CONSTRUCTION DES INSTALLATIONS – UN ASPECT D'AILLEURS, QUE LA MODULARISATION POURRAIT GRANDEMENT AMÉLIORER. UNE FOIS CONSTRUITE, LA CENTRALE NUCLÉAIRE PRÉSENTE DES COÛTS DE COMBUSTIBLE ET D'ENTRETIEN TRÈS FAIBLES, CE QUI PERMET D'ASSURER LA STABILITÉ DES PRIX DE L'ÉLECTRICITÉ SUR LA DURÉE DE VIE DES INSTALLATIONS, SOIT PLUS DE 60 ANS.

COÛT DE L'ÉNERGIE SELON LA SOURCE EN ONTARIO EN 2022



SOURCE : Commission de l'énergie de l'Ontario. « Regulated Price Plan Price Report from November 1, 2022 to October 31, 2023 », 2023, p. 19. <https://www.oeb.ca/sites/default/files/rpp-price-report-20191022.pdf>.

L'URANIUM ET LES RÉACTEURS NUCLÉAIRES

L'URANIUM

L'uranium est l'un des nombreux éléments radioactifs présents dans la nature. Ce métal lourd se trouve dans la plupart des roches et des sols à une concentration d'environ deux à quatre parties par million, soit à peu près la même concentration que l'étain.

Comme d'autres éléments, l'uranium existe sous plusieurs formes différentes, appelées « isotopes ».

Son isotope le plus courant est l'uranium 238 ou ²³⁸U (99,28 %), suivi de l'uranium 235 ou ²³⁵U (0,71 %). Le nombre qui accompagne le symbole « U » indique la masse atomique de l'isotope.

L'uranium 235 est le principal isotope de ce métal utilisé pour produire de l'électricité car il est fissile (c'est-à-dire qu'il peut être facilement « divisé » ou « fissionné »). Sa fission libère 100 millions de fois plus d'énergie par atome que la libération d'énergie chimique dans une réaction de combustion.



LE SAVIEZ-VOUS?

LES RÉACTEURS CANDU UTILISENT ²³⁵U DANS SA CONCENTRATION NATURELLE (0,71 %), TANDIS QUE D'AUTRES MODÈLES DE RÉACTEURS UTILISENT ²³⁵U ENRICHI À UNE CONCENTRATION DE 3 % OU PLUS.

CONVERSION DU MINÉRAI D'URANIUM EN COMBUSTIBLE POUR LES RÉACTEURS CANDU

EXTRACTION MINIÈRE

Il existe trois façons d'extraire le minerai d'uranium du sol : l'exploitation de mines à ciel ouvert, l'exploitation minière souterraine et la lixiviation in situ.

BROYAGE

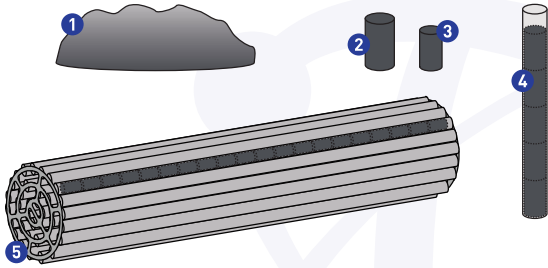
Le minerai est concassé dans un concentrateur, puis broyé en une fine boue. Cette boue est lixiviée dans une solution acide pour séparer l'uranium des autres minerais, puis on l'épure en vue de produire de la poudre d'oxyde d'uranium.

RAFFINAGE

On utilise des processus chimiques pour débarrasser l'oxyde d'uranium de ses impuretés, ce qui permet de produire du trioxyde d'uranium de grande pureté.

CONVERSION

Le trioxyde d'uranium est transformé en dioxyde d'uranium.



FABRICATION DE COMBUSTIBLE

La poudre de dioxyde d'uranium ① est pressée pour former des pastilles cylindriques ②, lesquelles seront cuites à haute température en vue d'obtenir un produit fini aux dimensions précises ③. Ces pastilles sont alors introduites dans des tubes de combustible ④, lesquels sont ensuite assemblés en grappes de combustible prêtes à l'emploi pour les réacteurs ⑤.

MÉTHODES D'EXTRACTION DE L'URANIUM

Il existe trois façons d'exploiter le minerai d'uranium :

L'exploitation de mines à ciel ouvert est employée lorsque les gisements d'uranium se trouvent près de la surface. Cela implique de retirer une couche de terre et de stériles, puis de creuser une fosse pour accéder au minerai. Les parois de la fosse sont aménagées en gradins afin de prévenir les affaissements.

L'exploitation minière souterraine est la méthode à privilégier lorsque les gisements sont enfouis profondément sous terre. Elle implique de forer un puits vertical selon la profondeur à laquelle se trouve le minerai, puis de percer un nombre de tunnels afin de pouvoir accéder directement au minerai.

La récupération sur place (ou lixiviation in situ) consiste à dissoudre le minerai d'uranium dans un gisement souterrain, en y injectant des solutions facilitant l'extraction, puis en les pompant vers la surface afin d'en extraire l'uranium dissous. Bien qu'elle ne soit pas encore utilisée au Canada, cette méthode d'exploitation minière est celle qui connaît le plus grand essor.



IMAGE: CAMECO

L'INDUSTRIE MINIÈRE DE L'URANIUM AU CANADA

Presque tout l'uranium canadien est extrait et concentré dans le nord de la Saskatchewan, dans la région du bassin d'Athabasca.

Le Canada possède les plus riches gisements à forte teneur en uranium au monde, dont la concentration en uranium est plus de cent fois supérieure à la moyenne mondiale.

Blind River, en Ontario, abrite la seule raffinerie d'uranium au Canada. Détenue et exploitée par Cameco, elle est la plus importante installation du genre au monde.

Port Hope, en Ontario, abrite la seule usine de conversion d'uranium au Canada. Celle-ci est également détenue et exploitée par Cameco.

On trouve également des usines qui transforment la poudre d'uranium naturel et assemblent des grappes de combustible pour réacteur CANDU à Port Hope (Cameco), à Toronto et à Peterborough (BWXT Nuclear Energy Canada) en Ontario.

Les sites de Wheeler River et de Rook I, dans le nord de la Saskatchewan, ont fait l'objet de propositions de projets d'extraction et de concentration d'uranium. La réalisation de ces projets est assujettie aux exigences applicables en matière d'évaluation de l'impact environnemental.

CARTOGRAPHIE DES INSTALLATIONS CANADIENNES DE PRODUCTION D'URANIUM



LA PUISSANCE DE L'URANIUM

La fission nucléaire est une source d'énergie très dense, ce qui fait que les réacteurs nucléaires nécessitent très peu de combustible.

Les pastilles d'uranium pèsent environ 20 grammes chacune, et il en faut moins de dix pour alimenter un foyer canadien moyen pendant un an.

Pour produire la même quantité d'électricité qu'une pastille de 20 grammes d'uranium, il faudrait brûler 400 kilogrammes de charbon ou 410 litres de pétrole ou 350 mètres cubes de gaz naturel.

COMBUSTIBLE NÉCESSAIRE POUR PRODUIRE LA MÊME QUANTITÉ D'ÉLECTRICITÉ



GRAPPE DE COMBUSTIBLE POUR RÉACTEUR CANDU



IMAGE : SOCIÉTÉ DE GESTION DES DÉCHETS NUCLÉAIRES

LE FONCTIONNEMENT DE LA FISSION NUCLÉAIRE

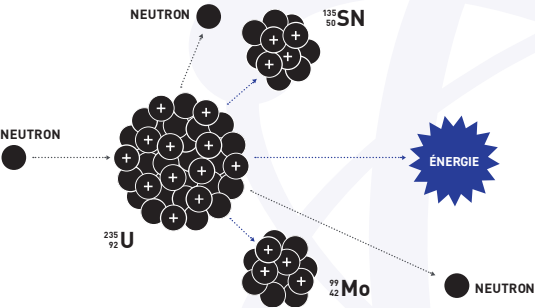
Les deux principaux isotopes de l'uranium, soit ²³⁵U et ²³⁸U, sont relativement stables avant le chargement du combustible dans le réacteur, c'est-à-dire qu'ils n'émettent pas beaucoup de rayonnement – si peu que l'on peut manutentionner sans danger les grappes de combustible inutilisées.

Toutefois, lorsqu'un atome de ²³⁵U et un neutron s'entrechoquent, l'atome se fissionne en plusieurs fragments, dont deux ou trois neutrons supplémentaires. Il dégage alors de la chaleur, qui peut être transformée en électricité.

Ces neutrons supplémentaires entrent en collision avec d'autres atomes de ²³⁵U à proximité, si bien que la réaction se poursuit. Les réacteurs nucléaires contrôlent cette réaction en chaîne de manière à obtenir l'état stable souhaité.

Ce processus génère également d'autres isotopes plus petits, tels l'iode 131, le césium 137 et le molybdène 99, qui trouvent des applications utiles dans les domaines médical et industriel.

FISSION NUCLÉAIRE



LES RÉACTEURS NUCLÉAIRES

Un réacteur nucléaire est une machine à vapeur hautement perfectionnée qui fait tourner un alternateur. C'est l'énergie libérée par la réaction de fission qui produit la chaleur pour générer la vapeur.

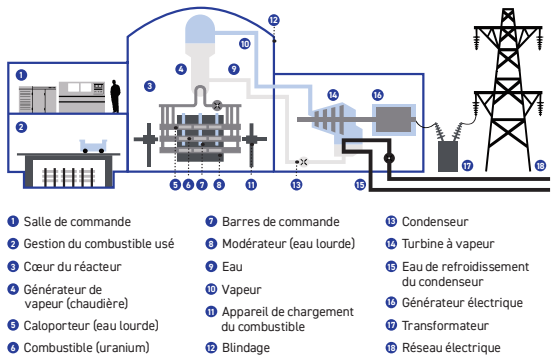
Le combustible d'uranium, le modérateur et le fluide caloporteur sont trois composants essentiels d'un réacteur nucléaire.

Selon le type de réacteur, l'uranium utilisé peut être naturel (0,71 % de ²³⁵U) ou enrichi (de manière que la part de ²³⁵U est de 3 % ou plus).

Le modérateur, matériau léger comme l'eau, ralentit les neutrons sans les absorber. Le ralentissement des neutrons rapides libérés au cours de la fission accroît la possibilité de fissions supplémentaires.

Le caloporteur est un fluide qui circule dans le cœur du réacteur et permet l'absorption et le transfert de la chaleur produite par la fission nucléaire. Il permet également de maintenir la température du combustible dans les limites acceptables.

SCHÉMA DU RÉACTEUR CANDU



- Les réacteurs nucléaires utilisent l'énergie produite par une réaction en chaîne du combustible nucléaire en vue de générer de l'électricité. Dans un réacteur CANDU, les étapes de la production d'électricité sont les suivantes :
- 1 Les opérateurs chargent l'uranium naturel dans le cœur du réacteur. Lorsqu'il y a suffisamment de combustible concentré dans le cœur, les neutrons de l'uranium déclenchent une réaction en chaîne.
 - 2 Les neutrons de la réaction en chaîne se déplacent à des vitesses variées – les plus lents étant les plus efficaces pour scinder les atomes d'uranium. Le cœur se trouve dans un modérateur (eau lourde, dans le cas du CANDU) qui ralentit les neutrons.
 - 3 Les opérateurs du réacteur, dans la salle de commandes, contrôlent et stabilisent la réaction, de sorte que le réacteur génère de la chaleur sans devenir trop chaud. Ils font entrer et sortir les barres de commande du cœur du réacteur. Ces barres (ou ensemble de tiges solidaires mobiles) – sont constituées d'une matière qui absorbe les neutrons et peuvent donc ralentir ou arrêter la fission, selon les besoins.
 - 4 Le réacteur peut devenir très chaud. Ainsi, un fluide caloporteur (eau lourde, pour les réacteurs CANDU) circule dans le cœur du réacteur, afin de le refroidir.
 - 5 Le fluide caloporteur s'échauffe aussi, mais cette chaleur est utile. Le fluide bout au point de se transformer en vapeur à haute pression. Alors, cette pression provenant de la vapeur pousse et active les turbines. Le fluide caloporteur est ensuite renvoyé dans le réacteur pour être réutilisé.
 - 6 L'énergie produite par la rotation des turbines fait tourner un alternateur, qui convertit le mouvement en électricité, à la manière d'une éolienne. Cette électricité alimente le réseau électrique.

LES RÉACTEURS CANDU

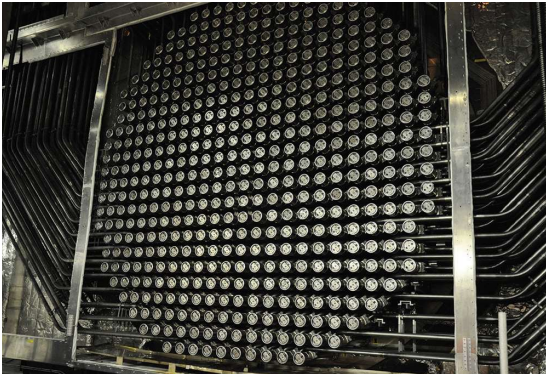
Le réacteur « CANDU » (CANada Deuterium Uranium) se nomme ainsi parce qu'il a été conçu au Canada et qu'il utilise de l'oxyde de deutérium (aussi appelé « eau lourde ») comme modérateur et caloporteur ainsi que de l'uranium comme combustible.

Les réacteurs CANDU sont les seuls qui utilisent comme combustible de l'uranium naturel – c'est-à-dire non enrichi – ou, moyennant certaines modifications, de l'uranium recyclé, un mélange de combustibles, et du thorium.

On peut recharger les réacteurs CANDU sans arrêter la réaction, alors que la plupart des autres réacteurs doivent être mis à l'arrêt avant le rechargement.

Les réacteurs CANDU sont exceptionnellement sécuritaires. Leurs systèmes de sûreté sont indépendants du reste de la centrale. En outre, trois dispositifs d'urgence sont prévus pour chaque composant de sûreté clé (on emploie souvent les termes « redondance » ou « défense en profondeur » pour désigner les mesures de sûreté multiples). Ces dispositifs renforcent la sûreté générale, tout en permettant de tester le système de sûreté pendant que le réacteur fonctionne à plein régime.

LE DEVANT DU RÉACTEUR CANDU À LA CENTRALE BRUCE A



LES RÉACTEURS NUCLÉAIRES À L'ÉCHELLE MONDIALE

Le Canada a exporté des réacteurs CANDU en Argentine, en Chine, en Inde, au Pakistan, en Roumanie et en Corée du Sud. Au total, il y a 34 réacteurs CANDU dans le monde, dont 27 sont actuellement en exploitation.

À cela s'ajoutent les 16 réacteurs construits en Inde d'après la technologie CANDU, mais non considérés comme de véritables réacteurs CANDU sur le plan technique.

CERNAVODA (ROUMANIE)



EMBALSE (ARGENTINE)



IMAGES: SNC-LAVALIN

QINSHAN (CHINE)



WOLSONG (CORÉE DU SUD)



RÉACTEURS CANDU ET RÉACTEURS CONÇUS D'APRÈS LA TECHNOLOGIE CANDU À L'ÉCHELLE MONDIALE

CENTRALE	RÉACTEURS	ÉTAT	UNITÉ DE RÉFÉRENCE (MW)
Bruce Power	8 réacteurs CANDU	En exploitation	6 358
Darlington	4 réacteurs CANDU	En exploitation	3 512
Pickering	6 réacteurs CANDU	En exploitation	3 094
	2 réacteurs CANDU	Fermé	1 030
Point Lepreau	1 réacteur CANDU	En exploitation	660
Gentilly-2	1 réacteur CANDU	Fermé	635
Cernavoda (Roumanie)	2 réacteurs CANDU	En exploitation	1 300
Embalse (Argentine)	1 réacteur CANDU	En exploitation	608
Karachi (Pakistan)	1 réacteur CANDU	Fermé	90
Kaiga (Inde)	4 réacteurs conçus d'après la technologie CANDU	En exploitation	808

CENTRALE	RÉACTEURS	ÉTAT	UNITÉ DE RÉFÉRENCE (MW)
Kakrapar (Inde)	3 réacteurs conçus d'après la technologie CANDU	En exploitation	1 034
Madras (Inde)	2 réacteurs conçus d'après la technologie CANDU	En exploitation	410
Narora (Inde)	2 réacteurs conçus d'après la technologie CANDU	En exploitation	404
	2 réacteur CANDU	En exploitation	277
Rajasthan (Inde)	4 réacteurs conçus d'après la technologie CANDU	En exploitation	808
Tarapur (Inde)	2 réacteurs conçus d'après la technologie CANDU	En exploitation	980
Qinshan (Chine)	2 réacteur CANDU	En exploitation	1 354
	3 réacteur CANDU	En exploitation	1 823
Wolsong (Corée du Sud)	1 réacteur CANDU	Fermé	661

SOURCE : IAEA Power Reactor Information System. « Country Statistics », 2023. <https://www.iaea.org/PRIS/CountryStatistics/CountryStatisticsLandingPage.aspx>.

TYPES DE RÉACTEURS DE PUISSANCE DANS LE MONDE

Les réacteurs CANDU sont un type de réacteur à eau lourde pressurisée (REL_P). Ils font partie des nombreux types de réacteurs de puissance exploités à l'heure actuelle dans le monde.

La concentration de l'uranium utilisé comme combustible, ainsi que le type de modérateur et de caloporteur employés dans le cœur, varient selon le réacteur.

Le type de réacteur le plus courant au monde est celui à eau pressurisée (REP) – soit 303 des 422 réacteurs nucléaires de puissance actuellement en exploitation dans le monde.

DIFFÉRENCES ENTRE LES DIVERS TYPES DE RÉACTEURS DE PUISSANCE

TYPE DE RÉACTEUR	COMBUSTIBLE	MODÉRATEUR	CALOPORTEUR	QUANTITÉ
Réacteur à eau pressurisée (REP)	UO ₂ enrichi	Eau	Eau	308
Réacteur à eau bouillante (REB)	UO ₂ enrichi	Eau	Eau	61
Réacteur à eau lourde pressurisée (REL _P)	UO ₂ naturel	Eau lourde	Eau lourde	47
Réacteur avancé refroidi par gaz (RARG)	U naturel et UO ₂ enrichi	Graphite	Dioxyde de carbone	8
Réacteur à eau légère au graphite	UO ₂ enrichi	Graphite	Eau	11
Réacteur surgénérateur à neutrons rapides	PuO ₂ et UO ₂	Aucun	Sodium fondu	2
Réacteur à haute température refroidi par gaz (RHTRG)	UO ₂ enrichi	Graphite	Hélium	1

SOURCES : World Nuclear Association, « Nuclear Power Reactors », 2023. <http://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-power-reactors/nuclear-power-reactors.aspx>.
IAEA Power Reactor Information System, « Country Statistics », 2023. <https://www.iaea.org/PRIS/CountryStatistics/CountryStatisticsLandingPage.aspx>.

LES RÉACTEURS DE NOUVELLE GÉNÉRATION ET LES COMBUSTIBLES AVANCÉS

L'innovation constante fait en sorte que le nucléaire demeure l'une de nos meilleures options en matière d'énergie propre, fiable et abordable.

En 2002, le Forum international Génération IV a été mis en place pour superviser l'élaboration de six nouvelles technologies de réacteurs, à savoir :

- 1 Réacteur rapide refroidi au gaz (RNR-G)
- 2 Réacteur rapide refroidi au plomb (RNR-Pb)
- 3 Réacteur à sels fondus (RSF)
- 4 Réacteur rapide refroidi au sodium (RNR-Na)
- 5 Réacteur refroidi à l'eau supercritique (RESC)
- 6 Réacteur à très haute température (RTHT)

Les six réacteurs offrent des améliorations par rapport aux réacteurs existants, y compris la flexibilité de la production, la variation des options de combustible et la réduction des flux de déchets.

Quatre des six réacteurs conviennent à la production d'hydrogène ou d'autres types de chaleur industrielle, en plus de la production d'électricité.

Les combustibles avancés comprennent entre autres le thorium, l'uranium de retraitement et le combustible fait d'oxydes mixtes (MOX).

Le thorium est un élément naturel plus abondant dans la nature que l'uranium. Plusieurs types de réacteurs peuvent déjà utiliser le thorium.

L'uranium de retraitement est celui qui a été récupéré du combustible nucléaire épuisé et traité en vue d'être réutilisé. Il permet d'éventuellement réduire le volume des déchets hautement radioactifs.

Le combustible MOX est fabriqué à partir du plutonium récupéré du combustible nucléaire épuisé et de l'uranium appauvri. De plus, il fournit un moyen d'utiliser et d'éliminer le plutonium de qualité militaire.

SOURCE : The Generation IV International Forum, « Generation IV Systems », 2020. <https://www.gen-4.org>.

LES PETITS RÉACTEURS MODULAIRES

La puissance des modèles de petits réacteurs modulaires (PRM) est de l'ordre de moins d'un mégawatt à 300 mégawatts. Les plus grands modèles font environ la taille d'un gymnase dans une école. Ils ont également comme caractéristique d'être modulaires : ils peuvent donc être produits en série, ce qui permet de réduire les coûts et de faciliter l'acheminement vers des endroits éloignés. Une petite ville pourrait utiliser un PRM jusqu'à ce que la pleine capacité soit atteinte, puis en ajouter un autre à mesure que la ville prend de l'expansion. Une mine pourrait faire usage d'un PRM pour l'aider dans sa production, puis le déplacer ailleurs lorsque les activités sont terminées.

Parmi les applications éventuelles que présentent les PRM au Canada, il y a la production d'électricité pour les petites villes et les localités isolées, la production de chaleur industrielle pour les industries primaires (p. ex., le Cercle de feu de l'Ontario ou les sables bitumineux de l'Alberta) et la contribution aux réseaux électriques en place.

Le déploiement de PRM au Canada permettrait de réduire considérablement les émissions de gaz à effet de serre, puisque, dans bien des cas, la production de combustibles fossiles sera remplacée par le nucléaire.

À l'heure actuelle, environ 70 modèles de PRM sont en cours de mise en œuvre à l'échelle internationale. Des PRM sont en construction ou à l'étape du processus d'autorisation en Argentine, au Canada, en Chine, en Russie, en Corée du Sud et aux États-Unis.

En 2020, le premier prototype fonctionnel de PRM, nommé Akademik Lomonosov, a commencé à produire de l'énergie dans la ville portuaire de Pevek, au nord-est de la Russie.

SOURCE : Agence internationale de l'énergie atomique. « Que sont les petits réacteurs modulaires (PRM)? Explication du nucléaire », 2023. <https://www.iaea.org/fr/newscenter/news/que-sont-les-petits-reacteurs-modulaires-prm>.

LES PRM, L'ENVIRONNEMENT ET L'ÉCONOMIE

L'ajout de petits réacteurs modulaires (PRM) au bouquet énergétique canadien pourrait certainement présenter plusieurs avantages.

Des villes plus vertes – Les PRM pourraient fournir de l'énergie aux réseaux de moindre envergure, notamment dans les communautés éloignées et nordiques habituellement alimentées par des combustibles fossiles. Comme un mégawatt peut alimenter environ 750 foyers, un PRM pourrait facilement produire assez d'énergie pour une petite ville. Il est aussi possible d'ajouter l'option de l'énergie intermittente, rendant ainsi l'énergie éolienne et solaire réalisable et complémentaire.

La production d'hydrogène – De nombreux PRM fonctionnent à une température suffisamment élevée pour assurer une production efficace d'hydrogène, ce qui représente un énorme potentiel pour une énergie sobre en carbone destinée aux transports.

Une industrie plus écologique – Les industries telles que l'exploitation minière et les sables bitumineux représentent une part importante de l'économie canadienne, mais leurs activités se déroulent souvent dans des lieux éloignés et hors réseau. De plus, elles ont besoin de beaucoup de chaleur et d'énergie pour fonctionner. Cela se traduit normalement par

la combustion de carburants fossiles. Les PRM réduiraient alors les émissions de carbone de ces industries de façon importante.

Une électricité fiable – Les PRM ont été conçus de façon à « isoler » ou protéger certaines parties du réseau électrique, ce qui signifie qu'une panne d'électricité dans une région serait moins susceptible d'en affecter une autre, si elle est alimentée par un réacteur nucléaire. Un PRM pourrait également être utilisé pour recharger un réseau après une panne de courant, car il n'a besoin d'aucune autre source d'énergie pour redémarrer.

Chauffage urbain – Le chauffage urbain, hors réseau, dépend actuellement presque exclusivement du carburant diesel, qui présente plusieurs contraintes (p. ex. coût, émissions). Il est possible de remédier à cette situation en recourant à de très modestes PRM.

Les exportations – Le marché mondial de la technologie des PRM est estimé entre 400 et 600 milliards de dollars. Un leadership mené très tôt dans le secteur des technologies des PRM permettrait de conquérir une part de marché intéressante.

SOURCE : EnviroEconomics et Navis Research. « Emission and Economic Implications for Canada of Using Small Modular Reactors (SMRs) in Heavy Industry », 2021. <https://cna.ca/wp-content/uploads/2021/03/GHG-Study-Slide-Deck.pdf>.

ÉVOLUTION DES PRM AU CANADA

Grâce à ses importantes réserves d'uranium, à son expérience poussée du nucléaire et à sa réglementation rigoureuse, le Canada a le potentiel de devenir un chef de file dans le développement, l'utilisation et la vente des technologies de petits réacteurs modulaires (PRM). L'intérêt à l'égard des PRM augmente partout au pays. En décembre 2019, les premiers ministres de la Saskatchewan, de l'Ontario et du Nouveau-Brunswick ont signé un protocole d'entente (PE) en vue de faire progresser la mise au point et le déploiement des PRM; l'Alberta s'est jointe au PE en avril 2021. Le PE encourage la coopération entre les provinces impliquées, de même que la participation de l'industrie, et incite à la prise de mesures. Cela englobe une étude de faisabilité préparée par quatre services publics provinciaux, lesquels ont constaté que les PRM ont le potentiel d'être concurrentiels sur le plan économique.

En 2022, les quatre provinces ont publié un « Plan stratégique visant le déploiement de petits réacteurs modulaires », qui a été suivi peu après par l'annonce selon laquelle la Saskatchewan envisageait le déploiement d'un PRM au début des années 2030. Plus tard la même année, la Banque de l'infrastructure du Canada a conclu un accord de 970 millions de dollars avec

Ontario Power Generation pour construire le premier PRM du pays à Clarington, en Ontario. Fort des projets de PRM déjà en cours en Ontario et au Nouveau-Brunswick, le Canada se positionne en tant que leader mondial de cette technologie de pointe.

LES DÉCHETS RADIOACTIFS ET LES MOYENS DE TRANSPORT

LES DÉCHETS RADIOACTIFS

Les déchets radioactifs sont des solides, des liquides ou des gaz qui émettent des rayonnements une fois arrivés à l'étape de postproduction.

Ces déchets proviennent de l'activité industrielle générée par les mines d'uranium, les usines de concentration, les centrales nucléaires, ainsi que les installations de recherche et de médecine.

Il existe quatre catégories de déchets radioactifs :

Les résidus d'extraction minière et de traitement de l'uranium se composent de stériles de l'extraction minière d'uranium et de résidus issus des procédés de concentration de l'uranium. Les stériles sont le matériau extrait d'une mine en vue d'accéder au minerai d'uranium. Les résidus sont ce qui reste du minerai une fois que l'on en a extrait l'uranium à l'aide de procédés chimiques.

Les déchets de faible activité (DRFA) comprennent des articles comme les têtes de vadrouilles, les chiffons, les gants et d'autres vêtements de protection susceptibles d'avoir été contaminés pendant leur utilisation au travail. Au Canada, plus de 98 % du volume des déchets radioactifs sont des DRFA.

Les déchets radioactifs de moyenne activité (DRMA) comprennent des articles qui ont été en contact plus direct

avec des matières radioactives telles que les résines échangeuses d'ions ou les composants d'un réacteur.

Les déchets radioactifs de haute activité (DRHA) consistent en du combustible épuisé. Ce type de déchet est généré par des centrales nucléaires et est fortement radioactif.

LES DÉCHETS RADIOACTIFS AU CANADA

CATÉGORIES DE DÉCHETS	INVENTAIRE À LA FIN DE 2019
Stériles	167 000 000 tonnes
Résidus des mines et usines	218 000 000 tonnes
Déchets radioactifs de faible activité (DRFA)	2 524 670 m³
Déchets radioactifs de moyenne activité (DRMA)	15 681 m³
Déchets radioactifs de haute activité (DRHA)	12 718 m³

SOURCE : Ressources naturelles Canada. « Déchets radioactifs au Canada », 2023. https://www.mcan.gc.ca/nos-ressources-naturelles/sources-energie-reseau-distribution/energie-nucleaire-uranium/dechets-radioactifs/7720?_ga=2.245810753.438453926.1635399633-1604748626.1635126445.

LE COMBUSTIBLE ÉPUISÉ

Les termes « combustible nucléaire épuisé » désignent le combustible usé qui est retiré d'un réacteur nucléaire après utilisation.

On retire les grappes de combustible du réacteur lorsque la concentration de ²³⁵U à l'intérieur devient trop faible pour entretenir une réaction de fission au niveau de puissance souhaité.

Le combustible retiré du réacteur est immergé dans une piscine de stockage pendant sept à dix ans, le temps qu'il refroidisse et que sa radioactivité diminue.

Après une dizaine d'années, les grappes de combustible nucléaire émettent moins de 0,01 % de la radioactivité émise dans le réacteur.

Une fois les grappes suffisamment refroidies, on les transfère dans de grands conteneurs en béton de stockage à sec, lesquels protègent et refroidissent davantage les grappes, tout en confinant le rayonnement résiduel.

Le combustible épuisé peut être recyclé et réutilisé, mais pour le moment, le Canada n'a pas adopté cette pratique. Plusieurs programmes nucléaires recyclent le combustible avec succès, notamment en France.

PISCINE DE STOCKAGE DU COMBUSTIBLE ÉPUISÉ À LA CENTRALE BRUCE B

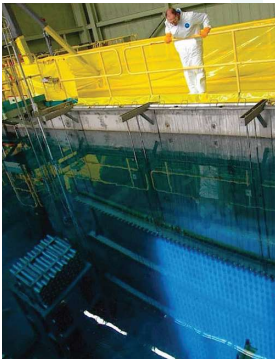


IMAGE: Bruce Power

LE SAVIEZ-VOUS?

SEULEMENT ENVIRON 1 % DE L'ÉNERGIE TOTALE CONTENUE DANS L'URANIUM EST CONSOMMÉE AVANT QUE LES GRAPPES DE COMBUSTIBLE NE SOIENT RETIRÉES DU RÉACTEUR. C'EST POURQUOI DE NOMBREUX SCIENTIFIQUES PRÉFÈRENT NE PAS QUALIFIER LE COMBUSTIBLE USÉ DE « DÉCHET ».

LA GESTION DU COMBUSTIBLE NUCLÉAIRE ÉPUISÉ

Au Canada, tout le combustible nucléaire épuisé est placé de manière sécuritaire dans des installations d’entreposage autorisées.

Des mesures de sécurité rigoureuses sont en place de façon à garantir que les grappes de combustible épuisé entreposées ne présentent aucune menace pour la santé publique.

L’entreposage du combustible nucléaire épuisé est géré par les services publics et les laboratoires qui en sont propriétaires. Il est réglementé, autorisé et surveillé de près par la Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN) en étroite collaboration avec l’Agence internationale de l’énergie atomique (AIEA).

La Société de gestion des déchets nucléaires (SGDN) gère l’entreposage à long terme du combustible nucléaire épuisé au Canada.

CONTENEURS D'ENTREPOSAGE DU COMBUSTIBLE ÉPUISÉ



IMAGE: Ontario Power Generation

LE SAVIEZ-VOUS?

SI L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE PRODUISAIT TOUTE L'ÉLECTRICITÉ QUE VOUS CONSOMMEREZ AU COURS DE VOTRE VIE, LES DÉCHETS REMPLIRAIENT À PEINE UNE CANETTE DE BOISSON GAZEUSE!

LA SOCIÉTÉ DE GESTION DES DÉCHETS NUCLÉAIRES

En 2002, la Société de gestion des déchets nucléaires (SGDN) a été créée en réaction à la législation fédérale, en vue d’élaborer une approche de gestion à long terme du combustible nucléaire épuisé au Canada.

La SGDN a sollicité les citoyens, les spécialistes des connaissances et les peuples autochtones à l’échelle du pays pour mettre au point une approche respectant les priorités et les objectifs des Canadiens. En 2007, le gouvernement fédéral a choisi le plan de Gestion adaptative progressive (GAP) pour le Canada. La SGDN est responsable de la mise en œuvre de ce plan.

L’aboutissement du plan GAP est le confinement et l’isolement centralisés du combustible nucléaire épuisé dans un dépôt géologique en profondeur. Le projet n’ira de l’avant que si les communautés concernées, à savoir les collectivités locales des Premières Nations et des Métis, ainsi que les communautés environnantes, participent à la mise en œuvre du projet.

Le processus de sélection des sites est axé sur les communautés et conçu de manière à veiller, avant toute chose, à ce que le site sélectionné soit entièrement sécuritaire.

Pour cela, des études techniques et sociales approfondies doivent être réalisées, afin de réduire progressivement les options, puis aboutir à un site privilégié d’ici 2023. En 2021, deux sites sont toujours à l’étude, soit à South Bruce et à Ignace, en Ontario.

Un plan des transports – sécuritaire et acceptable du point de vue social – doit aussi être mis au point.

Selon la loi, les producteurs de combustible nucléaire épuisé doivent financer l’intégralité de la mise en œuvre du plan canadien.

LE SAVIEZ-VOUS?

COMME L'EXIGE LA LOI SUR LES DÉCHETS DE COMBUSTIBLE NUCLÉAIRE, LES PRODUCTEURS DE COMBUSTIBLE NUCLÉAIRE USÉ ONT DÉJÀ CONTRIBUÉ AUX FONDs EN FIDUCIE QUI ASSURENT LA GESTION À LONG TERME DU COMBUSTIBLE ÉPUISÉ AU CANADA.

DÉPÔT GÉOLOGIQUE EN PROFONDEUR

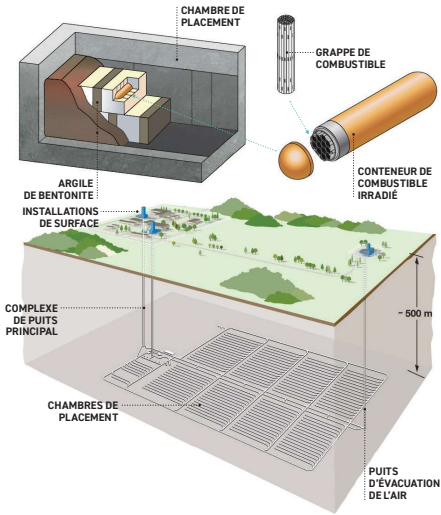
Le combustible nucléaire épuisé sera entreposé dans des conteneurs sécuritaires à environ 500 mètres sous la surface du sol, dans un dépôt géologique en profondeur.

Grâce à la technologie de pointe des conteneurs et à la protection assurée par la formation géologique sécuritaire, ni le public ni l'environnement ne seront exposés au rayonnement.

Le processus de sélection du site est en cours depuis 2010. Il a débuté auprès de 22 municipalités et collectivités autochtones qui ont exprimé le souhait d'en connaître davantage et d'explorer leur éventuelle capacité d'accueillir ce projet.

SOURCE : Société de gestion des déchets nucléaires. « Deep Geological Repository Conceptual Design Report Crystalline / Sedimentary Rock Environment », mai 2016. https://www.nwmo.ca/~media/Site/Reports/2016/06/08/10/03/APM_REP_00440_0015_R001.ashx?la=en.
Société de gestion des déchets nucléaires. « Régions à l'étude », 2023. <https://www.nwmo.ca/fr/Site-selection/Study-Areas>

SCHÉMA DE DÉPÔT GÉOLOGIQUE EN PROFONDEUR



LES DÉCHETS RADIOACTIFS DE FAIBLE ET DE MOYENNE ACTIVITÉ

Les propriétaires d'installations nucléaires sont responsables de l'entreposage sécuritaire des déchets radioactifs de faible et moyenne activité. Ces déchets – qui constituent des articles allant d'objets requis pour effectuer le nettoyage de la centrale et de ses installations, jusqu'aux pièces du réacteur – sont beaucoup moins radioactifs que le combustible épuisé, mais ils sont beaucoup plus nombreux.

Pour l'heure, ces déchets sont entreposés en toute sécurité en surface, dans les installations nucléaires, mais il ne s'agit pas d'une situation idéale, car ils sont exposés aux risques d'aléas naturels. La radioactivité des déchets de faible activité (98 % du total des déchets) sera réduite à des concentrations de niveaux sécuritaires d'ici quelques centaines d'années; cependant, il est difficile de garantir la gestion sans faille d'un tel site pendant si longtemps.

Dans ce cas, les exploitants et les experts s'accordent à dire que la meilleure solution est la même que celle utilisée pour le combustible épuisé : un dépôt géologique en profondeur.

L'Ontario Power Generation (OPG) recherche d'ailleurs activement un emplacement convenable. Pour cela, il faut une formation rocheuse stable, en plus de l'accord des communautés avoisinantes, notamment celui des

SOURCES : Agence d'évaluation d'impact du Canada. « Projet de stockage de déchets radioactifs à faible et moyenne activité dans des couches géologiques profondes », 2015.
Commission canadienne de sûreté nucléaire. « Déchets radioactifs de faible et de moyenne activité », 2021. <http://nuclearsafety.gc.ca/tra/waste/low-and-intermediate-waste/index.cfm>.
Laboratoires Nucléaires Canadiens. « Installation de gestion des déchets près de la surface », 2021. <https://www.cnl.ca/gerance-environnementale/installation-de-gestion-des-dechets-pres-de-la-surface-igdps/?lang=fr>.
Laboratoires Nucléaires Canadiens. « Initiative de la région de Port Hope », 2021. <https://www.phai.ca/fr/home/default.aspx>.

Premières Nations, qui comprennent les risques et les bienfaits associés à un tel projet.

Les analyses scientifiques démontrent que les risques sont très faibles : une formation rocheuse à Kincardine, en Ontario, qui a déjà été considérée comme un emplacement possible, n'a pas été perturbée depuis plusieurs millions d'années. D'autre part, un tel projet nécessiterait forcément la gestion du dépôt géologique, ce qui permettrait d'engendrer la création de plusieurs emplois pour les communautés avoisinantes.

Les Laboratoires Nucléaires Canadiens (LNC) sont responsables de la gestion de plusieurs anciens sites pour le compte du gouvernement fédéral. Ils ont décidé d'adopter une approche différente pour la région de Port Hope, en Ontario, en retirant les déchets radioactifs de faible activité du sol, puis en remblayant avec de la terre non contaminée, pour ensuite concevoir un monticule de stockage, et le recouvrir de façon étanche pour le « sceller ». Les LNC prévoient de construire l'installation de gestion des déchets près de la surface – un monticule de confinement artificiel – en vue d'assurer l'élimination sécuritaire et permanente des déchets radioactifs solides de faible activité provenant d'activités opérationnelles effectuées sur ces sites.

LE TRANSPORT

Chaque année, environ 20 millions de cargaisons de matières radioactives transitent dans le monde par transport routier, ferroviaire et maritime.

Le Canada possède une vaste expérience quant au transport des matières faisant partie du cycle du combustible nucléaire; notamment, le transport du minerai d'uranium, des grappes de combustible, de l'eau tritiée et du combustible épuisé. Il en va de même pour le transport d'autres matières comme les radio-isotopes.

Voici quelques-unes des mesures qui contribuent à la gestion sécuritaire des matières radioactives :

- Ingénierie sécuritaire des véhicules et des conteneurs
- Personnel rigoureusement formé et dûment qualifié
- Suivi de l'inventaire et reddition de comptes
- Organismes de réglementation professionnels indépendants
- Analyse et examen détaillés des incidents

Le transport sécuritaire des matières nucléaires est sous la responsabilité commune de la Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN) et de Transports Canada.

À ce jour, au Canada, aucun accident générant des émissions radioactives susceptibles d'être nocives pour la santé humaine ou l'environnement n'est jamais survenu pendant le transport.

LE SAVIEZ-VOUS?

SEULEMENT ENVIRON 5 % DES CARGAISONS DE MATIÈRES RADIOACTIVES SONT LIÉES AU CYCLE DU COMBUSTIBLE NUCLÉAIRE. LE RESTE CONCERNE DES SECTEURS TELS QUE LA MÉDECINE, L'AGRICULTURE, L'INDUSTRIE ET LA RECHERCHE.

SOURCES : Agence internationale de l'énergie atomique, « La sécurité du transport », 2019. <https://www.iaea.org/fr/themes/la-securite-du-transport>.
World Nuclear Transport Institute, « Nuclear Power », 2019. <https://www.wnti.co.uk/nuclear-transport-facts/facts-figures.aspx>.

LES TYPES D'EMBALLAGE

Pour l'emballage des matières radioactives, le Canada a adopté les normes de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), en fonction des caractéristiques des matières qu'ils renferment.

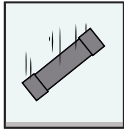
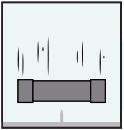
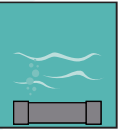
Les emballages industriels et exceptés suffisent pour les matières radioactives de faible activité, comme le minerai d'uranium.

Les emballages de type A sont conçus pour résister à des accidents mineurs et servent au transport de matières radioactives d'activité moyenne, comme les radio-isotopes.

Les emballages de type B sont des châteaux de transport robustes et très sécuritaires utilisés pour le transport de combustible épuisé et de déchets fortement radioactifs. Ces colis sont soumis à des essais rigoureux, notamment des épreuves de chute libre, des épreuves de perforation, des épreuves thermiques, des épreuves d'immersion.

Les emballages de type C offrent la plus grande protection contre les accidents. Ils sont utilisés pour le transport de matières dangereuses comme le plutonium et peuvent résister au largage d'un avion en altitude de croisière.

ESSAIS SUR LES EMBALLAGES DE TYPE B

			
CHUTE LIBRE Une chute libre de 9 mètres (30 pieds) sur une surface rigide	PUNCTURE Une chute libre d'un mètre (40 pieds) sur une tige d'acier	THERMAL 30 minutes de feu enveloppant à 800 °C (1475 °F)	IMMERSION Une immersion de 8 heures dans l'eau



LA SCIENCE ET LES TECHNOLOGIES NUCLÉAIRES

LA SCIENCE ET LES TECHNOLOGIES NUCLÉAIRES AU CANADA

La science et les technologies nucléaires font partie intégrante des capacités de notre pays en ce qui a trait au génie et à la fabrication. Voilà pourquoi le gouvernement fédéral et l'industrie nucléaire canadienne investissent depuis longtemps en science et en technologies nucléaires.

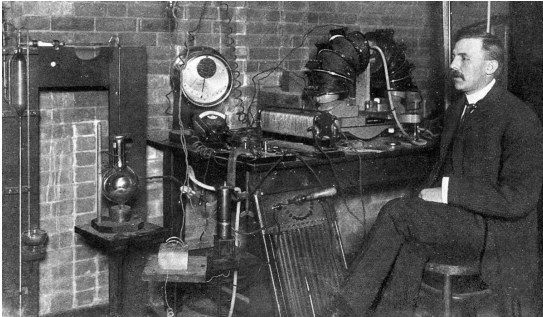
Des initiatives de recherche sont menées partout au pays dans des laboratoires, des universités et sur le site des réacteurs de recherche.

Le Canada est depuis toujours un chef de file de la recherche nucléaire. D'ailleurs, quatre chercheurs canadiens se sont vus décerner des prix Nobel pour leurs travaux liés à la science et à la technologie nucléaires :

- Ernest Rutherford en 1908 pour ses travaux menés à l'Université McGill sur la décroissance radioactive
- Richard E. Taylor en 1990 pour les premières découvertes sur les quarks en physique des particules
- Bertram N. Brockhouse en 1994 pour la mise au point de nouvelles techniques de diffusion neutronique
- Arthur B. McDonald en 2015 pour la découverte des oscillations de neutrinos qui montre que les neutrinos ont une masse

D'un bout à l'autre du Canada, la technologie nucléaire joue un rôle important dans bon nombre de secteurs – notamment, la médecine, les aliments, l'agriculture, l'industrie, les ressources en eau, le transport et les produits de consommation.

ERNEST RUTHERFORD À MCGILL EN 1905



LES RADIO-ISOTOPES ET DEMI-VIES

La technologie nucléaire repose sur l'utilisation de radio-isotopes, c'est-à-dire les isotopes radioactifs d'un élément.

Tous les isotopes d'un élément donné ont le même nombre de protons dans leur noyau atomique mais un nombre différent de neutrons.

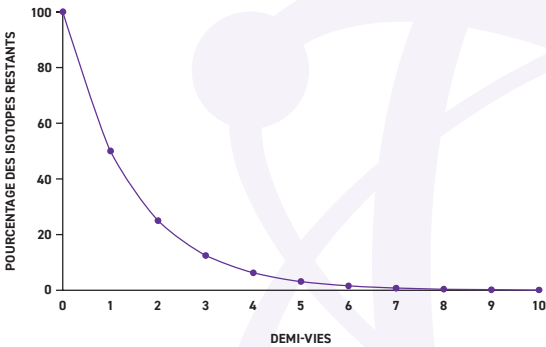
Les radio-isotopes sont des isotopes qui ont un nombre instable de neutrons et qui subissent un changement (ou « décroissance ») pour devenir stables, processus au cours duquel ils émettent des rayonnements.

Une demi-vie correspond au temps nécessaire pour la décroissance de la moitié d'un radio-isotope. Plus la demi-vie est courte, plus l'isotope décroît rapidement, plus il est radioactif.

Le radio-isotope de l'uranium (²³⁵U) est utilisé pour produire le combustible. Il a une demi-vie de 704 millions d'années, ce qui explique pourquoi les grappes de combustible non utilisées peuvent être manipulées sans risque.

Les radio-isotopes couramment utilisés en médecine sont le fluor-18, dont la demi-vie est d'un peu moins de deux heures, et le technétium-99, dont la demi-vie est de six heures.

DÉCROISSANCE RADIOACTIVE

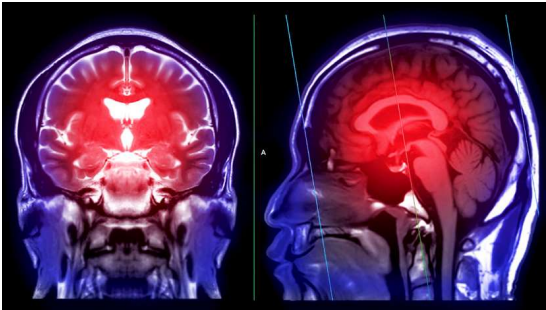


LA MÉDECINE NUCLÉAIRE

La médecine nucléaire utilise le rayonnement pour diagnostiquer diverses maladies et en déterminer les stades d'évolution, comme dans le cas du cancer. On y a aussi recours pour administrer les traitements, notamment en détruisant les tumeurs par radiothérapie. Une grande partie de la médecine nucléaire fonctionne en injectant un radio-isotope au patient. Cet isotope s'accumule dans les tissus cibles et émet un rayonnement qui est capté par un détecteur situé à l'extérieur du corps.

Plus de 1,3 million d'examens par imagerie diagnostique sont effectués chaque année au Canada, grâce aux radio-isotopes comme le technétium-99. Le Canada a toujours été un leader mondial dans le domaine des isotopes médicaux, fournissant la plupart des matières premières du monde, et ce, jusqu'à la fermeture du Réacteur national de recherche universel en 2018. En revanche, la même année, le Canada a annoncé la création de l'Institute for Advanced Medical Isotopes, accueilli dans les installations de TRIUMF, à l'Université de la Colombie-Britannique. On prévoit y produire une variété d'isotopes médicaux.

SOURCES : Instituts de recherche en santé du Canada « Imagerie médicale », 2015. <https://cihr-irsc.gc.ca/f/40539.html>.
Ressources naturelles Canada. « Isotopes médicaux », 2020. https://www.rncan.gc.ca/energie/sources-denergie-et-reseau-de-distribution/energie-nucleaire-uranium/mesures-prises-par-le-gouvernement-du-canada-pour-assurer-notre-approvisionnement-en-isotopes/777947_ga=2.119508992.825214086.1635486328-1604748626.1635126445.
World Nuclear News. « Canada to build advanced medical isotope centre », 2018. <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Canada-to-build-advanced-medical-isotope-centre>.



IMAGERIE DIAGNOSTIQUE DU CERVEAU

Au Canada, l'utilisation de 20 isotopes médicaux est approuvée. Certains d'entre eux, comme le fluor-18 et le gallium-67, sont produits dans des sites choisis au pays. D'autres, comme le technétium-99 et l'iode-131, doivent présentement être importés.

LA RADIOTHÉRAPIE ET LA STÉRILISATION

La médecine nucléaire comprend un ensemble commun de techniques utilisées dans le traitement du cancer. Elles consistent à soumettre des parties spécifiques du corps à un rayonnement dans le but de détruire les cellules cancéreuses.

Plus de 10 000 hôpitaux à travers le monde utilisent des radio-isotopes dans la pratique médicale, et environ 90 % des procédures servent à poser un diagnostic. Chaque année, environ 40 millions de procédures en médecine nucléaire sont pratiquées sur des patients atteints de maladies cardiaques ou de cancers, ce qui permet de sauver des vies.

La radiothérapie peut être réalisée soit à l'extérieur du corps par irradiation, soit à l'intérieur du corps par injection de radio-isotopes.

Des milliers de doses thérapeutiques sont administrées chaque année au Canada. Cela peut se faire par radiothérapie externe, qui implique l'émission d'un faisceau de radiation directement sur le tissu cancéreux, ou par curiethérapie, qui consiste à appliquer une source radioactive à l'intérieur du corps (ou à côté), afin d'administrer une dose contrôlée de rayonnement sur la tumeur.

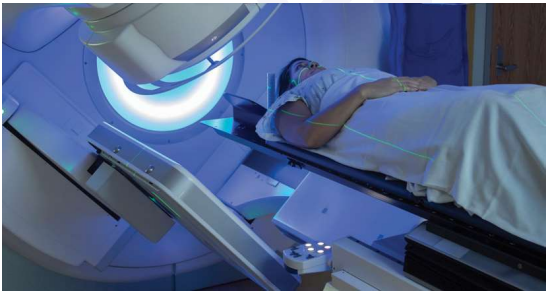
Les hôpitaux utilisent également des radio-isotopes tels que le cobalt 60 – qui est produit dans les centrales nucléaires de l'Ontario – pour stériliser le matériel médical comme les blouses,

SOURCE : Agence canadienne des médicaments et des technologies de la santé. « Inventaire canadien d'imagerie médicale 2019-2020 », janvier 2021.
World Nuclear Organization. « Radioisotopes in Medicine », 2023. <https://world-nuclear.org/information-library/non-power-nuclear-applications/radioisotopes-research/radioisotopes-in-medicine.aspx>.

les gants, les masques, les seringues et les implants.

La stérilisation par rayonnement est moins chère que la stérilisation thermique traditionnelle, elle ne cause pas de dommages dus à la chaleur et s'avère plus sécuritaire, car elle peut être réalisée après que les articles ont été emballés. Autre point intéressant : elle ne rend pas l'équipement radioactif – il est donc sécuritaire de s'en servir tout de suite après le procédé de stérilisation.

PATIENT SOUMIS À UNE RADIOTHÉRAPIE



FAVORISER L'ÉCONOMIE DE L'HYDROGÈNE

L'hydrogène présente des avantages considérables pouvant dynamiser l'industrie canadienne. Lorsque ce gaz est combiné à l'oxygène disponible dans l'air, il génère de l'énergie pouvant ensuite être transformée en électricité – et le seul résidu produit est de l'eau. Voici quelques exemples de transformations au sein de l'économie canadienne découlant de l'usage de l'hydrogène :

- Les piles à combustible d'hydrogène pourraient alimenter les véhicules, et ce, sans émission de carbone.
- L'hydrogène pourrait faire tourner nos grandes industries dans des endroits éloignés, sans brûler de combustibles fossiles.
- L'hydrogène pourrait stocker l'énergie provenant de sources intermittentes (éolienne ou solaire), puis fournir de l'électricité la nuit ou lorsque le vent ne souffle pas.

La principale méthode de production utilisée dans le monde repose sur l'utilisation du gaz naturel, un combustible fossile. Il faut savoir que l'hydrogène peut également être produit par l'électrolyse des molécules d'eau (ou la technique du splitting). Cette méthode requiert de l'électricité, mais le processus lui-même utilise une partie de l'énergie, de sorte qu'il a une plus forte intensité carbonique que l'électricité utilisée pour le produire. Comme l'énergie nucléaire libère moins de carbone que presque toutes les autres sources

d'électricité, il est possible d'y avoir recours pour produire de l'hydrogène relativement « vert ».

Un autre procédé, appelé « pyrolyse du méthane », utilise la chaleur pour séparer les atomes d'hydrogène du méthane et produire de l'hydrogène gazeux. Il libère également du carbone comme sous-produit, mais ce carbone est solide et ne pénètre donc pas l'atmosphère.

Cette méthode nécessite des températures très élevées (de 500 à 1000 °C), qui peuvent être atteintes par les réacteurs nucléaires de quatrième génération, y compris certains modèles de petits réacteurs modulaires. Voilà une belle démonstration d'un moyen rentable de produire de l'hydrogène sans émission élevée de carbone.

La transformation de l'économie nécessitera beaucoup d'hydrogène : pour y parvenir au sein de l'Union européenne, la Commission européenne entend produire 10 millions de tonnes d'hydrogène renouvelable d'ici 2030.

LE CANADA ET L'ÉCONOMIE DE L'HYDROGÈNE

Le Canada est en bonne position pour contribuer à l'approvisionnement en hydrogène de son propre marché et du marché international, puisqu'il est déjà l'un des dix principaux producteurs d'hydrogène dans le monde, en plus de se démarquer comme nation nucléaire de premier plan.

Le gouvernement fédéral reconnaît pleinement le potentiel du Canada en tant que fournisseur et chef de file de la technologie de l'hydrogène. En décembre 2020, il a lancé sa Stratégie sur l'hydrogène pour le Canada dans le cadre de son engagement à réaliser la carboneutralité d'ici 2050. Ce document énonce expressément le fort potentiel de l'industrie nucléaire au sein d'une économie de l'hydrogène.

Dans l'Énoncé économique de l'automne 2022, le gouvernement a prévu de rendre le nouveau crédit d'impôt à l'investissement disponible pour diverses filières de l'hydrogène propre. Le crédit d'impôt proposé sera remboursable, et offert dans le cadre d'investissements admissibles. Cette mesure sera progressivement retirée après 2030.

« L'HEURE DE L'HYDROGÈNE EST VENUE. CE COMBUSTIBLE OFFRE DE VÉRITABLES POSSIBILITÉS AUX TRAVAILLEURS ET AUX COLLECTIVITÉS SUR LES PLANS ÉCONOMIQUE ET ENVIRONNEMENTAL. UNE TENDANCE SE DESSINE À L'ÉCHELLE MONDIALE, ET LE CANADA EN TIRE PROFIT. VOILÀ COMMENT NOUS ATTEINDRONS LA CARBONEUTRALITÉ. »

— SEAMUS O'REGAN,
Ancien ministre des Ressources naturelles

SOURCE : Gouvernement du Canada. « Consultation sur le crédit d'impôt à l'investissement pour l'hydrogène propre », 2023. <https://www.canada.ca/fr/ministere-finances/programmes/consultations/2022/consultation-sur-le-credit-dimpot-a-linvestissement-pour-lhydrogene-propre.html>.

L'IRRADIATION DES ALIMENTS

L'irradiation des aliments est le processus consistant à utiliser des rayonnements pour tuer les bactéries, les insectes et les parasites susceptibles de causer des maladies d'origine alimentaire.

De plus, l'irradiation prolonge la durée de conservation des aliments en détruisant les micro-organismes responsables de leur dégradation et en ralentissant le processus de mûrissement. Il ne rend pas l'aliment radioactif, car le rayonnement passe simplement à travers celui-ci.

Plus de 55 pays, dont le Canada, irradient des produits alimentaires tels que la viande, les fruits, les légumes, les céréales et les épices.

L'entreprise canadienne Nordion fabrique la plupart des irradiateurs d'aliments utilisés à travers le monde.



LE SAVIEZ-VOUS?

DES ANNÉES DE RECHERCHE ONT DÉMONTRÉ QUE LES ALIMENTS IRRADIÉS SONT TOUT AUSSI SÛRS ET NUTRITIFS QUE LES ALIMENTS CONSERVÉS PAR CONGÉLATION OU PAR MISE EN CONSERVE!

LES APPLICATIONS AGRICOLES DU RAYONNEMENT

Des rayonnements sont utilisés en agriculture pour produire des variétés végétales plus prisées, ainsi que pour réduire les pertes de cultures causées par les insectes.

Ces variétés culturales sont produites en exposant les graines à des rayonnements afin d'induire des modifications génétiques, selon un processus appelé la « sélection par mutation ».

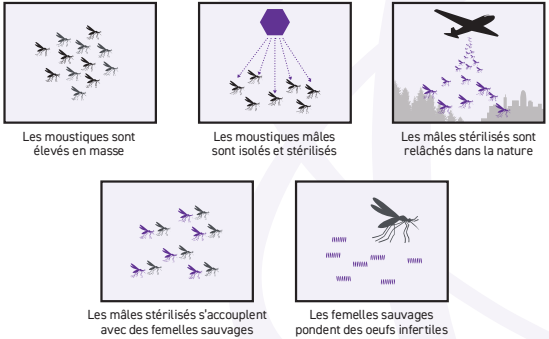
On a recours à la sélection par mutation depuis plusieurs dizaines d'années en vue de créer des cultures plus abondantes, nutritives, adaptables aux conditions climatiques hostiles et résistantes aux parasites. Plus de 3 200 variétés de cultures ont été mises au point de cette manière.

Les rayonnements sont aussi utilisés pour contrôler les populations d'insectes, par le biais de la Technique d'élevage d'insectes stériles (SIT).

La SIT est une solution de rechange aux pesticides, qui est respectueuse de l'environnement, et qui consiste à élever, stériliser et relâcher des insectes mâles dans la nature, où ils s'accouplent avec des femelles, sans les féconder.

Certains fertilisants contiennent des traces d'éléments radioactifs, lesquels déterminent les taux d'absorption des nutriments; cela permet d'améliorer la gestion de l'eau et l'utilisation d'engrais.

TECHNIQUE D'ÉLEVAGE D'INSECTES STÉRILES



SOURCE : Agence internationale de l'énergie atomique. « Sélection par mutation », 2019. <https://www.iaea.org/fr/themes/selection-par-mutation>.

LES INSPECTIONS INDUSTRIELLES

On utilise des matières radioactives pour examiner la structure moléculaire et macroscopique des matériaux, sans les endommager ou les modifier. Il s'agit d'une forme de contrôle non destructif.

Comme les rayons X, les rayons gamma traversent les objets et créent une image de ces objets sur une pellicule, de manière à en révéler les défauts.

Entre autres applications, ces imageries nucléaires permettent :

- D'étudier des composants d'aéronef essentiels tels que les rotors, les ailes et les trains d'atterrissage, afin de réduire le risque d'une défaillance en vol
- D'examiner la structure des moteurs automobiles afin de les rendre plus fiables et de réduire les risques de défaillances
- D'améliorer la structure de surface des implants médicaux – comme les stimulateurs cardiaques – afin d'optimiser leur compatibilité avec le corps humain

- D'analyser les conduites et autres composants pétroliers et gaziers, en vue de réduire les risques de défauts et de fuites, au bénéfice de la santé environnementale et humaine
- De mettre au point des systèmes perfectionnés d'administration de produits pharmaceutiques, de façon à augmenter leur efficacité et atténuer les effets secondaires

LES JAUGES ET TRACEURS INDUSTRIELS

Une jauge nucléaire est un dispositif qui utilise une source radioactive pour détecter rapidement les caractéristiques d'un objet, telles que son épaisseur, sa densité ou sa composition chimique.

Il y a deux principaux types de jauges : fixes ou portatives.

Les jauges fixes sont généralement utilisées dans des installations de production en vue de contrôler et de surveiller la qualité des produits.

Les jauges portatives sont apportées sur les sites pour différentes raisons, parmi lesquelles :

- L'analyse des parois des trous creusés afin d'identifier les gisements de minéraux
- La recherche de cavités souterraines ou d'autres formations susceptibles de rendre instable un chantier de construction
- La détermination de la densité d'asphalte dans un revêtement afin d'optimiser la durée de vie des routes, la résistance à la création d'ornières et la durabilité globale

Des radio-isotopes servent de traceurs en vue d'étudier les taux relatifs aux mélanges et à l'écoulement de différents liquides, poudres et gaz, mais aussi pour localiser les fuites.

Les traceurs peuvent aider à caractériser les ressources en eaux souterraines et superficielles (notamment en ce qui a trait à l'âge, la provenance, la distribution et les interconnexions), ainsi qu'à déterminer les débits de rejet et les taux de sédimentation.

JAUGE D'HUMIDITÉ ET DENSIMÈTRE



IMAGE: Humboldt Scientific

LE SAVIEZ-VOUS?

LA COMMISSION CANADIENNE DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE (CCSN) RÉGLEMENTE LA POSSESSION, L'UTILISATION, LE CONDITIONNEMENT, LE TRANSPORT, LE STOCKAGE, L'IMPORTATION ET L'EXPORTATION DE TOUS LES TYPES DE SUBSTANCES NUCLÉAIRES, Y COMPRIS LES JAUGES NUCLÉAIRES.

LE DESALEMENT NUCLÉAIRE

La plupart des Canadiens ont la chance de pouvoir accéder facilement à une source d'eau douce. À l'inverse, de nombreuses régions du monde manquent d'eau potable. En 2020, un total de 17 000 usines de dessalement étaient en service dans environ 150 pays pour produire une eau potable salubre.

La plupart de ces usines de dessalement sont alimentées par la combustion de combustibles fossiles, ce qui contribue à l'augmentation des émissions de GES.

Les usines nucléaires de dessalement utilisent quant à elles la chaleur de petits réacteurs nucléaires pour évaporer l'eau, éliminant le sel et les débris.

Bien qu'il existe plusieurs méthodes de dessalement, le dessalement nucléaire offre une chaleur non émettrice de carbone et de faibles coûts de combustibles.

Plusieurs usines nucléaires de dessalement à capacité réduite et de démonstration sont en cours d'exploitation, mais aucune commercialisation à grande échelle n'a été réalisée jusqu'à présent.

LE SAVIEZ-VOUS?

ON ESTIME QU'UN CINQUIÈME DE LA POPULATION MONDIALE N'A PAS ACCÈS À L'EAU POTABLE.



SOURCES : International Desalination Association. « Desalination and Water Reuse by the Numbers », 2019. <https://idadesal.org/>.
World Nuclear Association. « Desalination », 2020. <http://www.world-nuclear.org/information-library/non-power-nuclear-applications/industry/nuclear-desalination.aspx>.
Eke, Joyner, Tusuf, Ahmed, Oliva, Adewale et Soig, Ahmed (2020). The global status of desalination: An assessment of current desalination technologies, plants and capacity. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0011916420313114>.

LES DÉPLACEMENTS PROPULSÉS PAR L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE

NAVIGATION SPATIALE

L'énergie nucléaire est utilisée pour la navigation spatiale depuis 1961.

Des générateurs thermiques à radio-isotopes (GTR) sont utilisés lors de la plupart des missions spatiales. La chaleur générée par la décroissance d'une source radioactive, souvent du plutonium, est utilisée pour produire de l'électricité.

Les sondes spatiales Voyager, la mission Cassini vers Saturne, la mission Galileo vers Jupiter, la mission New Horizons vers Pluton, et les missions Curiosity et Perseverance vers Mars étaient toutes alimentées par des GTR.

La mission Voyager 2, lancée en 1977, est la mission spatiale la plus longue jamais réalisée.

La NASA évalue la possibilité d'utiliser de nouveaux modèles de propulsion nucléaire proposés par BWX Technologies en partenariat avec Lockheed Martin; General Atomics Electromagnetic Systems en partenariat avec X-energy et Aerojet Rocketdyne; ainsi qu'Ultra Safe Nuclear Technologies en partenariat avec GE Hitachi, General Electric Research; et plusieurs autres.

TRANSPORT MARITIME

L'énergie nucléaire est particulièrement adaptée aux navires qui doivent rester en mer pendant de longues périodes sans se ravitailler.

Il existe à ce jour quelque 160 navires munis de plus de 200 petits réacteurs nucléaires. La plupart sont des sous-marins, mais il y a aussi des brise-glaces à propulsion nucléaire et des porte-avions.

TRANSPORT ROUTIER

À l'avenir, l'électricité ou la chaleur des centrales nucléaires pourraient être utilisées dans le but de produire de l'hydrogène, qui peut être utilisé dans les piles à combustible pour alimenter les voitures. Les véhicules électriques ont déjà recours à l'énergie nucléaire lorsqu'ils se rechargent sur des réseaux comme ceux de l'Ontario et du Nouveau-Brunswick.

SOURCE : World Nuclear Association. « The Many Uses of Nuclear Technology », 2020. <http://www.world-nuclear.org/information-library/non-power-nuclear-applications/overview/the-many-uses-of-nuclear-technology.aspx>.
Nuclear Energy Institute. « Nuclear Taking Us Faster & Farther into Space », 2023. <https://www.nei.org/news/2021/nuclear-taking-us-faster-and-farther-into-space>.
World Nuclear Association. « Nuclear-Powered Ships », 2023. <https://world-nuclear.org/information-library/non-power-nuclear-applications/transport/nuclear-powered-ships.aspx>.

LES PRODUITS DE CONSOMMATION

Les biens de consommation ayant le plus souvent recours à la technologie nucléaire sont les détecteurs de fumée. Les détecteurs de fumée à ionisation utilisent le rayonnement produit par une faible quantité d'américium-241 pour détecter la présence de fumée ou de chaleur.

Les panneaux d'issue de secours sont alimentés par le tritium, un isotope radioactif de l'hydrogène. Ces panneaux n'ont pas besoin d'électricité ou de piles, et remplissent donc une fonction de sécurité importante pendant les pannes de courant.

Le tritium, qui est généré dans les réacteurs de fission de type CANDU, est également utilisé dans les horloges, les montres et les viseurs de canon pour créer de la « lumière » en l'absence d'électricité.

Parmi les autres biens de consommation utilisant la technologie nucléaire, on peut citer :

- Les produits cosmétiques, les solutions pour lentilles de contact et certains produits capillaires, qui sont stérilisés par rayonnement
- Les poêles à frire, qui sont souvent traitées par rayonnement afin d'obtenir une surface antiadhésive
- Les photocopieurs, qui utilisent parfois du polonium radioactif pour empêcher l'accumulation d'électricité statique

SOURCE : World Nuclear Association. « Radioisotopes in Consumer Products », 2018. <http://www.world-nuclear.org/information-library/non-power-nuclear-applications/radioisotopes-research/radioisotopes-in-consumer-products.aspx>.

FONCTIONNEMENT DES DÉTECTEURS DE FUMÉE À IONISATION

Le rayonnement alpha provenant d'une source d'américium ionise l'air entre deux électrodes (+ et -). Cela permet au courant de circuler d'une électrode à l'autre. Lorsqu'il y a de la fumée dans cet espace, les ions ne circulent pas et le courant s'arrête. Lorsque cela se produit, l'alarme du détecteur de fumée se déclenche.

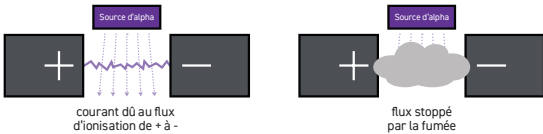


IMAGE: Enseignement de physique avancée

LES AUTRES UTILISATIONS DE LA TECHNOLOGIE NUCLÉAIRE

Les applications de la technologie nucléaire sont vastes et incluent, en plus de celles qui ont été décrites précédemment :



La prévention de la propagation de maladies infectieuses telles qu'Ebola, la malaria ou Zika



La mesure de magnitudes et de sources d'érosion des sols



La détection, la surveillance et le suivi de contaminants alimentaires



L'amélioration de la santé, la productivité et la nutrition des cheptels



La lutte contre la malnutrition et l'obésité infantile



L'analyse de métaux, d'alliages et de matériaux électroniques



L'identification de matériaux médico-légaux extrêmement petits ou dilués



La caractérisation de matériels historiques et archéologiques



La radiodation des roches et matières organiques



L'étude de la pollution atmosphérique et des aérosols

SOURCE : Agence internationale de l'énergie atomique. « Analyse de matériaux », 2019. <https://www.iaea.org/fr/themes/analyse-de-matériaux>.

LES CENTRES DE RECHERCHE NUCLÉAIRE

Les centres de recherche nucléaire sont des installations clés permettant la promotion de la science et des technologies nucléaires.

Il existe plusieurs grands centres de recherche nucléaire au Canada, dont cinq utilisent des réacteurs de recherche. D'autres centres utilisent des accélérateurs de particules, nommément les accélérateurs linéaires, les cyclotrons et les synchrotrons.

Les Laboratoires de Chalk River, détenus par Énergie atomique du Canada Limitée et exploité par les Laboratoires Nucléaires Canadiens, constituent le plus grand centre de recherche nucléaire au pays.

Les Laboratoires de Chalk River comptent 17 installations nucléaires autorisées – comme le réacteur de recherche ZED-2 et l'Installation de tritium – ainsi que plus de 50 autres bâtiments et laboratoires conçus pour innover dans les domaines de la sûreté, la sécurité, la santé, l'environnement et les énergies propres.

Rendu possible grâce à un investissement d'Énergie atomique du Canada Limitée et du gouvernement du Canada totalisant 1,2 milliard de dollars, le complexe fait l'objet d'une importante revitalisation. En effet, citons l'ouverture de nouveaux laboratoires (d'hydrogène en 2015 et de la science des

matériaux en 2016), ainsi que la construction actuelle du Centre de recherche avancé sur les matériaux nucléaires, lequel deviendra, à l'échelle nationale, le plus vaste laboratoire voué à la manipulation et à la recherche sur les substances nucléaires et radioactives.

Plusieurs universités canadiennes réalisent également des recherches dans le domaine nucléaire. À titre d'exemple, l'installation TRIUMF, qui est située sur le site de l'Université de la Colombie-Britannique, est le fruit des efforts de nombreuses universités. TRIUMF exploite le cyclotron le plus puissant du monde, stimulant la recherche canadienne en physique atomique et facilitant la mise au point de nouvelles méthodes de production de radio-isotopes. TRIUMF accueille également l'Institute for Advanced Medical Isotopes, une nouvelle installation de pointe destinée à la recherche sur les isotopes médicaux et les produits radiopharmaceutiques de la prochaine génération.

De même, l'Université McMaster abrite une série d'installations de recherche nucléaire, dont un réacteur d'essai de 5MW, permettant des découvertes dans les domaines de la technologie des énergies propres, de la médecine, des matériaux de pointe, de la sécurité nucléaire et de la science environnementale. L'Université McMaster est également un leader mondial en matière de recherche et de production d'isotopes médicaux, contribuant ainsi chaque année au traitement de plus de 70 000 patients atteints de cancer.

Le Centre canadien de rayonnement synchrotron exploite le seul instrument du genre au Canada, soit un appareil en forme d'anneau, vaste et complexe, destiné à l'accélération à haute énergie des électrons pour la recherche sur les matériaux.

LABORATOIRES DE CHALK RIVER

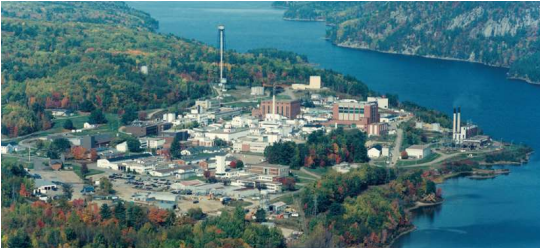


IMAGE: Laboratoires Nucléaires Canadiens

RÉACTEUR NRU



IMAGE: Laboratoires Nucléaires Canadiens

L'INTÉRIEUR DU CYCLOTRON TRIUMF



IMAGE: TRIUMF

L'INTÉRIEUR DU SYNCHROTRON CCRS



IMAGE: Centre canadien de rayonnement synchrotron

LA RECHERCHE SUR LA FUSION NUCLÉAIRE

La fusion nucléaire est un procédé qui permet de libérer d'énormes quantités de chaleur en provoquant la compaction de noyaux atomiques. Il s'agit essentiellement du contraire de la fission, qui consiste plutôt à diviser les atomes.

Dans le Soleil, la gravité crée les conditions propices à la fusion. Ici, sur Terre, la difficulté consiste à créer ces mêmes conditions en utilisant les champs magnétiques et l'inertie.

L'un des combustibles les plus efficaces pour produire une énergie de fusion est un mélange d'isotopes lourds de l'hydrogène (deutérium et tritium), ce qui signifie que l'eau pourrait devenir la source principale de combustible.

En plus de constituer une source de combustible abondante, la fusion pourrait devenir un mode de production d'énergie relativement propre et générer des déchets ayant une période radioactive plus courte par rapport à la fission.

L'entreprise canadienne General Fusion, basée en Colombie-Britannique, est en train de mettre au point une structure de démonstration de la fusion, la première en son genre, qui présentera sa technologie de fusion de cibles magnétisées.

FUSION NUCLÉAIRE

DEUTÉRIUM

TRITIUM

HÉLIUM

NEUTRON

ÉNERGIE

IMAGE: General Fusion

LE RAYONNEMENT, LA SÛRETÉ NUCLÉAIRE ET LA RÉGLEMENTATION

LE RAYONNEMENT

Le rayonnement est une énergie qui se propage sous forme d'ondes ou de particules. Il est présent partout dans l'univers, notamment dans les roches terrestres et dans l'espace lointain.

Le son, la lumière et la chaleur sont des types de rayonnement que les humains peuvent sentir directement. D'autres types ne peuvent être observés qu'indirectement, tels que les rayonnements émis par les micro-ondes, les ondes radio et les rayons ionisants.

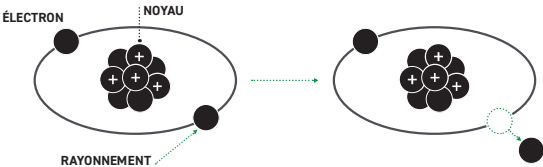
Lorsque l'on discute de rayonnement dans le contexte de l'énergie nucléaire, il s'agit généralement de rayons ionisants.

Un rayonnement ionisant est émis lors de la décroissance d'atomes. Il s'agit d'un type de rayonnement hautement énergétique qui peut séparer les électrons des atomes de la matière irradiée.

Le rayonnement ionisant se produit naturellement et il est omniprésent. Le niveau normal de rayonnement dans un endroit donné est appelé « rayonnement de fond ».

Dans le contexte de la sûreté nucléaire et de la santé humaine, les principaux types de rayonnement sont les particules alpha et bêta, ainsi que les rayons gamma.

RAYONNEMENT IONISANT



LES DOSES DE RAYONNEMENT ET LES EFFETS

Il existe de nombreuses façons de mesurer les rayonnements. Un compteur Geiger peut mesurer les rayonnements alpha, bêta et gamma. Il est aussi possible de mesurer la dose de rayonnement cumulative à l'aide d'un dosimètre personnel.

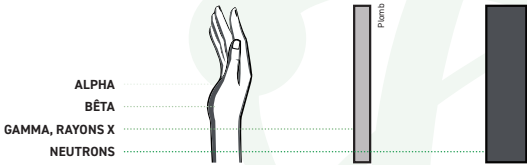
Les effets biologiques varient selon le type de rayonnement ionisant. Pour tenir compte des différences, on mesure généralement ces effets en unités appelées millisieverts (mSv).

Un rayonnement ionisant ne peut rendre radioactifs des atomes qui ne le sont pas au départ. C'est pourquoi on peut y avoir recours de façon sécuritaire pour stériliser les aliments ou les fournitures médicales.

Toutefois, à forte dose, le rayonnement ionisant peut endommager des tissus sains et causer de graves maladies.

On n'a pu établir avec certitude un niveau de rayonnement sûr, mais les recherches confirment qu'une dose allant jusqu'à 100 mSv/an n'a aucun effet mesurable sur la santé humaine.

CAPACITÉ DE PÉNÉTRATION DES DIFFÉRENTS TYPES DE RAYONNEMENT



LE RAYONNEMENT DE FOND

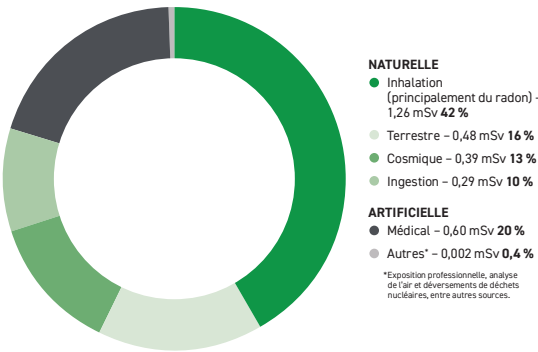
Le rayonnement de fond est constitué de sources naturelles et artificielles (d'origine humaine).

Le rayonnement naturel dans le monde est en moyenne de 2,4 mSv/an, bien que certaines variations locales puissent être considérables. Par endroits, comme à Ramsar en Iran, les niveaux de rayonnement naturel peuvent atteindre 260 mSv/an, soit plus de cinq fois la dose limite pour les travailleurs canadiens de l'énergie nucléaire.

En moyenne, les Canadiens sont naturellement exposés à environ 1,8 mSv/an. À l'échelle locale, les niveaux varient d'environ 1,3 mSv à Vancouver jusqu'à environ 4,1 mSv à Winnipeg. La plupart de ces rayonnements proviennent des roches du sol et du radon présent dans la nature.

Le rayonnement de l'énergie nucléaire produit moins de 0,1 % de notre rayonnement naturel.

SOURCES DE RAYONNEMENT À TRAVERS LE MONDE



SOURCES : Commission canadienne de sûreté nucléaire. « Doses de rayonnement », 2020. <http://www.nuclearsafety.gc.ca/tra/resources/radiation/introduction-to-radiation/radiation-doses.cfm>.
Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants. « Radiation Effects and Sources », 2016, p. 54. http://www.unscear.org/docs/publications/2008/UNSCEAR_2008_Report_Vol.I.pdf.

LES EFFETS DU RAYONNEMENT SUR LE CORPS

Si les faibles doses que nous recevons naturellement, et par le biais de procédures médicales, ne présentent que peu de risques pour notre santé, les fortes doses reçues en peu de temps (appelées doses aiguës) peuvent s'avérer très dangereuses.

Des doses d'une telle ampleur ne se produisent que dans des circonstances extrêmes, comme dans le cas des travailleurs d'urgence sur le site de l'accident de Tchernobyl. Le Canada n'a jamais vécu un événement produisant des doses d'une telle ampleur.

LE SAVIEZ-VOUS?

LA VIE SUR TERRE A ÉVOLUÉ DANS UN CHAMP DE RAYONNEMENT, ET CERTAINES RECHERCHES DÉMONTRENT QUE NOS CELLULES ONT LA CAPACITÉ DE RÉPARER LES DOMMAGES CAUSÉS PAR LES RAYONNEMENTS!

DOSES DE RAYONNEMENT ET EXEMPLES

MSV	EXEMPLE
10 000	Dose aigüe provoquant la mort en quelques semaines
6 000	Dose aigüe reçue par certains secouristes de Tchernobyl
5 000	Dose aigüe qui causerait la mort en quelques mois de la moitié des personnes exposées
1 000	Dose aigüe qui provoquerait la maladie des rayons, mais pas la mort
600	Dose horaire maximale enregistrée à Fukushima le 14 mars 2011
350	Dose reçue par les résidents de Tchernobyl qui ont été relocalisés
150	Dose annuelle reçue par les astronautes à bord de la Station spatiale internationale

LA SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Le Programme électronucléaire du Canada présente un bilan exemplaire en matière de sécurité. Fort de plus de 60 ans d'expérience dans le domaine de la santé et sûreté de ses travailleurs et du public, il est un chef de file de l'industrie nucléaire à l'échelle mondiale.

De nombreuses barrières de protection séparent les installations nucléaires et les collectivités dans lesquelles elles sont exploitées. Ces barrières de protection permettent d'assurer la sûreté des travailleurs, des collectivités et de l'environnement, afin de les protéger contre les incidents provoqués par une erreur humaine, une défaillance matérielle ou des facteurs externes (p. ex., un tremblement de terre).

La production d'énergie nucléaire est la seule technologie faisant l'objet d'une surveillance par un organisme international onusien, l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA).

En raison de cette étroite surveillance et d'une réglementation des plus rigoureuses, tant sur le plan national qu'international, la production d'énergie nucléaire est l'une des technologies les plus sûres au monde.

LE SAVIEZ-VOUS?

LA TECHNOLOGIE DE L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE PRÉSENTE LE PLUS FAIBLE TAUX DE DÉCÈS ET DE BLESSURES PAR UNITÉ D'ÉLECTRICITÉ PRODUITE!

LA RÉGLEMENTATION NUCLÉAIRE

La Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN) est l'organisme de réglementation nucléaire du Canada.

La CCSN est un organisme indépendant qui relève du Parlement par l'entremise du ministre des Ressources naturelles. Elle possède des pouvoirs quasi judiciaires, comparables à ceux d'une cour de justice, et peut imposer à des individus et à des organisations les sanctions prévues par la loi, telles que des amendes.

La CCSN régit l'utilisation de l'énergie et des matières nucléaires afin de préserver la santé, la sûreté et la sécurité des gens et de protéger l'environnement.

Elle surveille et régit le cycle complet du combustible nucléaire et les autres utilisations des matières nucléaires, notamment les mines d'uranium, les usines de concentration et les installations de traitement de l'uranium, les usines de fabrication de combustible, les centrales nucléaires, les installations de stockage de déchets radioactifs, les installations de recherche nucléaire et les installations de traitement des substances nucléaires.

Toute personne ou organisation qui souhaite posséder, utiliser, transporter ou entreposer des matières nucléaires ou construire, exploiter, déclasser ou fermer une installation

nucléaire, y compris une centrale nucléaire, doit obtenir au préalable un permis auprès de la CCSN.

La CCSN honore les engagements internationaux du Canada à l'égard de l'utilisation pacifique de l'énergie nucléaire.

Sur la scène internationale, la CCSN collabore depuis longtemps avec d'autres organismes dans le cadre de partenariats bilatéraux ou multilatéraux, notamment avec l'AIEA et l'Agence pour l'énergie nucléaire (AEN). La CCSN participe à de nombreux comités, groupes de travail et forums avec l'AIEA et l'AEN, créant ainsi maintes occasions d'échanger sur les leçons apprises et les pratiques exemplaires. De plus, les examens par les pairs au sein de l'AIEA se déroulent partout dans le monde, et la CCSN y prend part de façon régulière.

QUELLE EST LA PRIORITÉ DU CCSN ?

Afin de veiller à la sécurité des personnes et de l'environnement, la CCSN mène des activités de conformité, y compris des inspections, pour s'assurer que les titulaires de permis respectent toutes les conditions et exigences des permis.

La CCSN effectue un certain nombre d'évaluations environnementales (ÉE) conformément à la *Loi canadienne sur l'évaluation environnementale (2012)* (LCEE 2012) et examine les demandes de permis dans le cadre de la Loi sur la sûreté et la réglementation nucléaires.

Voici quelques exemples :

- Les évaluations environnementales et les examens de permis pour les projets d'assainissement de l'environnement proposés par les Laboratoires Nucléaires Canadiens.
- Le déclassement du réacteur nucléaire de démonstration à Rolphton, en Ontario.
- Le déclassement du réacteur WR-I aux Laboratoires Whiteshell à Pinawa, au Manitoba
- Choix du site et construction d'un stockage définitif à faible profondeur aux laboratoires de Chalk River (LCR), Ontario.

La CCSN effectue une ÉE en vertu de la LCEE 2012 pour le projet de microréacteur modulaire de Global First Power sur le site des LCR. La CCSN poursuit également sa préparation en vue de demandes de projets visant les petits réacteurs modulaires,

notamment une collaboration internationale ayant pour objectif de renforcer la sûreté et de favoriser l'harmonisation.

La CCSN examine présentement la demande de permis d'Ontario Power Generation en vue de la construction du nouveau projet nucléaire de Darlington – un projet de petit réacteur modulaire de 300 mégawatts à l'échelle du réseau.

INSPECTION D'UNE CENTRALE NUCLÉAIRE PAR LA CCSN



IMAGE: Commission canadienne de sûreté nucléaire

LE SAVIEZ-VOUS?

LE PERSONNEL DE LA CCSN SE TROUVE SUR LE SITE CHAQUE CENTRALE NUCLÉAIRE CANADIENNE, AINSI QU'aux LABORATOIRES DE CHALK RIVER ET DANS CINQ BUREAUX RÉGIONAUX AU CANADA.

LA SÉCURITÉ DES SITES

Au Canada, la sécurité nucléaire est réglementée par la CCSN, qui fixe des exigences de sécurité détaillées pour les installations nucléaires autorisées.

Les exigences de sécurité sont établies de façon à protéger les installations nucléaires contre toute possibilité d'infiltration ou d'attaque, et à garantir que le matériel nucléaire demeure entre bonnes mains.

Les principales exigences en matière de sécurité incluent :

- Les évaluations annuelles relatives aux menaces et risques
- La disponibilité de forces d'intervention armées sur place – 24 heures sur 24, sept jours sur sept – aux sites à sécurité élevée
- Les contrôles de sécurité renforcés pour les employés et les entrepreneurs, impliquant des vérifications rigoureuses (antécédents, casier judiciaire, autorités policières et enquêtes de sécurité)
- La mise en place de mesures supplémentaires de contrôle pour accéder aux installations nucléaires

SOURCE : Commission canadienne de sûreté nucléaire. « Gestion des urgences et sécurité nucléaire », 2014. <http://suretenucleaire.gc.ca/fra/resources/emergency-management-and-safety/index.cfm>.

- Les analyses de la menace de référence confrontant les installations nucléaires
- La mise en place d'une alimentation électrique ininterrompue pour les systèmes de surveillance d'alarme et les autres systèmes de sécurité
- La planification d'urgences, procédures et exercices

BRUCE POWER RESPONSE FORCE



IMAGE: Bruce Power

LA CYBERSÉCURITÉ

La cybersécurité est la pratique qui consiste à protéger les systèmes, les réseaux et les programmes contre les attaques numériques.

Toutes les infrastructures essentielles, y compris celles des centrales nucléaires, s'appuient sur des mesures de cybersécurité efficaces pour se protéger contre les attaques.

La CCSN exige que les titulaires de permis de centrale nucléaire instaurent un programme de cybersécurité qui répond aux exigences de la norme CSA N290.7-14, intitulée *Cybersécurité pour les centrales nucléaires et les installations dotées de petits réacteurs*. La CCSN mène des inspections visant à confirmer la conformité aux exigences et le caractère adéquat du programme. Les systèmes de sécurité et de contrôle, de même que d'autres composants stratégiques des réacteurs nucléaires canadiens, ne sont pas directement connectés aux réseaux des entreprises ou à Internet.

LES CHEFS D'ÉTAT LORS DU SOMMET SUR LA SÉCURITÉ NUCLÉAIRE DE 2016



IMAGE: Ben Solomon/U.S. Department of State



RESSOURCES

ÉTABLISSEMENTS POSTSECONDAIRES CANADIENS OFFRANT DES PROGRAMMES NUCLÉAIRES

Collège Algonquin	algonquincollege.com
Université Brock	brocku.ca
Université Carleton	carleton.ca
Université McMaster	mcmaster.ca
Institut universitaire de technologie de l'Ontario	ontariotechu.ca
École Polytechnique de Montréal	polymtl.ca
Université Queen's	queensu.ca
Collège militaire royal du Canada	rmc-cmr.ca/en
Université de Calgary	ucalgary.ca
Université de Guelph	uoguelph.ca
Université de la Colombie-Britannique	ubc.ca
Université du Nouveau-Brunswick	unb.ca
Université de la Saskatchewan	usask.ca
Université de Toronto	utoronto.ca
Université de Waterloo	uwaterloo.ca
Université de Western Ontario	uwo.ca
Université de Windsor	uwindsor.ca

VOTRE ÉTABLISSEMENT DEVRAIT-IL FIGURER SUR CETTE LISTE?

Si un programme d'études supérieures comportant un volet nucléaire nous a échappé, veuillez nous en faire part à : info@cna.ca.

LE CŒUR DU RÉACTEUR NUCLÉAIRE DE L'UNIVERSITÉ MCMASTER

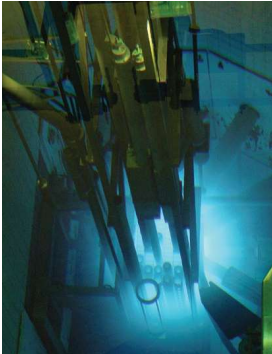


IMAGE: UNIVERSITÉ MCMASTER

LE SAVIEZ-VOUS?

LE CŒUR DU RÉACTEUR DE L'UNIVERSITÉ MCMASTER EST L'UN DES RARES AU MONDE À ÊTRE VISIBLE ET ACCESSIBLE PENDANT SON FONCTIONNEMENT!

AUTRES RESSOURCESS

Énergie atomique du Canada Limitée	aecl.ca
Babcock Canada	babcockcanada/Cavendish-nuclear.com
Bruce Power	brucepower.com
Cameco	cameco.com
Association canadienne de l'électricité	electricity.ca
Canadian Nuclear Isotope Council	canadianisotopes.ca
Laboratoires Nucléaires Canadiens	cnl.ca
Commission canadienne de sûreté nucléaire	nuclearsafety.gc.ca
Société Nucléaire Canadienne	cns-snc.ca
Conseil Canadien des Travailleurs du Nucléaire	cnwc-cctn.ca
CANDU Owners Group	candu.org
Conseil canadien de l'énergie	energy.ca
General Fusion	generalfusion.com
Hydro-Québec	hydroquebec.com
Independent Electricity Systems Operator	ieso.ca
Agence internationale de l'énergie atomique	iaea.org
International Commission on Radiological Protection	icrp.org

Agence internationale de l'énergie.....	iea.org
Ressources naturelles Canada.....	nrcan.gc.ca
Énergie Nouveau-Brunswick.....	nbpower.com
Nordion.....	nordion.com
North American Young Generation in Nuclear.....	naygn.org
Nuclear Energy Institute.....	nei.org
Nuclear Industry Association.....	niauk.org
Société de gestion des déchets nucléaires.....	nwmo.ca
Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire.....	oecd-nea.org
Ontario Power Generation.....	opg.com
Ontario's Nuclear Advantage.....	ontariosnuclearadvantage.com
Organization of Canadian Nuclear Industries.....	ocni.ca
Saskatchewan Mining Association.....	saskmining.ca
SNC-Lavalin—Énergie nucléaire.....	snclavalin.com
Society for the Preservation of Canada's Nuclear Heritage.....	nuclearheritage.ca
Statistique Canada.....	statcan.gc.ca
Sylvia Fedoruk Canadian Centre for Nuclear Innovation.....	fedorukcentre.ca
TRIUMF.....	triumf.ca

Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants.....	unscear.org
U.S. Energy Information Administration.....	eia.gov
Women in Nuclear Canada.....	canada.womeninnuclear.org
Organisation mondiale de la Santé—radiation ionisante.....	who.int/health-topics/radiation
World Nuclear Association.....	world-nuclear.org
World Nuclear Transport Institute.....	wnti.co.uk

À PROPOS DE L'ANC

L'Association nucléaire canadienne (ANC) est porte-parole de l'industrie nucléaire à l'échelle nationale depuis 1960. De concert avec l'ensemble de nos membres et toutes les communautés d'intérêts, l'ANC fait valoir l'industrie sur la scène nationale et internationale, collabore avec les gouvernements sur les politiques touchant le secteur et s'emploie à faire découvrir la grande importance de la technologie nucléaire à l'égard de l'environnement, l'économie et le quotidien des Canadiens. Depuis 2004, l'Association nucléaire canadienne publie à intervalles réguliers son Aide-mémoire du nucléaire au Canada.

SUIVRE CNA EN LIGNE

Suivez-nous sur Twitter : @CanadaNuclear
Suivez-nous sur LinkedIn :
LinkedIn.com/company/Canadian-Nuclear-Association
Cliquez sur « J'aime » de notre page Facebook :
Facebook.com/CanadaNuclear
Regardez-nous sur YouTube : YouTube.com/CanadaNuclear
Participez à notre conférence annuelle : cna.ca/conference

275 Slater Street, Suite 1500,
Ottawa, Ontario
K1P 5H9
613 237 4262
info@cna.ca
cna.ca



L'AIDE-MÉMOIRE

DU NUCLÉAIRE AU CANADA 2021

