

MÉMORANDUM

MAINTENIR ET DÉVELOPPER LA SCIENCE,
LA TECHNOLOGIE ET L'INDUSTRIE
NUCLÉAIRES BELGES.



MÉ MORANDUM

MAINTENIR ET DÉVELOPPER LA SCIENCE,
LA TECHNOLOGIE ET L'INDUSTRIE
NUCLÉAIRES BELGES



ÉDITO

P. 6

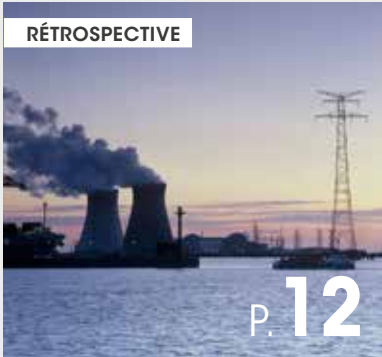
Nucléaire belge: consolider un leadership exceptionnel.



SYNTHÈSE

P. 8

Le maintien et le développement de la science, de la technologie et de l'industrie nucléaires belges.



RÉTROSPECTIVE

P. 12

Une perspective historique de l'expertise nucléaire belge. Ou la preuve qu'un pays petit par la taille peut cependant être grand par le talent.



OPÉRATIONS À LONG TERME

P. 58

Le maintien en exploitation à plus long terme des centrales nucléaires est possible. L'énergie nucléaire permet une transition faible en carbone.



NOUVELLES TECHNOLOGIES

P. 62

À quoi ressemble l'énergie nucléaire de demain.



SÛRETÉ

P. 66

Le secteur nucléaire prend ses responsabilités.



LA DIVERSITÉ DE LA TECHNOLOGIE NUCLÉAIRE AUJOURD'HUI

P. 16

La diversité de la technologie nucléaire, utile et essentielle. Les acteurs belges parmi le top mondial.



ÉNERGIE

P. 22

L'énergie nucléaire constitue un maillon essentiel de la transition énergétique: elle la rend tout simplement possible.



SÉCURITÉ D'APPROVISIONNEMENT

P. 26

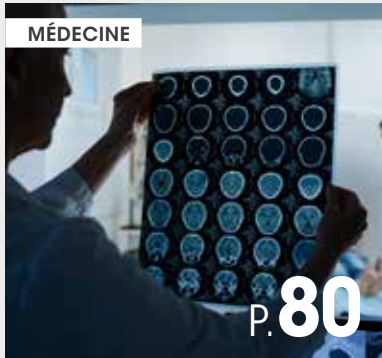
Faire les bons choix en faveur de la sécurité d'approvisionnement et d'une transition énergétique réaliste, grâce à une électricité produite localement.



DÉCHETS NUCLÉAIRES

P. 74

Une gestion sûre des déchets nucléaires, aujourd'hui, demain et après-demain. Assortie d'une vision à long terme.



MÉDECINE

P. 80

La médecine nucléaire, un secteur en pleine évolution. Les acteurs belges sont à l'avant-garde.



SAVOIR-FAIRE ET EMPLOI

P. 84

La Belgique pionnière. Formation, expertise et savoir-faire nucléaires: moteurs pour l'emploi et plateforme pour l'innovation et le progrès.



PRIX

P. 34

Une politique énergétique financièrement soutenable. Des prix d'électricité stables pour les ménages et les entreprises.



CLIMAT

P. 40

Un mix électrique pauvre en carbone, la meilleure option pour le climat. Sans discriminations technologiques.



MONDE

P. 50

Que font nos voisins?



NOS 5 REQUÊTES

Ce que le secteur nucléaire attend des décideurs belges.

P. 92



QUI SOMMES-NOUS?

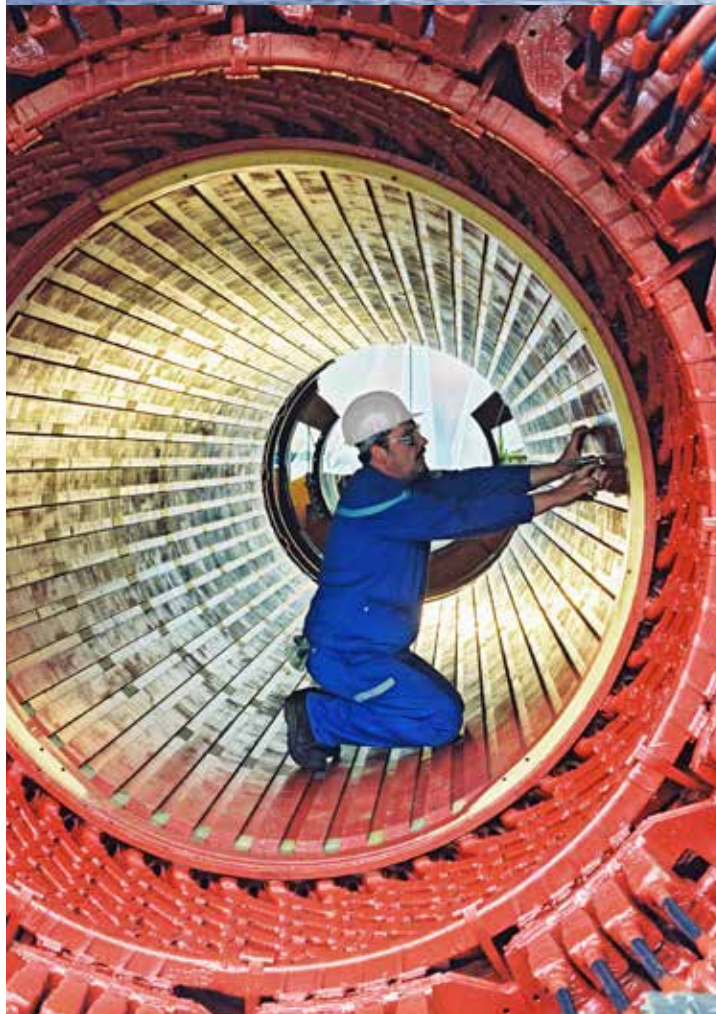
P. 95

Forum nucléaire belge. L'Association professionnelle du secteur nucléaire en Belgique.



SOURCES

P. 96



Nucléaire belge : consolider un leadership exceptionnel.

À l'approche des élections fédérales en 2019, le Forum nucléaire rend public le présent mémorandum préparé à l'attention des décideurs politiques. **C'est le résultat d'une réflexion menée de concert avec ses membres, d'un examen approfondi des différentes études sur la «transition énergétique» parues ces derniers mois ainsi que d'un grand nombre de discussions avec des experts du secteur nucléaire, du monde académique et de nombreuses parties prenantes.**

Notre pays se trouve aujourd'hui à un tournant. Le prochain gouvernement devra prendre des décisions extrêmement importantes en matière d'énergie. En effet, **si la fermeture de la dernière centrale nucléaire se concrétise en 2025, la Belgique perdra sa principale source d'électricité** : l'électricité d'origine nucléaire représente en effet plus de la moitié de toute la production d'électricité de la Belgique depuis plus de 40 ans. Comme elle est à l'origine de 90% de la totalité de l'électricité faiblement carbonée que produit notre pays, elle est capitale pour nos engagements climatiques. Par ailleurs, elle garantit une sécurité d'approvisionnement élevée ainsi que des prix de l'électricité stables. Et ce dans le respect rigoureux des règles de sûreté les plus exigeantes. Contrairement à l'avis de certains opposants, **l'énergie nucléaire constitue donc bien un atout crucial pour réussir la transition énergétique annoncée.**

La Belgique possède dans les diverses technologies nucléaires un savoir-faire exceptionnel et jouit d'une réputation internationale reconnue. Elle a été pionnière dans le développement de compétences et de découvertes essentielles, en particulier pour ce qui concerne la recherche scientifique (fondamentale et appliquée), la médecine nucléaire et les avancées technologiques, des domaines dans lesquels notre pays excelle et connaît une croissance sans précédent. Produit d'exportation de premier plan, toutes ces activités représentent 20 000 emplois et regroupent une expertise qui traverse presque tous les secteurs économiques : la recherche, la médecine, l'énergie, les applications industrielles. **La science, la technologie et l'industrie nucléaires jouent un rôle d'incubateur décisif au service de l'innovation. Elles nous offrent dès aujourd'hui des solutions pour répondre à de nombreux défis auxquels nous sommes confrontés.**

Aucun pays raisonnable n'envisagerait de renoncer unilatéralement à un tel leadership ! La Belgique doit donc plus que jamais faire preuve d'ambition : il incombera au prochain gouvernement fédéral de consolider ce rôle de premier plan en renouvelant sa confiance envers ses divers acteurs scientifiques et industriels et en pérennisant leur savoir-faire, le cas échéant par les initiatives législatives qui s'imposeraient. **À défaut, l'expertise, les connaissances et le savoir-faire développés depuis plus d'un demi-siècle seront irrémédiablement perdus. Le temps est désormais venu de décider.**

Marielle Rogie
Directrice



« L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE REND
LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE
POSSIBLE. »

SYNTHÈSE

Le maintien et le développement de la science, de la technologie et de l'industrie nucléaires belges.

Les diverses technologies nucléaires sont omniprésentes dans notre vie quotidienne. Certaines sont très connues, d'autres beaucoup moins. Songeons à l'électricité que nous utilisons chaque jour, au diagnostic et au traitement des malades du cancer dans les hôpitaux, aux scanners de sécurité dans les aéroports ou encore aux instruments qui mesurent la solidité et l'intégrité de ponts. La technologie nucléaire est largement répandue et s'avère essentielle dans de nombreux domaines, mais elle est aussi très peu connue.

Depuis la découverte de la radioactivité, les développements de la physique nucléaire et ses premières applications – qui ont au demeurant été récompensés par de nombreux «Prix Nobel» – la science n'a jamais cessé de progresser. Elle nous aide à mieux comprendre la naissance de l'univers et à l'explorer, elle a posé des jalons révolutionnaires dans le développement de la médecine personnalisée, elle a inventé de nouvelles façons de produire de l'énergie, elle s'apprête, avec la maîtrise de la fusion nucléaire, à mobiliser l'énergie même du soleil. **Le savoir-faire et la recherche nucléaires constituent l'un des moteurs de l'innovation.**

L'expertise nucléaire belge est exceptionnelle. C'est une incontestable réalité: depuis les premières conférences Solvay à Bruxelles, la construction du premier réacteur belge et le prix Nobel de physique de notre compatriote François Englert pour ses travaux sur le boson, la Belgique a toujours joué un rôle de pionnier dans ce domaine à l'échelle internationale. **Elle dispose d'une renommée internationale solide et d'un savoir-faire reconnu et envié par bon nombre de pays.** La Belgique se doit de consolider et renforcer cet exceptionnel domaine d'expertise. Il serait tout simplement déraisonnable de renoncer unilatéralement à ce rôle de premier plan. Aucun pays ayant un peu d'ambition ne se permettrait une décision aussi absurde.

En s'accordant sur un Pacte énergétique, les diverses autorités du pays entendent préparer un «mix» énergétique durable faiblement carboné. Une foule d'études mettant en scène différents scénarios ont été publiées ces derniers mois. Ces études

se sont notamment efforcées de chiffrer l'impact d'un mix électrique avec et sans énergie nucléaire, tant sur le plan de la sécurité d'approvisionnement et du prix de l'électricité que sur le plan des émissions de gaz à effet de serre produites par notre pays et donc de leurs conséquences climatiques.

L'énergie nucléaire rend précisément cette «transition» énergétique possible et durable. Pour y parvenir, il est impératif que des centrales nucléaires continuent de participer au mix électrique national, rendant ainsi les objectifs climatiques atteignables, tout en assurant une transition énergétique à un prix abordable et en garantissant la nécessaire sécurité de l'approvisionnement.

- Au regard de l'urgence du **dossier climatique**, et si nous voulons atteindre dans les délais nos objectifs climatiques ambitieux, il nous faut recourir à toutes les solutions déjà disponibles actuellement. À l'instar des énergies renouvelables, l'énergie nucléaire libère très peu de gaz carbonique (CO₂). Tous les scénarios impliquant la poursuite de l'exploitation de l'énergie nucléaire produisent de meilleurs résultats et débouchent sur de plus faibles émissions de CO₂ que les scénarios dans lesquels l'énergie nucléaire est abandonnée.
- En cas de maintien de capacités nucléaires dans notre pays, le **prix de l'électricité** que paieront les ménages et l'industrie pendant la période de transition énergétique sera moins élevé que dans le cas contraire.

- La **sécurité d'approvisionnement** du pays sera également mieux garantie si nous maintenons des centrales nucléaires opérationnelles. En l'absence d'énergie nucléaire, les risques d'interruption de l'approvisionnement augmenteront, ce qui pourrait, à terme, nous contraindre de recourir à des importations accrues tant d'électricité que de combustibles fossiles.

Toutes les études mentionnées dans le présent document (Bureau fédéral du Plan, Elia, Energyville, Itinera/Albrecht, etc.) indiquent au moyen de données chiffrées solidement établies qu'une « **sortie du nucléaire** » aura un impact négatif sur la sécurité d'approvisionnement, sur le prix de l'électricité en Belgique et sur les émissions de CO₂ de notre pays, donc également sur nos engagements climatiques.

Les discussions relatives à l'avenir énergétique de la Belgique doivent rester neutres en matière technologique et toutes les options techniques doivent pouvoir être envisagées, chacune selon ses avantages. Il convient en outre de décider rapidement, faute de quoi il sera impossible d'encore garantir la poursuite de l'exploitation de l'énergie nucléaire après 2025. Bon nombre de pays en Europe, mais aussi ailleurs dans le monde, ont fait le choix de l'énergie nucléaire, qu'il s'agisse de construire de nouveaux réacteurs ou de poursuivre l'exploitation des centrales existantes.

Dans le présent mémorandum, nous entendons également battre en brèche plusieurs mythes. **L'énergie nucléaire et les énergies renouvelables sont bel et bien complémentaires**, contrairement à certains slogans simplistes. La poursuite de l'exploitation des centrales nucléaires ne nuit pas au développement des énergies renouvelables. Et il n'y a par ailleurs aucune raison technique ou sécuritaire pour procéder d'autorité à la fermeture de nos centrales nucléaires après 40 ans d'exploitation. **Rappelons que le secteur nucléaire est le plus sécurisé et le plus contrôlé au monde.** Grâce à cette culture extrême de la sûreté, les centrales nucléaires belges n'ont connu aucun incident majeur au cours des 40 dernières années. Aucun accident n'a d'ailleurs été à regretter ailleurs en Europe, alors qu'on y exploite près d'un tiers de tous les réacteurs nucléaires du monde.

En Belgique, le secteur nucléaire emploie **20 000 personnes**, qu'il s'agisse d'exploiter les applications existantes ou de travailler aux innovations de demain. Ces travailleurs **sont la preuve vivante que notre pays détient un grand savoir-faire nucléaire**, que ce soit dans la production d'électricité, dans le domaine de la médecine, dans la recherche scientifique ou dans l'une des nombreuses applications industrielles existantes.

Le secteur nucléaire belge est un moteur d'innovation, de recherche et de développement, de savoir-faire, d'emploi et constitue un maillon essentiel dans les domaines de l'électricité, de la santé, de l'industrie, de l'économie et de la science. On ne pourrait comprendre que ces compétences ne soient pas impérativement préservées et développées. //

LE SECTEUR NUCLÉAIRE BELGE EST UN MOTEUR D'INNOVATION, DE RECHERCHE ET DE DÉVELOPPEMENT, DE SAVOIR-FAIRE, D'EMPLOI ET CONSTITUE UN MAILLON ESSENTIEL DANS LES DOMAINES DE L'ÉLECTRICITÉ, DE LA SANTÉ, DE L'INDUSTRIE, DE L'ÉCONOMIE ET DE LA SCIENCE.



RÉTROSPECTIVE

Une perspective historique de l'expertise nucléaire belge. Ou la preuve qu'un pays petit par la taille peut cependant être grand par le talent...

Début 2005 : après un périple de près de dix ans, une petite machine créée par des ingénieurs européens se posait sur Titan, une lune orbitant autour de la planète Saturne, à plus d'un million de kilomètres de la Terre. Une photographie en couleur montrait des « cailloux » de glace, d'autres clichés pris en altitude laissant entrevoir de possibles zones d'érosion. Et en 2012, deux sondes spatiales américaines, Voyager, lancées vingt-cinq ans plus tôt, quittaient pour toujours le système solaire après un voyage de plus de vingt milliards de kilomètres. En regardant derrière elles, elles découvraient un minuscule point bleu perdu dans l'espace : la Terre.

Ces deux exploits au service de la connaissance de l'Univers ont été possibles grâce à la compréhension par les hommes d'une partie de ses mécanismes fondamentaux, notamment de l'énergie qui l'anime, qu'explique la **physique nucléaire**. En effet, à de telles distances, les sondes spatiales sont trop éloignées du soleil pour encore utiliser l'énergie de son rayonnement. Elles embarquent donc leurs propres générateurs de chaleur et d'électricité, qui fonctionnent grâce à du plutonium, un matériau identifié parallèlement avec la découverte du phénomène de la fission nucléaire.

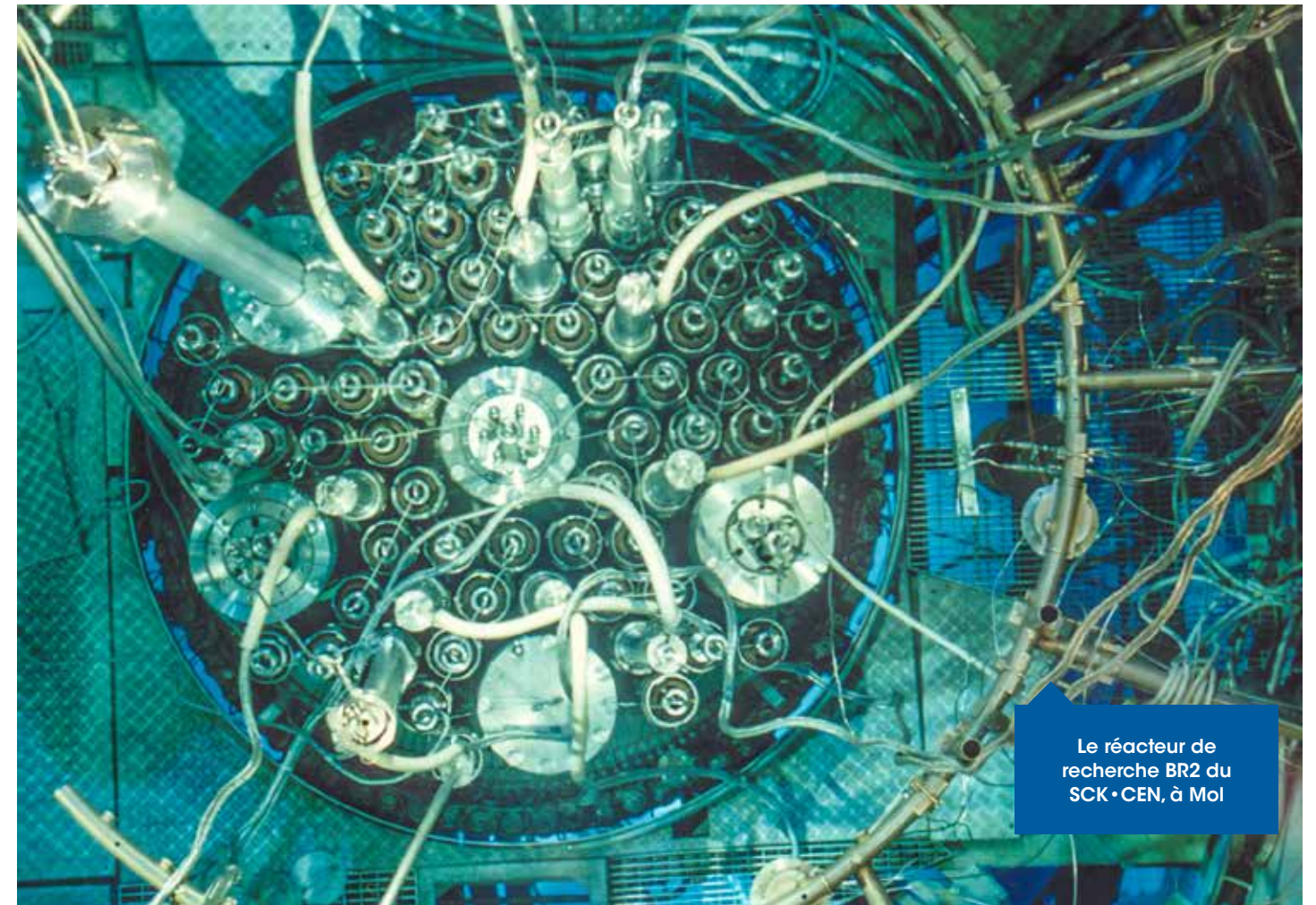
Un siècle plus tôt, une jeune polonaise émigrée à Paris, Maria Skłodowska, était devenue célèbre sous le nom de son mari, Pierre Curie, grâce à ses travaux sur les radiations, notamment les effets du radium, qui lui avaient valu l'honneur exceptionnel de **deux prix Nobel** ! La guerre ayant éclaté, elle s'était elle-même mobilisée pour créer des unités mobiles de radiologie au service des soldats blessés. Aujourd'hui, les radiations et de nombreux **radio-isotopes** sont utilisés dans le secteur médical à des fins de diagnostic et de traitement, notamment du cancer : une personne sur deux dans le monde en bénéficie au cours de sa vie !

Les découvertes successives dans le domaine de la physique nucléaire qui ont suivi, couplées aux évolutions technologiques, déboucheront sur l'une des réalisations majeures de la technologie nucléaire : la compréhension de l'énergie fondamentale qui régit

l'univers et son utilisation dans la production d'électricité. À partir des années 1970, on a construit les premières **centrales nucléaires, qui assurent aujourd'hui en Belgique 60% de la production d'électricité** et 90% de l'électricité faible en carbone.

La Belgique a toujours joué un rôle crucial dans le développement de ces connaissances. Grâce à son rôle de pionnier, et à la reconnaissance et au soutien dont le secteur nucléaire belge a toujours pu profiter

APRÈS 60 ANS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET APPLIQUÉE, LE SAVOIR-FAIRE ET LES APPLICATIONS TOUJOURS PLUS NOMBREUSES DE LA TECHNOLOGIE NUCLÉAIRE PROUVENT QUE L'INNOVATION NUCLÉAIRE EN BELGIQUE EST UNE RÉALITÉ.



Le réacteur de recherche BR2 du SCK•CEN, à Mol

de la part des autorités belges, notre pays peut aujourd'hui se targuer de posséder un savoir-faire unique au sujet de diverses applications scientifiques, techniques et industrielles de la technologie nucléaire.

Grâce à la découverte de gisements d'uranium au Katanga, **la Belgique était devenue d'emblée le pays de référence pour la production de radium**. Le Centre d'étude de l'énergie nucléaire (SCK•CEN) regroupe, depuis sa création, une expertise scientifique et technologique exceptionnelle autour de trois **réacteurs de recherche** (BR1, BR2 et BR3), à l'instar de l'Institut national des radioéléments (IRE), qui représente **l'un des principaux producteurs mondiaux de radio-isotopes** à des fins médicales. Les acteurs industriels impliqués dans ces réalisations se sont donc retrouvés dans une position stratégique pour assumer, avec leurs fournisseurs, la construction de sept centrales nucléaires en Belgique.

Des scientifiques et ingénieurs belges ont construit le **premier laboratoire souterrain du monde** destiné à étudier la gestion des déchets radioactifs. Et ils ont conçu **MYRRHA, une infrastructure de recherche essentielle** qui devra permettre à notre pays de conserver son rôle de pionnier au cours des prochaines décennies pour toute une série d'applications de la technologie nucléaire.

Après 60 ans de recherche scientifique et appliquée, le savoir-faire et les applications toujours plus nombreuses de la technologie nucléaire prouvent que l'innovation nucléaire en Belgique est une réalité. **Et les évolutions se poursuivent dans des domaines comme la médecine, l'espace, l'énergie, la recherche et une foule d'autres. Les nombreuses innovations que la technologie, la science et l'industrie nucléaires belges développent aujourd'hui pour relever les défis de demain en constituent la preuve vivante.** //

QUELQUES DATES MAJEURES





« CHAQUE JOUR, DES MILLIONS DE PERSONNES À TRAVERS LE MONDE BÉNÉFICIENT DE L'UTILISATION DE LA TECHNOLOGIE NUCLÉAIRE. »

Yukiya Amano, directeur général,
Agence internationale de l'énergie atomique



LA DIVERSITÉ DE LA TECHNOLOGIE NUCLÉAIRE AUJOURD'HUI

La diversité de la technologie nucléaire, utile et essentielle. Les acteurs belges parmi le top mondial.

L'expertise belge dans le domaine nucléaire est aujourd'hui une réalité. Qu'il s'agisse d'applications dans les domaines de la médecine, de la recherche scientifique, de l'espace ou de l'énergie, les entreprises, centres de recherche et acteurs industriels belges figurent parmi le top mondial. Sans décision politique sur le maintien et le futur développement du secteur, les compétences et le savoir-faire que nous avons accumulés au fil du temps vont irrémédiablement disparaître.

Dans ce chapitre, nous vous proposons de découvrir des applications différentes et moins connues de la technologie nucléaire. Si la génération d'électricité dans les centrales nucléaires et la production d'isotopes médicaux sont deux applications plus connues, le grand public connaît moins une multitude d'autres applications utilisées tant chez nous que dans les pays en développement. Citons par exemple l'amélioration des méthodes agricoles, la lutte contre le changement climatique, la recherche scientifique et en histoire de l'art, la lutte contre les insectes ravageurs, la lutte contre les mauvaises récoltes dues à la sécheresse, etc. **Pour presque toutes ces applications, les chercheurs et les entreprises belges jouent un rôle essentiel.**

MÉDECINE NUCLÉAIRE : 35 MILLIONS D'INTERVENTIONS PAR AN

Chaque année, 35 millions de personnes à travers le monde font l'objet d'un diagnostic ou d'un traitement grâce à la médecine nucléaire. Cette dernière recourt à l'utilisation de certains radio-isotopes. Or si de nombreux isotopes sont présents naturellement dans l'environnement naturel, la plupart de ceux qui sont utilisés en médecine nucléaire doivent être créés de façon artificielle. La technologie nucléaire est appliquée dans **plus de 60 types de diagnostics et de traitements** de maladies telles que le cancer et les maladies cardio-vasculaires. Un chiffre qui devrait encore grimper dans les années à venir grâce à ses évolutions et à cause du vieillissement constant de la population.

Un grand nombre d'acteurs belges figurent parmi les leaders mondiaux du diagnostic et du traitement grâce à la médecine nucléaire et à la protonthérapie. Nous aborderons les applications médicales de la technologie nucléaire dans un autre chapitre.

DÉTECTION D'EAU POTABLE

La technologie nucléaire est capable de détecter des réserves d'eaux souterraines à un faible coût et rapidement. Elle facilite ainsi l'accès à l'eau potable et la rend plus abordable, qu'elle soit utilisée **à des fins de consommation ou d'irrigation dans l'agriculture.**

Le chercheur belge Gerd Dercon dirige le laboratoire des Nations Unies à Seibersdorf (Vienne), qui s'occupe de la détection de l'eau potable. En collaboration avec la l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, le laboratoire entend mettre à profit la technologie nucléaire pour résoudre le problème crucial que constitue l'accès à l'eau potable dans certains pays.

DESSALEMENT DE L'EAU

Il existe diverses techniques pour rendre potable l'eau (de mer) saumâtre ou salée. L'inconvénient de ces techniques est qu'elles sont toutes très énergivores et donc non durables. La technologie nucléaire offre cependant une alternative faiblement carbonée très intéressante face aux énergies fossiles, ce qui, sur le long terme, peut en faire une alliée pour **dessaler de façon durable de l'eau de mer** en très grande quantité.

La technologie nucléaire permet de transformer chaque jour quelque 100 millions de litres d’eau salée ou saumâtre en eau potable.

LUTTE CONTRE L'ÉROSION DES SOLS

L’adjonction d’une substance radioactive (comme décrit ci-dessus) n’est pas uniquement possible pour l’eau, mais également pour le sol. **En rendant des grains de sable radioactifs** (traceurs), on peut, grâce à un équipement de mesure spécifique, observer comment ceux-ci se diffusent dans le paysage au fil du temps. Cela permet, entre autres choses, de dresser la carte des cours d’eau souterrains ou de déterminer dans quelle direction le sol est en train de s’éroder. Nous voyons donc ici aussi comment cette technique permet **d’optimiser les processus agricoles et de contrer les effets de l’érosion** (provoquée notamment par le changement climatique).

Le dragueur belge Jan De Nul exploite cette application émanant de la technologie nucléaire afin de déceler les points d’érosion et d’y remédier.

DÉVELOPPEMENT DE NOUVELLES ESPÈCES VÉGÉTALES PLUS RÉSISTANTES À LA SÉCHERESSE

La biodiversité est essentielle à notre survie sur la planète. En exposant des cultures et des semences à la radioactivité grâce à la technologie nucléaire, il est possible de **créer des espèces végétales capables de mieux s’adapter à certaines circonstances environnementales ou climatiques**. En seulement quelques minutes, la technologie nucléaire réalise ce que la sélection naturelle a mis des milliers d’années à réaliser.

Le chercheur belge Ivan Ingebrechts est à la tête de l’un des six laboratoires que compte l’Organisation des Nations Unies à Seibersdorf, près de Vienne. Avec l’aide de son équipe, il mène des recherches dans son laboratoire et sur le terrain dans le monde entier afin de trouver comment améliorer les récoltes.

RATIONALISATION DE LA CONSOMMATION D’EAU ET AMÉLIORATION DES TECHNIQUES D’IRRIGATION

La technologie nucléaire permet de rationaliser l’utilisation de l’eau dans l’agriculture. En ajoutant à l’eau potable un radio-isotope (une substance radioactive



inoffensive), il est possible, au moyen d’appareils de mesure très spécifiques, de **localiser l’eau et d’en suivre les mouvements exacts**, afin de les cartographier. De cette manière, la technologie nucléaire permet notamment de calculer quelle quantité d’eau une plante ou une culture consomme, de même que les pertes dues au phénomène de condensation. Il est ainsi possible de déterminer la quantité optimale d’eau dont une plante a besoin.

DÉVELOPPEMENT DE VACCINS SUPER PERFORMANTS POUR LES ÉLEVEURS

Les virus sont intelligents. Ils s’adaptent rapidement et mutent. Lorsqu’ils adoptent une nouvelle forme, les anticorps ne les reconnaissent plus. **Grâce aux techniques d’irradiation, il est toutefois possible de créer des vaccins capables de permettre à l’organisme de reconnaître même les virus ayant muté**. Les chiffres le prouvent : ces techniques entraînent une réaction immunitaire qui permet aux anticorps d’empêcher les virus de se multiplier. Or quand un virus ne peut se multiplier, il devient impossible à la maladie d’émerger chez les animaux, voire dans certains cas de se transmettre à l’homme. Le cheptel reste ainsi en bonne santé, ce qui s’avère crucial pour les éleveurs. La technologie nucléaire contribue ainsi à la santé et à la sécurité alimentaire de nombreuses communautés dans le monde entier.



LUTTE CONTRE LE PALUDISME

Selon l’Organisation mondiale de la santé, le paludisme constitue une menace pour près de la moitié de la population mondiale et fait un demi-million de victimes chaque année. Parmi ces victimes, 90% sont localisées en Afrique, où un enfant meurt du paludisme chaque minute.

La technique de l’insecte stérile (TIS), fondée sur la technologie nucléaire, consiste à élever des insectes en masse et à stériliser les mâles. Ces insectes sont ensuite libérés dans la nature de façon à empêcher leur espèce de se reproduire. Grâce à la TIS, il se révèle ainsi possible de limiter considérablement les populations d’insectes, voire de provoquer leur extinction si le processus est répété sur plusieurs générations.

Le chercheur Marc Vreysen dirige les recherches en la matière à partir de Seibersdorf, à Vienne. Sur requête de l’Organisation des Nations Unies et de l’Organisation des Nations Unies pour l’ali-



mentation et l’agriculture (FAO), Marc Vreysen mène des recherches visant à déterminer comment remporter la lutte mondiale contre le paludisme grâce à la technologie nucléaire.

ÉTUDE ET DATATION DES OBJETS

Grâce à la méthode du carbone 14 (C-14), les chercheurs sont capables de dater un objet en mesurant son rayonnement naturel.

L’Institut royal du patrimoine artistique (IRPA) dispose depuis 2013 d’un appareil de datation au carbone de la toute dernière génération. Cet accélérateur de particules couplé à un spectromètre de masse permet de réaliser des datations très rapidement et avec une grande précision pour des domaines comme l’archéologie, l’histoire de l’art et la géologie afin d’assister des chercheurs belges et étrangers.

RENFORCEMENT DES MATIÈRES SYNTHÉTIQUES

Grâce à une exposition à des rayonnements ionisants, il est aujourd’hui possible de renforcer des matières synthétiques. Songeons par exemple aux matières dont est constitué un jeu de cartes ou un voilier.

TRAITEMENT DES GAZ DE COMBUSTION

Des entreprises recourent aux rayonnements ionisants pour éliminer les substances nuisibles contenues dans les gaz de combustion.

RÉALISATION DE RECHERCHES NON
DESTRUCTIVES (NOTAMMENT POUR VÉRIFIER
LA SOLIDITÉ DE GRANDES INFRASTRUCTURES
TELLES QUE DES PONTS)

Les rayonnements ionisants sont traçables. Cette caractéristique est mise à profit pour **déceler des défauts cachés** tels que des inclusions d’hydrogène dans la paroi d’une cuve sous pression ou des traces de corrosion sur les ailes d’un avion. Cette technique permet de garder le matériel intact et évite d’avoir à procéder à des coupes pour mener un examen (à l’échelle microscopique).

L’entreprise d’inspection et de certification belge Vinçotte utilise cette application de la technologie nucléaire comme technique de mesure pour vérifier l’intégrité et la solidité d’installations de manière non destructive.

TECHNIQUES DE TRAÇAGE RADIOACTIF

L’application de méthodes de traçage radioactif dans le domaine automobile pour examiner des composants permet d’**améliorer les performances et la fiabilité des moteurs et de réduire la pollution**.

L’entreprise de niche belge DSI (Delta Services Industriels), établie à Tournai, utilise le traçage radioactif pour examiner la consommation et l’usure de moteurs de voitures, par exemple d’une formule 1. DSI est renommée dans le monde entier pour son expertise dans le domaine automobile et des sports moteurs.

SILICIUM DOPÉ : LA TECHNOLOGIE NUCLÉAIRE
AU SERVICE DES VÉHICULES HYBRIDES
ET DES ÉOLIENNES

Le silicium constitue une matière première essentielle pour l’industrie électronique mondiale. Il est utilisé comme semi-conducteur dans les circuits électroniques dont sont équipés, entre autres, les trains à grande vitesse, les éoliennes et les voitures hybrides. Dans sa forme la plus pure, le silicium est tout sauf un bon conducteur. Cette matière ne devient utile pour

des applications électroniques qu’à partir du moment où on lui injecte de nouveaux atomes par irradiation (dopage).

Les applications dotées de circuits électroniques, et donc de semi-conducteurs à base de silicium dopés, sont toujours de plus en plus nombreuses. **Plus de 5,8 millions de véhicules hybrides** sont ainsi munis de semi-conducteurs qui utilisent la technologie nucléaire.

La Belgique compte parmi les principaux producteurs mondiaux de silicium dopé. Le réacteur de recherche BR2 du Centre d’étude de l’énergie nucléaire (SCK•CEN) représente pas moins de 25% de la production mondiale de silicium utilisée pour la fabrication de circuits électroniques.

LA TECHNOLOGIE NUCLÉAIRE ET L’ESPACE :
APPROVISIONNEMENT EN ÉNERGIE ET
EN ÉLECTRICITÉ

Lors de voyages lointains – vers Mars et au-delà –, l’énergie du soleil devient rapidement hors d’atteinte. C’est à ce moment que **la technologie nucléaire intervient pour offrir une solution fiable** et de très longue durée.

L’alimentation des satellites et des robots spatiaux est assurée par des batteries qui fonctionnent grâce à de petites sources radioactives. Ces batteries sont très compactes et possèdent une très grande autonomie.

Grâce à la petite batterie nucléaire dont il est muni, le robot Curiosity mène, depuis déjà six ans, des recherches révolutionnaires sur Mars et en transmet tous les résultats à la Terre. La technologie nucléaire permet, ce faisant, d’acquérir de nouvelles connaissances innovantes quant à la composition des autres planètes et de l’univers.

ALIMENTATION DES ASTRONAUTES
LORS DE LONGS VOYAGES DANS L’ESPACE

Un astronaute consomme chaque jour 1 kg de nourriture, 1 kg d’oxygène et 3 kg d’eau potable. À côté de cela, il lui faut encore 15 kg d’eau pour son hygiène personnelle.

Pour les missions habitées de longue durée (vers Mars par exemple), il sera impossible d’emporter suffisamment de nourriture et de stocker tous les déchets. Il faut donc recycler. Le projet MELISSA du SCK•CEN se

penche sur l’élaboration d’un système d’assistance vitale. Ce système se compose d’un réacteur biologique qui, à l’aide de bactéries, **transforme les déchets accumulés à bord de la navette en eau potable, nourriture et oxygène**.

Le SCK•CEN mène des études sur la culture de la spiruline, une variété d’algue aux vertus nutritives importantes. En plus d’être comestible, la spiruline est également capable d’absorber le CO₂ produit par les astronautes et de produire de l’oxygène. Il est donc très probable qu’elle deviendra un élément essentiel de l’alimentation des astronautes pour les futures missions.

SÉCURITÉ ALIMENTAIRE

Nous consommons chaque jour de la nourriture irradiée, mais qui n’est pas radioactive pour autant. Près de 500 000 tonnes d’aliments sont irradiées chaque année afin de tuer les bactéries qu’ils contiennent. **L’irradiation des aliments permet en effet d’en éliminer toutes les bactéries et autres micro-organismes nuisibles**. Il en résulte une meilleure qualité des aliments et ceux-ci peuvent être conservés plus longtemps.



L’irradiation est surtout utilisée pour les herbes, les produits surgelés, la volaille et les œufs, la viande et le poisson, les pommes de terre, les légumes et les fruits secs. Pour certains légumes (comme l’ail et l’oignon), cette méthode permet également de retarder la germination.

L’entreprise Sterigenics à Fleurus figure parmi les principaux acteurs mondiaux actifs dans l’irradiation des aliments et la stérilisation des équipements médicaux. En Belgique, 3 000 à 4 000 tonnes d’aliments sont irradiées chaque année. Cela représente environ 60% du volume total traité à l’aide de cette technique chaque année en Europe.

LA TECHNOLOGIE NUCLÉAIRE ET LE BIG BANG

Le CERN (Organisation européenne pour la recherche nucléaire), établi en Suisse, réalise des recherches fondamentales sur le « Big Bang » et l’origine de l’univers. Les travaux menés par cette organisation (et au sein des institutions de recherche belges qui collaborent avec elle) nous apportent **des connaissances essentielles sur la composition de l’univers, la matière et l’antimatière, l’espace-temps et les trous noirs ainsi que sur les processus physiques qui ont mené à la création de l’univers**.

Les chercheurs belges ont de tout temps joué un rôle pionnier dans la recherche fondamentale relative à la physique des particules. Pour preuve, le Belge François Englert s’est vu décerner le prix de Nobel de physique en 2013 pour la découverte d’une particule élémentaire, le boson dit de Englert-Higgs. Par ailleurs la chercheuse belge Petra Van Mulder, professeur à la VUB et au CERN, étudie l’existence et le comportement des neutrinos, qui font partie des particules élémentaires. //

500 000 TONNES
D’ALIMENTS
SONT IRRADIÉES
CHAQUE ANNÉE
AFIN DE TUER
LES BACTÉRIES.



« L'ÉLECTRICITÉ NUCLÉAIRE EST UNE ÉLECTRICITÉ DE BASE, PRODUITE AU NIVEAU NATIONAL ET PERMETTANT UNE SÉCURITÉ D'APPROVISIONNEMENT GARANTIE, SANS MÊME ÉMETTRE DE CO₂. AUTANT DE CARACTÉRISTIQUES QUI REPRÉSENTENT DES AVANTAGES MAJEURS. »

Fatih Birol, Directeur, Agence internationale de l'énergie¹

ÉNERGIE - L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE ET LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

L'énergie nucléaire constitue un maillon essentiel de la transition énergétique : elle la rend tout simplement possible.

« La transition énergétique est sans aucun doute l'un des plus grands défis pour notre pays. Elle est la voie qui conduira la Belgique vers un système énergétique pauvre en carbone, réduisant nos émissions de gaz à effet de serre. L'Accord de Paris sur le climat et les objectifs climatiques et énergétiques de l'Union européenne à l'horizon 2030 en constituent le fil rouge. »

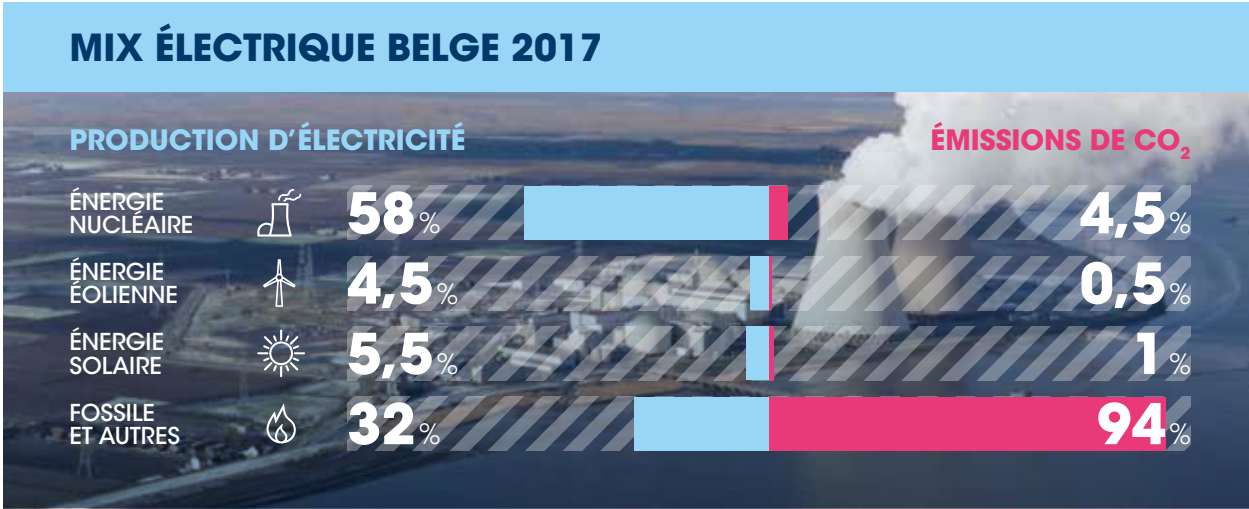
C'est ainsi que les quatre ministres belges de l'Énergie qualifient le défi qui attend notre pays dans les dix prochaines années². Dans le cadre du Pacte énergétique et de la transition énergétique, la Belgique entend décarboner totalement son approvisionnement en énergie et en électricité à l'horizon 2050.

Si l'objectif fixé à long terme peut paraître clair, qu'en est-il de la période cruciale qui va de 2025 à 2050 ? Assistera-t-on en 2025 à la mise à l'arrêt de la dernière centrale nucléaire belge ? Et quel serait l'impact d'une éventuelle sortie du nucléaire sur la sécurité d'approvisionnement de notre pays, le prix de l'électricité et le climat ? Ouvrirait-elle la voie vers une production d'énergie faiblement carbonée ou constituerait-elle plutôt une entrave supplémentaire ?

Afin de préparer l'avenir, il est utile de se pencher sur la réalité d'aujourd'hui. Affronter la réalité c'est faire le constat que la combinaison actuelle de l'énergie

nucléaire et des énergies renouvelables assure la production d'une électricité pauvre en carbone à un prix abordable, tout en garantissant la sécurité de l'approvisionnement. Prétendre que l'énergie nucléaire et les diverses énergies renouvelables ne seraient pas complémentaires est précisément contredit par le mix électrique actuel, au sein duquel ces deux sources d'énergie se complètent.

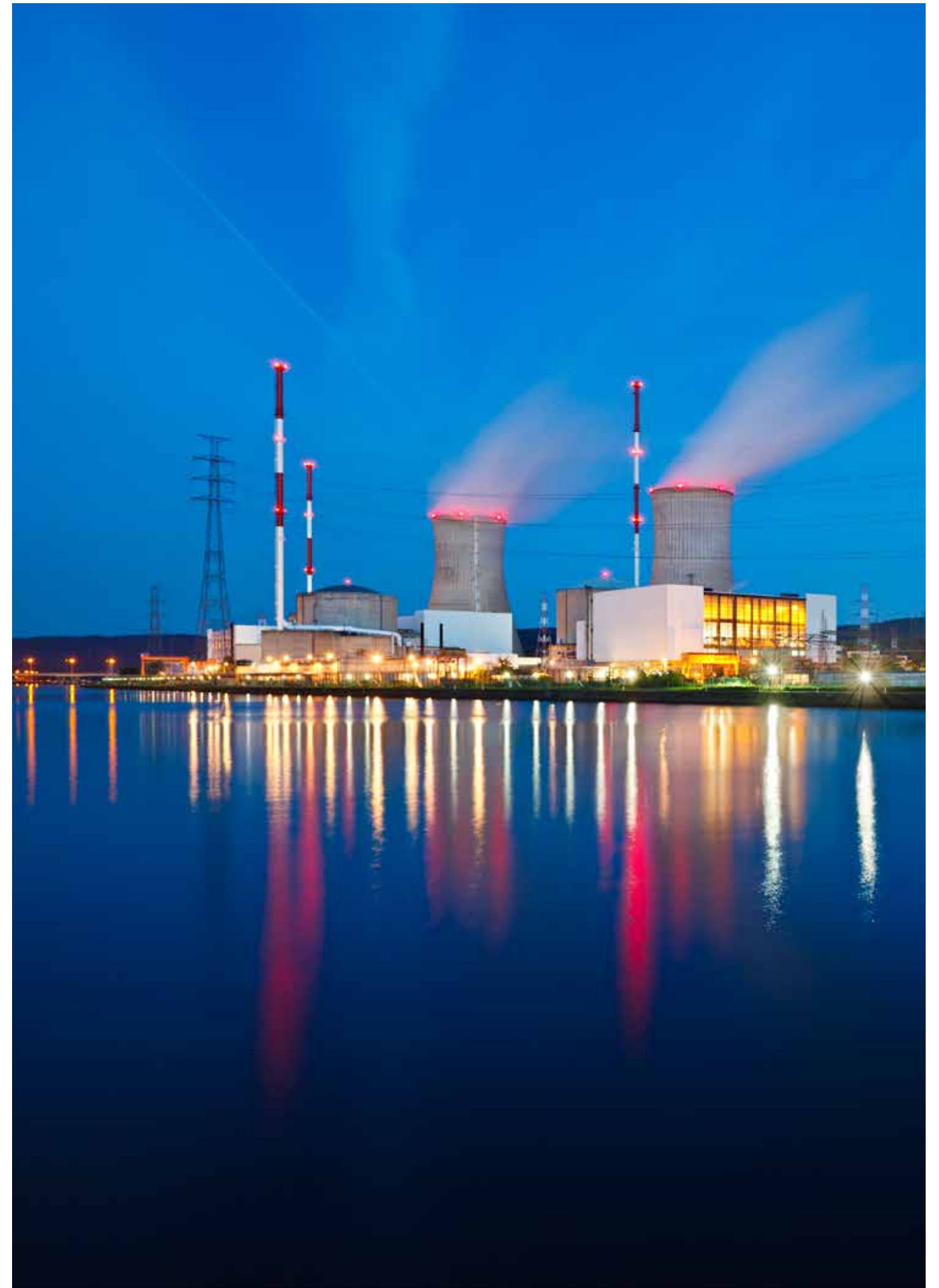
C'est notamment le cas pour l'impact en termes d'émissions de CO₂ de notre approvisionnement en électricité. En 2017, l'énergie nucléaire constituait la principale source d'énergie faible en carbone. Les centrales nucléaires ont produit 85% de toute l'électricité faiblement carbonée générée en Belgique cette même année. Leur fermeture s'avérerait donc contre-productive pour atteindre les objectifs climatiques.

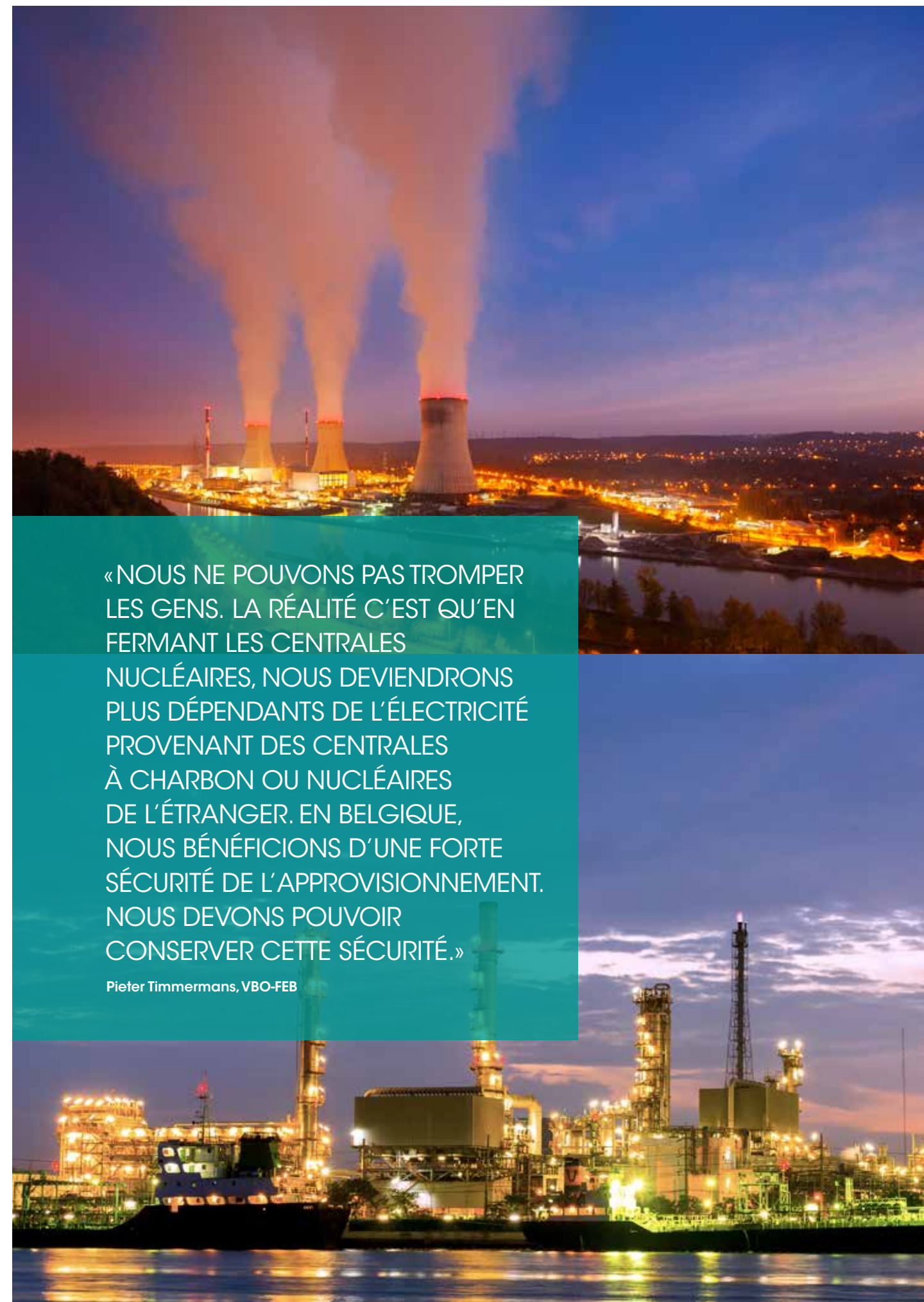


Dans les chapitres qui suivent, **nous passons en revue plusieurs points de vue et examinons ce que les chiffres dévoilent sur l'impact que provoquerait l'arrêt du recours à l'énergie nucléaire en 2025** pour ce qui concerne la sécurité de l'approvisionnement, le prix de l'électricité ainsi que les émissions de CO₂ en Belgique et donc nos engagements climatiques. **Nous prenons comme fondement les principales études qui ont servi de références en Belgique ces derniers mois**, en étayant ces études d'autres données chiffrées émanant de sources indépendantes externes telles que l'Agence internationale de l'énergie (IEA), l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), la Commission de Régulation de l'Électricité et du Gaz (CREG), etc.

- Le Bureau fédéral du Plan : «Le paysage énergétique belge à l'horizon 2050 - Perspectives à politique inchangée», 2017
- Elia : «Electricity scenarios for Belgium towards 2050», 2017
- Johan Albrecht / Itinera : «Studie over de energietoekomst van België», 2018
- Energyville : «Energy transition in Belgium - choices and costs», 2017

EN 2017, L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE
CONSTITUAIT LA PRINCIPALE
SOURCE D'ÉNERGIE FAIBLE EN
CARBONE. LA FERMETURE DES
CENTRALES NUCLÉAIRES
S'AVÉRERAIT DONC CONTRE-
PRODUCTIVE POUR ATTEINDRE
LES OBJECTIFS CLIMATIQUES.





« NOUS NE POUVONS PAS TROMPER LES GENS. LA RÉALITÉ C'EST QU'EN FERMANT LES CENTRALES NUCLÉAIRES, NOUS DEVIENDRONS PLUS DÉPENDANTS DE L'ÉLECTRICITÉ PROVENANT DES CENTRALES À CHARBON OU NUCLÉAIRES DE L'ÉTRANGER. EN BELGIQUE, NOUS BÉNÉFICIONS D'UNE FORTE SÉCURITÉ DE L'APPROVISIONNEMENT. NOUS DEVONS POUVOIR CONSERVER CETTE SÉCURITÉ. »

Pieter Timmermans, VBO-FEB

ÉNERGIE - SÉCURITÉ D'APPROVISIONNEMENT

Faire les bons choix en faveur de la sécurité d'approvisionnement et d'une transition énergétique réaliste, grâce à une électricité produite localement.

LE CONTEXTE, LES DÉFIS

La sécurité d'approvisionnement en électricité paraît être acquise en Belgique, un pays qui possède des capacités de production en suffisance, des interconnexions avec des pays voisins capables d'apporter un appui en cas d'urgence ainsi que des capacités de secours, et où des éléments météorologiques imprévisibles n'exercent pas une influence trop sensible sur l'approvisionnement. Un pays également dont le gestionnaire du réseau de transport –Elia– supervise efficacement toutes les opérations et garantit à tout moment l'approvisionnement. Ces dernières années, pourtant, à l'occasion de plusieurs rudes hivers, la fourniture d'électricité de la Belgique a été mise en péril, à telle enseigne que **le gestionnaire du réseau avait évoqué un réel risque de pénurie**.³

LES CENTRALES NUCLÉAIRES PRODUISENT 60% DE NOTRE ÉLECTRICITÉ, 24 HEURES SUR 24 ET 7 JOURS SUR 7, EN GARANTISSANT UNE DISPONIBILITÉ ÉLEVÉE.

LES RÉPONSES

Si notre pays venait à abandonner l'usage de l'énergie nucléaire en 2025, les conséquences et les dangers seraient considérables pour la sécurité de notre approvisionnement :

- les capacités de remplacement n'existant pas, elles devraient donc être construites très rapidement ;
- ces nouvelles capacités seraient principalement constituées de centrales au gaz (importé), qui émettent beaucoup plus de CO₂ ;
- les importations d'électricité augmenteraient, avec d'importantes conséquences sur le niveau des prix (voir infra) ;
- de nouvelles interconnexions devraient être construites ;
- les risques de black-out s'accroîtraient.

À l'inverse, en maintenant l'énergie nucléaire dans le mix électrique :

- il ne serait pas nécessaire de construire de nouvelles capacités de remplacement ;
- nous serions mieux à même d'atteindre nos objectifs en matière d'émissions de CO₂ ;
- nous parviendrions à limiter les importations d'électricité ;
- nous n'aurions pas besoin de construire de nouvelles interconnexions ;
- le risque de black-out demeurerait limité.

Les centrales nucléaires belges sont performantes et fiables pour ce qui est de produire une électricité de base, disponible jour et nuit, été comme hiver. **Jour après jour, les 7 réacteurs de Doel et de Tihange génèrent 50 à 60% de la totalité de l'électricité de notre pays.** Avec un facteur de charge moyen (load factor) de 84%, ces centrales constituent la source d'électricité la plus productive dont nous disposons.

Dans l'éventualité d'une fermeture de toutes les centrales nucléaires en 2025, celles-ci ne seraient remplacées, comme le montrent les études, que très partiellement par le recours à des sources d'énergie renouvelable, mais essentiellement par des centrales au gaz. Les émissions de CO₂ et le prix de l'électricité augmenteront par rapport aux niveaux actuels. Sans compter qu'étant donné qu'elles n'existent pas, ces capacités thermiques supplémentaires doivent encore être intégralement construites.

Si par ailleurs notre pays souhaite continuer à assurer sa sécurité d'approvisionnement à l'avenir, il lui faut évidemment privilégier autant que possible sa propre production d'électricité au lieu de recourir à l'importation. Or si nous sommes en mesure de contrôler notre propre production d'électricité, ce n'est pas le cas des importations, pour lesquelles nous dépendons du bon vouloir d'autres pays. **L'importation d'électricité depuis les pays voisins n'est pas encore bien régulée**, et il n'existe aucune garantie en la matière. De plus, devoir importer massivement du gaz rendrait de facto la Belgique **dépendante de certains régimes instables ou mêmes malveillants**.

Les études et la réalité actuelle démontrent que l'énergie nucléaire a sa place aux côtés des sources d'énergie renouvelable (intermittentes). Grâce aux centrales nucléaires, la Belgique dispose d'une source d'énergie stable et fiable tout en étant toujours disponible et capable de produire de grandes quantités d'électricité faiblement carbonée à un prix stable. Dans un réseau énergétique interconnecté, au sein duquel la Belgique et les pays voisins sont susceptibles de connaître des pénuries d'électricité au même moment en raison de conditions météorologiques identiques, **l'indépendance énergétique constitue un véritable atout**.

Le maintien des centrales nucléaires en Belgique aurait pour effet de réduire la nécessité de construire de nouvelles capacités au gaz et de recourir à l'importation. Abstraction faite de la faisabilité technique de l'importation (construction d'interconnexions et disponibilité de capacités d'importation depuis d'autres pays), et du coût de ces interconnexions encore à construire, les diverses études parviennent toutes au même résultat : **les importations nettes d'électricité augmenteront fortement en cas de sortie du nucléaire. Au contraire, en poursuivant l'exploitation de l'énergie nucléaire notre pays peut même espérer devenir un exportateur net d'électricité.** Il en résulterait une plus-value socio-économique indéniable.

Pour l'heure, la Belgique possède un mix électrique faiblement carboné, à hauteur de 65 à 70 %. Nous devons absolument tout mettre en œuvre pour conserver cet avantage stratégique et cet atout. Fermer les centrales nucléaires pour revenir aux centrales au gaz reviendrait à faire machine arrière. Avant d'exclure une solution existante, il convient d'abord d'élaborer et de mettre correctement au point les autres solutions. **Nous ne pouvons abandonner les atouts de notre sécurité d'approvisionnement avant de disposer de solutions de rechange.**

Notons que le cadre législatif actuel permet de continuer à exploiter nos centrales nucléaires. L'actuelle loi relative à la sortie du nucléaire prévoit effectivement un arrêt de l'exploitation des centrales actuelles, mais uniquement à condition de ne pas mettre en péril la sécurité de l'approvisionnement. Or les principales études qui abordent l'avenir énergétique de la Belgique laissent entendre que la mise à l'arrêt des centrales produira des effets négatifs sur cette sécurité.

Une sortie progressive du nucléaire en 2025, qui entraînerait la perte de plus de 40% des capacités de production actuelles, **présente un réel danger pour la sécurité d'approvisionnement.** Par conséquent, il faut conserver cette production d'électricité de base fiable, dont les équipements et les infrastructures existent (contrairement à de nouvelles centrales au gaz). **La complémentarité entre l'énergie nucléaire et l'énergie renouvelable rend justement possible la transition énergétique.**

Nous ne pouvons plus nous permettre de reporter plus longtemps la décision sur la poursuite ou non de l'exploitation des centrales nucléaires belges. Il faut trancher dès maintenant. **Si la Belgique souhaite maintenir des centrales opérationnelles après 2025, il convient d'en prendre la décision au début de la prochaine législature, sans attendre plus longtemps.** À défaut, le maintien en service des réacteurs ne pourra être préparé et il ne restera plus qu'une seule option : les fermer, en en assumant toutes les conséquences.

LES CHIFFRES QUI CONFIRMENT

Augmentation des importations

- C'est seulement grâce au maintien de l'énergie nucléaire couplé à un énorme développement des énergies renouvelables que la Belgique pourra espérer ne plus dépendre de l'importation de combustibles fossiles et devenir un exportateur net d'électricité à l'horizon 2050 et (PwC, 2016⁴).
- Dans le cas d'une sortie progressive du nucléaire, les importations nettes d'électricité atteindront 27,7 TWh en 2030.
- En maintenant une capacité nucléaire de 2 085 MW (2 centrales), les importations nettes estimées s'élèveront à 23,6 TWh (Bureau fédéral du Plan, 2018⁵).
- Dans le cas d'une sortie progressive du nucléaire, les importations nettes augmenteront jusqu'à 15,6 TWh à l'horizon 2030. D'ici 2020, les interconnexions seront portées à 6,5 GW. En maintenant une capacité nucléaire de 2 GW jusqu'en 2035, les importations nettes reculeraient de 1,1 TWh par an (EnergyVille, 2017⁶).

« Je lis qu'on pense à fermer les centrales nucléaires et construire huit à dix nouvelles centrales à gaz, en attendant d'augmenter la part des énergies renouvelables. J'ai envie d'inverser cette logique : consolidons d'abord la production des énergies renouvelables, et fermons ensuite les centrales nucléaires. »

Guido Camps, (ex-) CREG

- Si la fermeture des centrales venait à se concrétiser, les importations progresseraient de 23,9% d'ici 2030. En revanche, en maintenant une capacité nucléaire de 2 GW, la hausse des importations ne dépasserait pas 19,6% de la consommation totale. Et en présence d'une capacité de 6 GW, seulement 6,2% de la consommation totale d'électricité devrait être importée (Albrecht, 2018⁷).

Nouvelles interconnexions

Si l'on sort du nucléaire, les capacités d'importation actuelles ne seront pas suffisantes et il nous faudra établir de nouvelles interconnexions avec les pays limitrophes. La capacité des interconnexions sera portée à 6,5 GW à l'horizon 2020. Les importations nettes s'élèveront à 15,6 TWh en 2030 et généreront des frais d'importation qui passeront de 300 millions d'euros (2020) à 900 millions d'euros (2030) (EnergyVille, 2017⁸).

Nouvelles centrales au gaz

- Afin de garantir la sécurité de l'approvisionnement en 2025 après une éventuelle sortie du nucléaire, il conviendra de construire de nouvelles capacités thermiques (centrales au gaz) à hauteur de 3,6 GW. Dans un scénario selon lequel on maintiendrait une capacité nucléaire de 2 GW, ces besoins en nouvelles capacités thermiques baisseraient à 1,6 GW (Elia, 2017⁹).
- Dans le cas d'une sortie du nucléaire, la part des centrales au gaz doublerait dans notre pays: de 34% (30 TWh) en 2010 à 69% (69 TWh) en 2030 (Bureau fédéral du Plan et SPF Économie,

- 2015¹⁰). Ces nouvelles capacités thermiques nécessaires ne sont en outre pas immédiatement disponibles, puisqu'elles doivent encore être construites.
- En poursuivant l'exploitation de Tihange 1 pendant 10 années supplémentaires, la part des centrales au gaz dans le mix électrique ne dépasserait pas 33% (32 TWh) (Bureau fédéral du Plan, 2015¹¹).
 - En cas de poursuite de l'exploitation de l'énergie nucléaire, la part des centrales au gaz dans le mix électrique de la Belgique s'élèvera à 27% en 2030. Dans l'éventualité d'une sortie du nucléaire en 2025, ce chiffre grimperait à 72% en 2030 (Bureau fédéral du Plan, 2007¹²).

Risques de black-out en raison de pénuries ou d'excédents d'électricité

- Dans le cas d'une sortie du nucléaire, les risques de black-out augmenteront de 10% entre 2017 et 2030, ce qui représente 30 jours calendrier par an (Johan Albrecht et Ruben Laleman, 2013¹³).
- Le développement intensif des énergies renouvelables accroît lui aussi les risques de surproduction à 4% du temps, soit 12 jours calendrier par an (Johan Albrecht et Ruben Laleman, 2013¹⁴).
- Il n'existe aucun mécanisme juridique réglementant l'importation et l'exportation des excédents d'électricité depuis ou vers les pays voisins. Si la Belgique venait à être confrontée à une pénurie d'électricité et qu'aucun de ses voisins ne disposait de capacités supplémentaires à exporter, le risque de voir survenir une panne de courant augmenterait encore davantage. //

« En cas de poursuite de l'exploitation de l'énergie nucléaire, la part des centrales au gaz dans le mix électrique de la Belgique s'élèvera à 27 % en 2030. Dans l'éventualité d'une sortie du nucléaire en 2025, ce chiffre grimperait à 72 % en 2030. »

Bureau fédéral du Plan, 2007

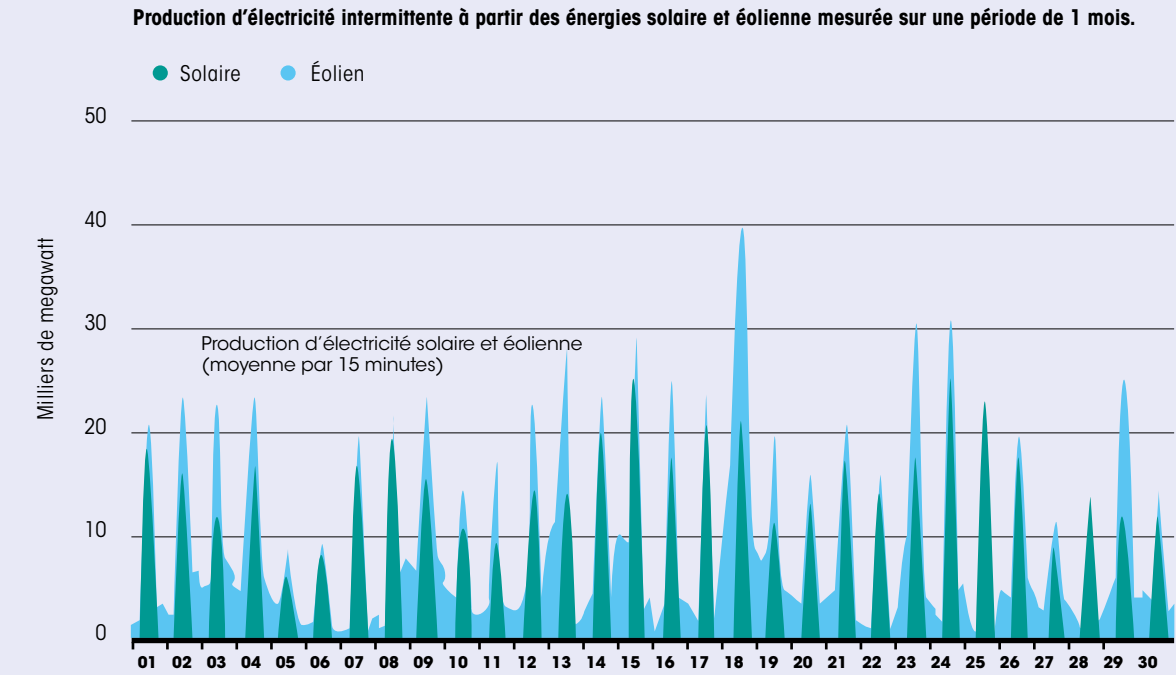
MYTHE #1

« L'énergie nucléaire et l'énergie renouvelable ne sont pas complémentaires. Les centrales au gaz sont l'allié naturel des énergies solaire et éolienne intermittentes, alors que les centrales nucléaires ne sont pas flexibles ni compatibles avec les sources d'énergie renouvelable. »

RÉALITÉ

La production actuelle d'énergie renouvelable en Belgique s'appuie essentiellement sur le solaire et l'éolien, qui sont assortis d'un caractère imprévisible, même si d'autres sources renouvelables – songeons aux centrales hydrauliques – peuvent cependant faire l'objet d'un contrôle selon le niveau de la demande. Poursuivre le développement des énergies renouvelables tel que cela est envisagé accroît l'imprévisibilité de la production d'électricité, entraînant de fortes fluctuations sur le réseau électrique (voir le tableau ci-dessous).

D'aucuns prétendent que les centrales nucléaires ne sont pas compatibles avec les sources d'énergie renouvelable parce qu'elles sont moins flexibles que, par exemple, les centrales au gaz, ce qui les rendrait de ce fait moins à même de compenser les chocs susceptibles d'être causés par l'éolien et le solaire. Bien que cet argument puisse paraître logique et plausible de prime abord, la pratique démontre le contraire :



- À l'heure actuelle, la combinaison renouvelable-nucléaire dans le mix électrique belge (complétée par un nombre très limité de centrales au gaz), parvient à tout moment à satisfaire la demande en énergie. En d'autres termes, **un équilibre parfait entre la demande et l'offre d'électricité dans un modèle faisant la part belle au renouvelable ne requiert aucunement de délaissier l'énergie nucléaire pour la remplacer par des centrales au gaz**. Il suffit que les centrales au gaz constituent une petite part du mix énergétique pour que la charge de base de l'énergie nucléaire et les énergies intermittentes solaire et éolienne répondent aux variations de la demande.
- **Les centrales nucléaires peuvent être conçues de façon à être en mesure de suivre la demande en énergie** (suivi de charge). C'est une caractéristique typique des nouveaux modèles de réacteurs. Bien que les centrales belges actuelles n'ont pas été conçues ainsi, elles n'en sont pas moins capables de moduler leur rendement jusqu'à 75% un certain nombre de fois par an.
- **Les études le confirment.** L'université de Gand¹⁶ a montré dès 2015 que le maintien d'une capacité nucléaire de 3 GW après 2025 n'entraînera aucunement une augmentation des risques. Elle fait référence à un modèle de marché visant à produire 50% de la production d'électricité à partir de sources d'énergie renouvelable à l'horizon 2027 (à condition toutefois que ces énergies renouvelables puissent être exploitées avec plus de flexibilité qu'aujourd'hui).
- **À terme**, de nouvelles technologies, notamment en matière de stockage d'énergie, mais aussi les centrales nucléaires de nouvelle génération, permettront de **faire coexister parfaitement les énergies intermittentes avec l'énergie nucléaire, sans avoir à recourir aux énergies fossiles** comme volant de flexibilité. //



MYTHE #2

«Les centrales nucléaires belges font plus fréquemment l'objet de mises à l'arrêt imprévisibles que dans d'autres pays et ne sont donc pas fiables.»

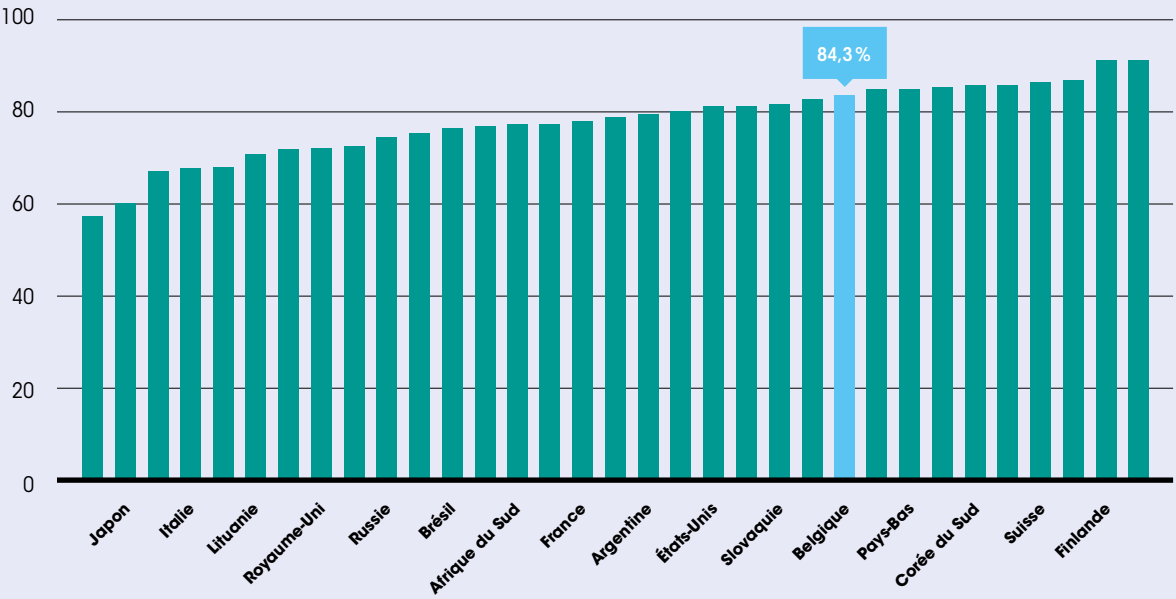
RÉALITÉ

En 2017, les centrales nucléaires belges (tous réacteurs confondus), ont affiché un taux de disponibilité de 80,7%. Pour la plupart des unités, ce chiffre était même supérieur à 90%. Le taux de disponibilité des centrales était également élevé sur de plus longues périodes. Au cours des dix dernières années, les centrales nucléaires belges ont généré de l'électricité pendant 80% du temps, comme l'indique le graphique ci-dessous. Celui-ci montre également que les centrales ont été plus longtemps à l'arrêt en 2014, 2015 et 2016, mais les raisons en sont bien connues (les inclusions

d'hydrogène découvertes dans les cuves des réacteurs de Doel 3 et de Tihange 2).

L'Agence internationale de l'énergie atomique basée à Vienne, une organisation apparentée aux Nations Unies, a étudié les mises à l'arrêt imprévisibles des centrales nucléaires dans le monde entier. **Avec un taux de 5,9% (mises à l'arrêt imprévisibles), la Belgique se trouve dans la moyenne internationale.**¹⁷ La Belgique est dans le top 10 en termes de disponibilité des installations nucléaires, même si elles ont été parfois moins disponibles au cours des dernières années. //

Taux de disponibilité des centrales nucléaires belges en comparaison avec les autres pays.
Avec un facteur de capacité moyen de 84,3%, les centrales nucléaires belges sont dans le top 10 des centrales les plus disponibles (et ce malgré les arrêts prolongés de Doel 3 et Tihange 2). La moyenne tous pays confondus s'élève à 77,8%.





ÉNERGIE - PRIX

Une politique énergétique financièrement soutenable. Des prix de l'électricité stables pour les ménages et les entreprises.

LE CONTEXTE, LES DÉFIS

La composante tarifaire (le prix) constitue l'un des trois piliers du « trilemme » énergétique aux côtés de la sécurité d'approvisionnement et des effets climatiques. Il importe en effet que les familles et les entreprises bénéficient en tous temps d'une facture d'électricité abordable. S'agissant de l'électricité facturée à l'utilisateur final, son prix se compose du coût de production de l'électricité elle-même, dont les variations influencent le prix total, des divers coûts liés à son transport et à sa distribution et de diverses taxes et redevances. **Un arrêt éventuel de l'exploitation des réacteurs aurait des effets immédiats sur la première composante des tarifs - la production elle-même -**, et c'est ce que nous examinons dans ce chapitre.

LES RÉPONSES

Ne plus exploiter l'énergie nucléaire aurait une incidence négative sur les divers facteurs qui déterminent directement et indirectement le prix de l'électricité: les coûts de production de l'électricité eux-mêmes, les coûts marginaux, le prix du CO₂, les coûts de combustibles, les coûts d'investissement pour la construction de nouvelles centrales au gaz, sans oublier les effets sur la balance commerciale en raison de la hausse des importations qui en découlerait.

À l'inverse, le maintien de l'énergie nucléaire dans le mix électrique belge aurait indubitablement des effets positifs sur les prix de l'électricité en Belgique. L'énergie nucléaire garantit un prix de gros de l'électricité plus faible. La disponibilité de l'énergie nucléaire apporte donc une garantie pour le maintien de coûts de production compétitifs. En la maintenant dans le mix électrique, on évite du même coup d'importants coûts d'investissement (pour la construction de nouvelles centrales au gaz). Sans compter que la complémentarité entre l'énergie nucléaire et les énergies renouvelables influe

positivement sur le coût moyen de production. **Bref, il ressort de toutes les études que le maintien de l'énergie nucléaire dans le mix électrique aurait un impact positif incontestable sur le prix de l'électricité.**

LES CHIFFRES QUI CONFIRMENT

Sortie du nucléaire en 2025: envolée du prix de l'électricité

- De conséquents investissements seront nécessaires d'ici à 2050 (remplacement des capacités nucléaires et investissements en vue de respecter le paquet climat-énergie pour 2020). Les effets qui en découleront sur les coûts de production sont les suivants: une hausse de 63,8 €/MWh en 2010 à **108 €₂₀₁₀/MWh en 2030 et à 100,2€₂₀₁₀/MWh en 2050** (Bureau fédéral du Plan, 2015¹⁹).
- Les coûts de production seront encore plus élevés (108,5 €₂₀₁₀/MWh en 2030 et 119 €₂₀₁₀/MWh en 2050) dans le cas de la mise en œuvre du scénario alternatif plus ambitieux (respectant les objectifs en matière de réduction des émissions de gaz à effet de serre pour 2030 et 2050). En d'autres termes, **les coûts de production de l'électricité doubleront potentiellement entre 2018 et 2050** (compte tenu des conditions actuelles) en cas de fermeture des centrales nucléaires en 2025 (Bureau fédéral du Plan, 2015²⁰).
- Le coût marginal de production partira à la hausse même en cas de sortie partielle du nucléaire, de au moins 2,3 €/MWh (Bureau fédéral du Plan, 2018²¹).
- L'association de l'énergie nucléaire et des sources d'énergie renouvelable exerce une influence positive sur le coût de production moyen de l'électricité. **Après le charbon, l'énergie nucléaire présente le plus faible «coût actualisé de l'énergie»** (levelized cost of electricity ou LCOE) selon les chiffres de l'AIE portant sur la construction de nouvelles centrales.

Coût actualisé de l'énergie

Pour calculer le coût actualisé de l'énergie (LCOE) pondéré moyen, il convient de connaître le LCOE des différentes technologies impliquées. Les chiffres ci-après se fondent sur les LCOE mentionnés dans l'étude 2015 de l'AIE. Celle-ci prend en considération pour la Belgique les LCOE officiels des différentes technologies et notamment du photovoltaïque tant résidentiel qu'industriel/commercial, du charbon et du nucléaire de troisième génération.

L'ensemble des LCOE utilisés dans cette étude de l'AIE prend en compte un coût de capital de 7% et est basé sur l'hypothèse selon laquelle les technologies tournent à pleine charge (après application du taux de disponibilité technique respectif de chacune des technologies).

- Le maintien de l'énergie nucléaire après 2025 pousserait les prix sur le marché de gros à la baisse. Conserver une capacité nucléaire de 2,5 GW aurait «indéniablement» un effet positif annuel sur les prix d'environ 10 €/MWh (Bureau fédéral du Plan, 2016²²)
- En 2050, les coûts de production de l'électricité atteindront respectivement 108 €/MWh, 110 €/MWh et 117 €/MWh. La présence de l'énergie nucléaire (qui comporte le plus faible coût de production de l'électricité après le charbon) permettrait dès lors de maintenir les coûts de production à des niveaux compétitifs (PwC, 2016²³)
- Prolonger une partie des capacités nucléaires exercerait un effet positif sur les prix de gros, qui pourraient baisser de 0,9 à 4,4 €/MWh en cas de maintien d'une capacité de 2 GW pendant dix années supplémentaires après 2025 (Bureau fédéral du Plan, 2018²⁴).

Arrêt de l'exploitation des centrales nucléaires en 2025: augmentation des émissions de CO₂

- Une sortie du nucléaire en 2025 provoquera une hausse des émissions de CO₂ et des prix du gaz, engendrant dans la foulée une **augmentation du prix de production de l'électricité de 62%** d'ici 2030: le prix de gros augmentera de 43 €/MWh pendant la période 2012-2016 à 70 €/MWh en 2030 et 74 €/MWh en 2040 (Elia, 2017²⁵).
- Le prix du CO₂ bondira à 33,5 €/tCO₂ en 2030** (en partant du principe qu'aucune nouvelle centrale au charbon ne soit construite) et à 88 €/tCO₂ à l'horizon 2050 (Bureau fédéral du Plan, 2017²⁶)

- L'étude réalisée par Elia en 2017 table sur une hausse beaucoup plus forte du prix du CO₂ pour 2030. Si le gaz venait à l'emporter sur le charbon dans l'ordre de mérite, le gestionnaire du réseau prévoit alors **une hausse jusqu'à 90 €/tCO₂ pour 2030** en cas de mise à l'arrêt total des centrales (Elia, 2017).
- Cette progression des prix des combustibles fossiles et du CO₂ est conforme à l'analyse qu'expose l'Agence internationale de l'énergie dans la dernière édition de son rapport «World Energy Outlook»²⁷.

Augmentation des prix des combustibles

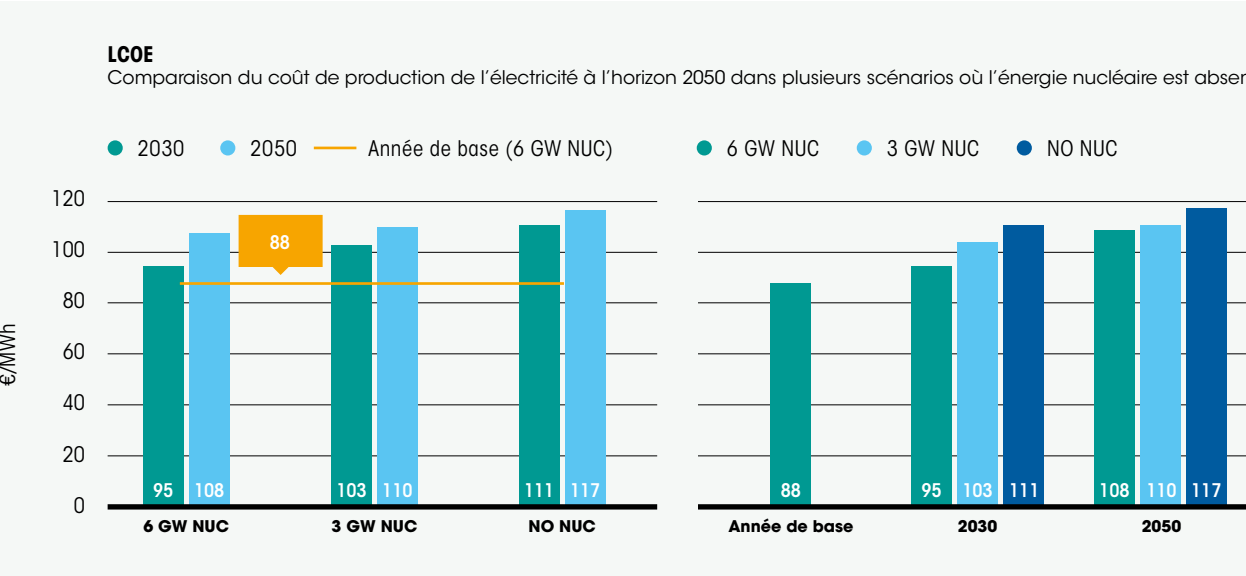
- Les prix des composants de combustibles augmenteront de 120% en 2030** par rapport à 2020 (Energyville²⁸)
- Le prix du gaz naturel grimpera **de 15 €/MWh en 2016 à 32 €/MWh en 2030** (Elia, 2017²⁹)

NE PLUS EXPLOITER L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE AURAIT UNE INCIDENCE NÉGATIVE SUR LES DIVERS FACTEURS QUI DÉTERMINENT DIRECTEMENT ET INDIRECTEMENT LE PRIX DE L'ÉLECTRICITÉ.

Les coûts actualisés (LCOE) des nouvelles centrales en Belgique

LCOE, Belgique (IEA 2015)	Capital costs (\$/MWh)	O&M costs (\$/MWh)	Fuel, waste and carbon costs (\$/MWh)	LCOE (\$/MWh)	LCOE (€/MWh)	Durée de vie (années)	Taux de disponibilité
gaz (CCGT)	13,94	3,97	84,7	102,61	76,96	30	85%
gaz (OCGT)	12,35	3,97	114,92	131,24	98,43	30	85%
charbon	26,63	8	48,72	83,35	62,51	40	85%
Nucléaire - 3e génération	60,17	13,55	10,46	84,17	63,13	60	85%
photovoltaïque - résidentiel	233,98	21,87	0	255,85	191,89	25	11%
phovoltaïque - commercial	167,91	21,87	0	189,78	142,34	25	11%
Eolien offshore	98,66	26,67	0	125,33	94,00	25	24%
Eolien offshore	137,48	53,33	0	190,81	143,11	25	39%

SOURCE: PROJECTED COSTS OF GENERATING ELECTRICITY (PWC), EMISSION LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE, 2016



SOURCE: ETUDE PWC, RÉVISER LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE, 2016

Hausse attendue des prix des combustibles fossiles et du CO₂ d'ici 2030 et 2040

Prix en €2015/\$2015	2016 (prix indicatifs)	2030 Scénario 1 C2G	2030 Scénario 2 G2C	2040 Scénario 1 C2G	2040 Scénario 2 G2C
Charbon [€/tonneCharbon]	≈ 60	67	51	69	46
Gaz [€/MWh]	≈ 15	32	29	35	30
Prix CO ₂ [€/tCO ₂]	≈ 5	33	90	45	126
Pétrole [\$/baril]	≈ 60	111	73	124	78

SOURCE: AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE 2016

C2G Les centrales au charbon ont la priorité sur les centrales au gaz (merit order)

G2C Les centrales au gaz ont la priorité sur les centrales au charbon

Investissements consacrés aux capacités de remplacement des centrales nucléaires

- Dans le cas d’une sortie totale du nucléaire, les investissements augmenteront de 36 milliards d’euros entre 2010 et 2030 (Bureau fédéral du Plan, 2015³⁰).
- Conserver une capacité nucléaire de 2 GW pendant dix années supplémentaires permettrait d’économiser 230 millions d’euros d’investissements par an (Elia, 2017³¹)
- Pour garantir la sécurité d’approvisionnement en cas de sortie du nucléaire et conserver une réserve stratégique de 5% d’ici 2025, il faudrait au total consentir 11 à 13 milliards d’investissements entre aujourd’hui et 2030 (Itinera Institute, 2015³²).

Coûts d’importation

Dans le cas d’une sortie du nucléaire, les coûts d’importation s’élèveront à 300 millions d’euros en 2020 et continueront de grimper à 900 millions d’euros en 2030 (EnergyVille, 2017³³)

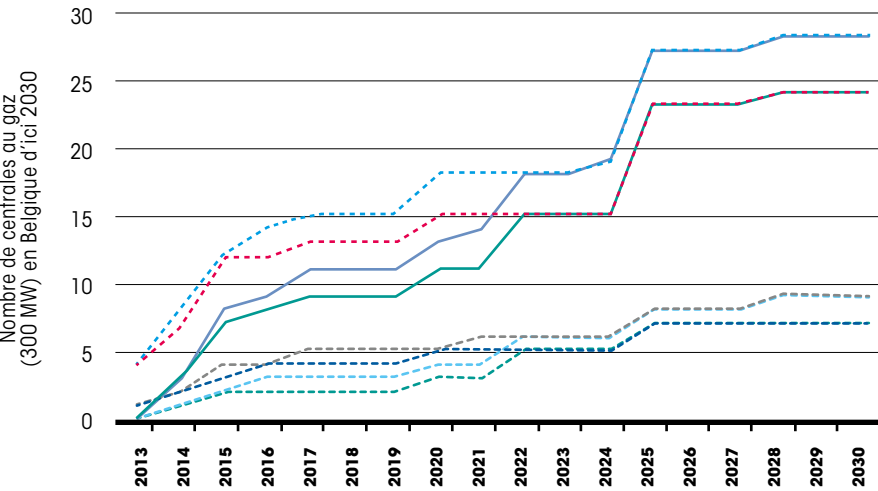
Impact de la sortie du nucléaire sur la balance commerciale

- En l’absence de l’énergie nucléaire, on assistera à un accroissement du déficit commercial de 3,7 €/MWh d’ici 2030 (Elia, 2017).
- Ce n’est qu’en maintenant une capacité nucléaire de 2 GW que nous parviendrons à stabiliser la balance commerciale à l’horizon 2030 (Bureau fédéral du Plan, 2018³⁴).

//

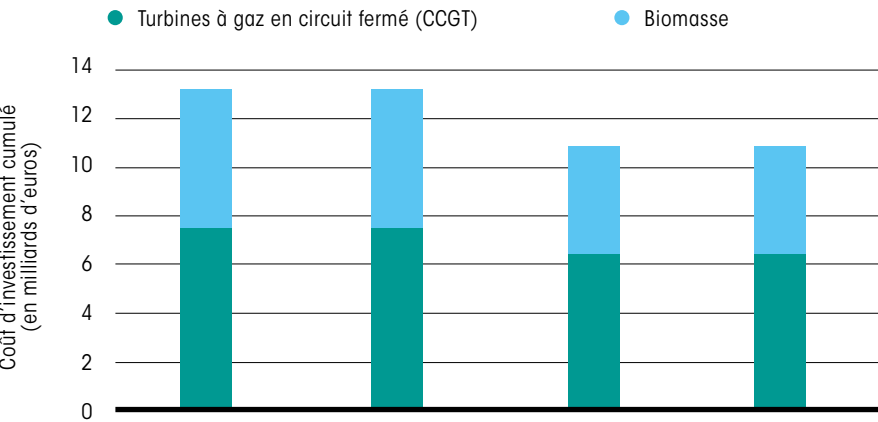
Les capacités nécessaires en termes de nouvelles centrales au gaz (à cycle combiné CCGT ou à cycle ouvert OCGT) entre 2015 et 2030 pour compenser la fermeture des centrales nucléaires belges en 2025.

Quel que soit le scénario, toutes les études tablent sur une augmentation. Au total, il faudrait construire entre 9 à 28 nouvelles centrales (chacune dotée d’une capacité de 300 MW).



SOURCE: ITINERA INSTITUTE, BLACKOUT RISKS IN THE COMING YEARS, 2015

Les coûts cumulatifs (en milliards d’euros) estimés pour remplacer les capacités nucléaires actuelles par des centrales au gaz et des centrales à biomasse en présence de divers scénarios.



SOURCE: ITINERA INSTITUTE, BLACKOUT RISKS IN THE COMING YEARS, 2015





« IL N'Y A PAS DE DÉFI QUI POSE
UNE PLUS GRANDE MENACE
POUR LES GÉNÉRATIONS FUTURES
QUE LE CHANGEMENT CLIMATIQUE. »

Barack Obama



ENERGIE - CLIMAT

Un mix électrique pauvre en carbone, la meilleure option pour le climat. Un choix fondé sur des arguments factuels et chiffrés. Sans discrimination technologique.

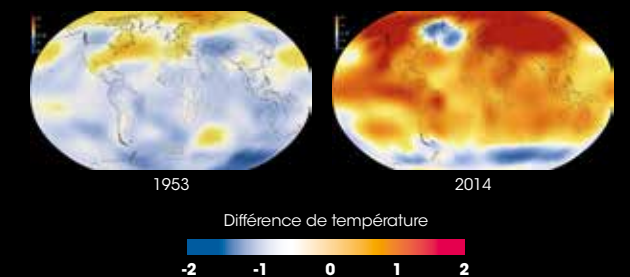
LE CONTEXTE, LES DÉFIS

Le climat et la température de la Terre n'ont cessé d'évoluer au cours du dernier millénaire. Cependant, le réchauffement auquel on assiste depuis le milieu du XX^e siècle est plus perceptible en raison de la grande vitesse à laquelle il évolue, sans compter qu'il est très vraisemblablement la conséquence des activités humaines³⁵.

Au cours des 100 dernières années, la température moyenne de la Terre a augmenté de 1,1 degré Celsius, principalement à cause des émissions de CO₂ et d'autres éléments introduits dans l'atmosphère par les activités humaines.³⁶ Les 35 dernières années coïncident avec la plus forte hausse de la température observée à ce jour et 16 des 17 années les plus chaudes jamais enregistrées sont postérieures à 2001. Non seulement 2017 a été l'année la plus chaude jamais enregistrée, mais au cours de la même année, 8 mois sur les 12 ont également battu des records de chaleur.³⁷

Augmentation de la quantité de CO₂ dans l'atmosphère et augmentation de la température sur terre

10 des 15 dernières années ont été les plus chaudes
depuis le début des mesures en 1880

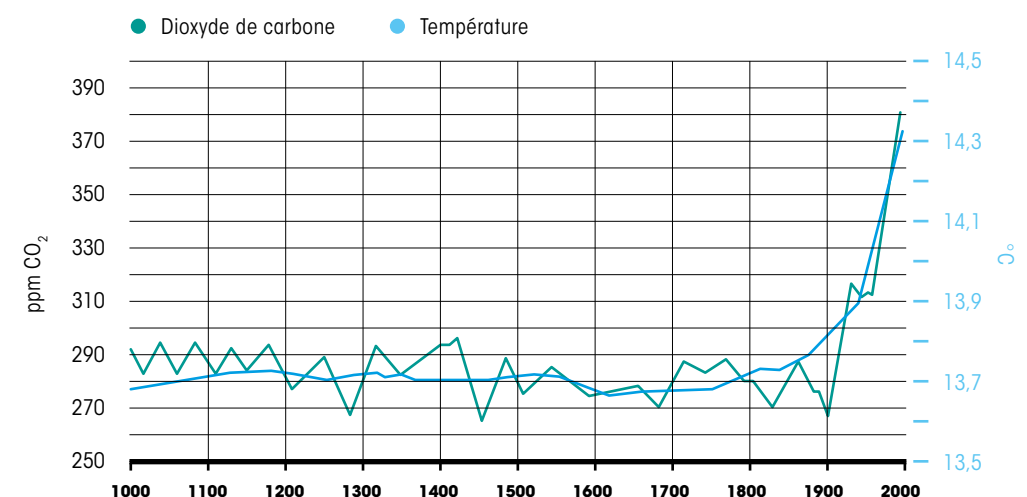


BROU: INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE

« La preuve scientifique
du réchauffement climatique
est évidente »

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution
du changement climatique, Nations Unies

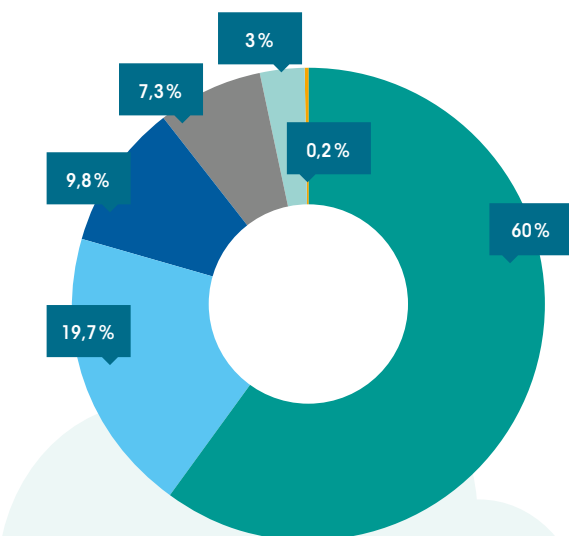
Augmentation de la quantité de CO₂ dans l'atmosphère



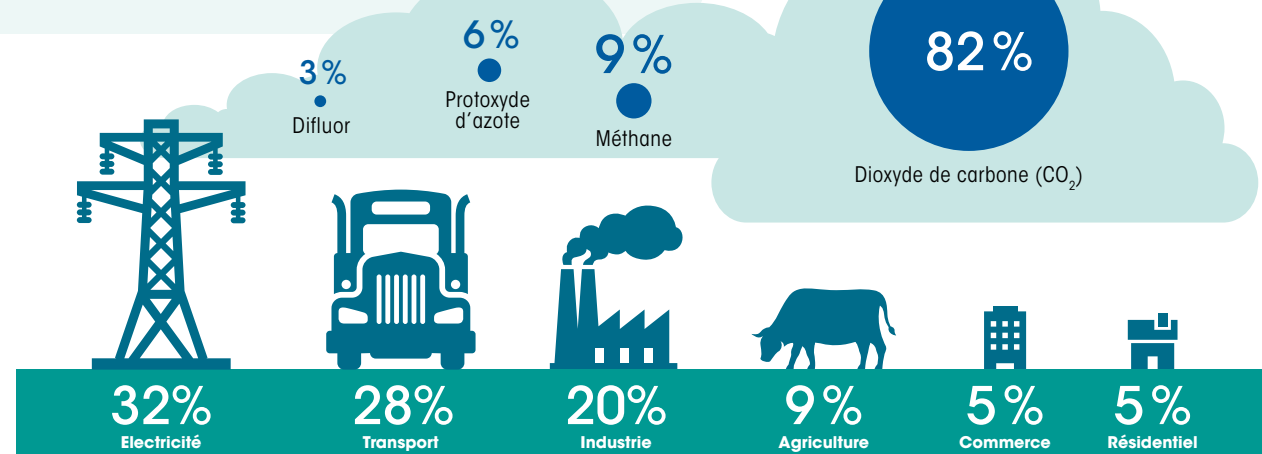
SOURCE: INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE

Le défi est de taille. **Des efforts gigantesques seront nécessaires pour contrer le changement climatique.** C'est le secteur de l'énergie tout entier qui doit se mobiliser, qu'il s'agisse de réduire les émissions de gaz à effet de serre générées par le transport, d'isoler les bâtiments ou encore de réduire notre dépendance énergétique à l'égard des énergies fossiles. Cela étant, même si le secteur de l'électricité ne constitue qu'un maillon de la chaîne face à un défi beaucoup plus considérable, sa contribution est essentielle. Le choix du mix électrique se révèle donc crucial si la Belgique veut espérer atteindre ses objectifs climatiques et ainsi participer à l'effort mondial en faveur du climat.

Émissions de gaz à effet de serre par secteur dans la zone de l'UE. On observe que 60 % des émissions proviennent du secteur énergétique (sans le transport).



● Energie sauf transport
● Transport
● Agriculture
● Processus industriels
● Déchets
● Solvants et autres produits



SOURCE: EUROSTAT

Depuis 1990 (année de référence du Protocole de Kyoto), **les émissions de CO₂ n'ont fait qu'augmenter** (+ 60%)³⁸. Les pays signataires se sont engagés à réduire les émissions de gaz à effet de serre de façon à limiter la hausse de la température moyenne de la Terre à 2 °C à l'horizon 2050. À défaut, les conséquences pour le climat et la société deviendront irréversibles.

Afin d'atteindre cet objectif, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC: l'organisme des Nations Unies chargé des questions climatiques) a estimé que **80% de l'électricité mondiale devra être pauvre en carbone dans 35 ans** (contre seulement 35% à l'heure actuelle³⁹). Selon le rapport sur les progrès accomplis vers la réalisation des objectifs fixés pour 2020 en matière climatique de la Commission européenne, la Belgique ne parviendrait pas à atteindre les objectifs qui lui ont été imposés: il lui manquerait 3,5 points de pourcentage.⁴⁰

L'objectif de la transition énergétique est clair: parvenir à une production d'énergie faiblement carbonée par la suppression rapide des technologies fortement émettrices de CO₂. Les sources d'énergies renouvelables ont manifestement un grand rôle à jouer dans la transition énergétique afin d'atteindre cet objectif. Leur usage est donc appelé à augmenter au cours des années à venir.

La fermeture des centrales nucléaires et leur remplacement par des centrales au gaz (le scénario le plus probable qui se profile pour la Belgique à l'horizon 2025) auraient pour effet une hausse très sensible des émissions de CO₂, de l'ordre de 76%⁴¹. Il va sans dire que cela ruinerait les ambitions climatiques de notre pays et pénaliserait les engagements européens et mondiaux dont la Belgique est solidaire.

« Ce n'est pas tant que j'idolâtre l'énergie nucléaire, mais je pense qu'il faut pouvoir choisir son camp. Ma priorité en France, en Europe et dans le monde, c'est les émissions de CO₂ et le réchauffement (mondial). »

Emmanuel Macron, novembre 2017

LES RÉPONSES

Rappelons ce qui devrait être une évidence partagée: **l'énergie nucléaire est la principale source d'énergie faible en carbone dont nous disposons en Belgique. Elle représente aujourd'hui 90% de l'électricité bas carbone dans le mix électrique belge.** Elle constitue donc notre principal atout pour relever les défis climatiques. Si nous y renonçons au profit d'autres sources d'énergie hautement émettrices de CO₂ (comme le gaz naturel, qui en produit de 30 à 40 fois plus), les émissions de carbone augmenteraient inévitablement alors qu'elles doivent sensiblement diminuer. Par conséquent, au regard de la part de l'énergie nucléaire dans le mix électrique actuel, l'abandon de cette source d'énergie aurait des conséquences extrêmement néfastes sur le climat.

Les énergies renouvelables, dans leurs déclinaisons techniques actuelles, n'apportent pas la garantie pour la constitution d'un mix électrique faiblement carboné. L'Allemagne en offre un exemple révélateur. Malgré la décision de développer massivement les sources d'énergie renouvelable, les émissions de CO₂ de l'Allemagne restent dix fois supérieures à celles de la France par exemple.⁴² Et pour cause: des combustibles fossiles – tout spécialement

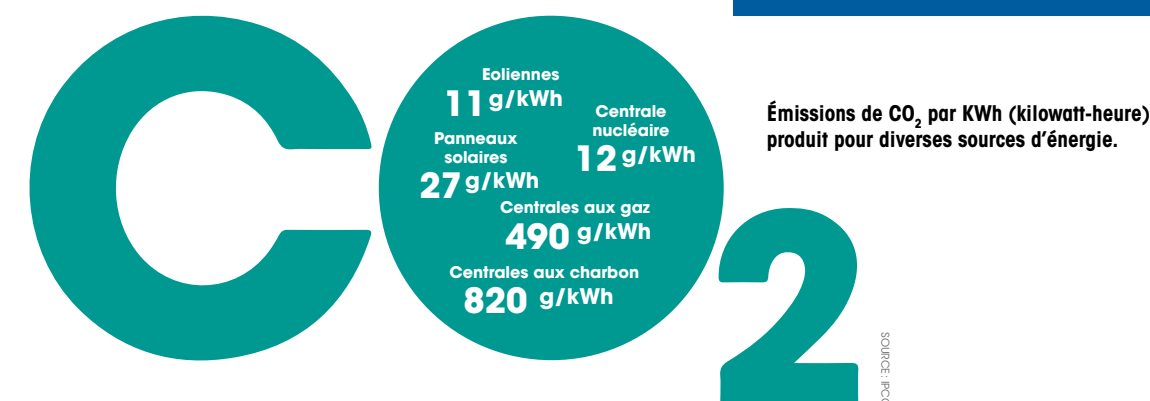
le charbon et le lignite – ont pris la place de l'énergie nucléaire pour compenser les manques d'électricité qui résultent de l'intermittence du vent et du soleil.

L'heure est désormais à l'action. Pour enrayer le changement climatique, il s'impose de diminuer les émissions carbonées le plus rapidement et le plus efficacement possible. On peut rêver de développements technologiques et de perspectives futures. **Mais vu l'urgence de la question climatique, nous devons d'abord recourir à toutes les technologies faiblement émettrices dont nous disposons aujourd'hui, dont l'énergie nucléaire. Elle compte en effet parmi les solutions industrielles déjà en place et qui peuvent être appliquées rapidement.**

Dans ses analyses, le GIEC distingue trois sources d'électricité bas carbone: les énergies renouvelables, l'énergie nucléaire et le captage-stockage de CO₂. Il a étudié 1 200 scénarios énergétiques pour atteindre les objectifs climatiques. **Parmi ces multiples scénarios, huit seulement contribuent à une limitation de l'augmentation de la température de la Terre à 2 °C sans recourir à l'énergie nucléaire.**⁴³ Autrement dit, l'énergie nucléaire fait partie de la solution dans 1 192 scénarios sur les 1 200 qu'a identifiés le GIEC. Ce qui confirme bien l'évidence déjà rappelée: **nous**

Pour atteindre les objectifs climatiques, le GIEC conclut que les investissements en renouvelable & nucléaire devront augmenter de 80 % d'ici 2050

#cleanenergyforthefuture



SOURCE: IPCC

ne parviendrons pas à atteindre les objectifs climatiques sans l'énergie nucléaire. Elle fait inmanquablement partie de la solution.

Vu l'urgence de la question climatique, nous devons procéder à une décarbonisation rapide de notre production d'électricité. Au total, **les énergies renouvelables**, qui contribuent aujourd'hui à 10% du mix électrique de la Belgique, **ne peuvent à elles seules à la fois remplacer les énergies fossiles et répondre à la forte croissance de la demande énergétique** qui va résulter d'une électrification croissante de nombreuses applications. Et en raison du caractère intermittent du vent et du soleil, la production d'électricité renouvelable requiert des capacités de remplacement (back-up). L'énergie nucléaire, qui est une technologie capable de produire de grands volumes d'électricité faiblement carbonée avec fiabilité, est susceptible d'être déployée rapidement à grande échelle et est modulable. **Il ne s'agit dès lors pas de choisir entre l'énergie nucléaire ou les énergies renouvelables, mais d'associer les deux technologies. La solution réside donc dans la combinaison de différentes sources d'énergie.**

Seul un mix énergétique constitué en partie d'énergies renouvelables et d'énergie nucléaire permettrait d'atteindre les objectifs climatiques. Il s'impose donc bien de les considérer ensemble quand on débat objectivement de l'avenir énergétique de notre pays.

LES CHIFFRES QUI CONFIRMENT

Une sortie du nucléaire provoquerait une augmentation des émissions de CO₂

- Si l'exploitation des réacteurs nucléaires était interrompue, la Belgique ne pourrait atteindre ses objectifs climatiques. Dans le scénario d'une sortie du nucléaire, les émissions totales de gaz à effet de serre s'élèveront à 111,4 millions de tonnes. Et il n'y aurait qu'une très faible diminution entre 2030 et 2050, **de 111,4 millions de tonnes à 109,1 millions de tonnes**. Les émissions de CO₂ ne seraient inférieures que de 11 % par rapport aux niveaux de 2015, très loin de l'élimination totale des gaz à effet de serre énoncée dans les objectifs climatiques (Bureau fédéral du Plan, 2017⁴⁴).
- En cas de suppression progressive de l'énergie nucléaire (une capacité de 1,8 GW), **les émissions de gaz à effet de serre atteindront des niveaux supérieurs de l'ordre de 47% en Belgique à l'horizon 2030**, (une augmentation imputable principalement au remplacement des centrales nucléaires par les centrales au gaz, étant entendu que le développement massif des énergies renouvelables à partir de 2020 ne sera pas en mesure de compenser les émissions supplémentaires produites par les nouvelles centrales au gaz) (Bureau fédéral du Plan et SPF Économie 2015⁴⁵)
- Si nous maintenons une capacité nucléaire de 2 GW, les émissions de CO₂ de la Belgique continueront de baisser au lieu d'augmenter. Dans un scénario où l'énergie nucléaire serait absente, les centrales au gaz, avec une capacité de 6,7 GW, et les énergies renouvelables, avec une capacité ambitieuse de 19 GW, feront augmenter les émissions de CO₂ de la Belgique à 4 millions de tonnes par an, et à 19 millions de tonnes par an à partir de 2030 (Energyville, 2017⁴⁶)



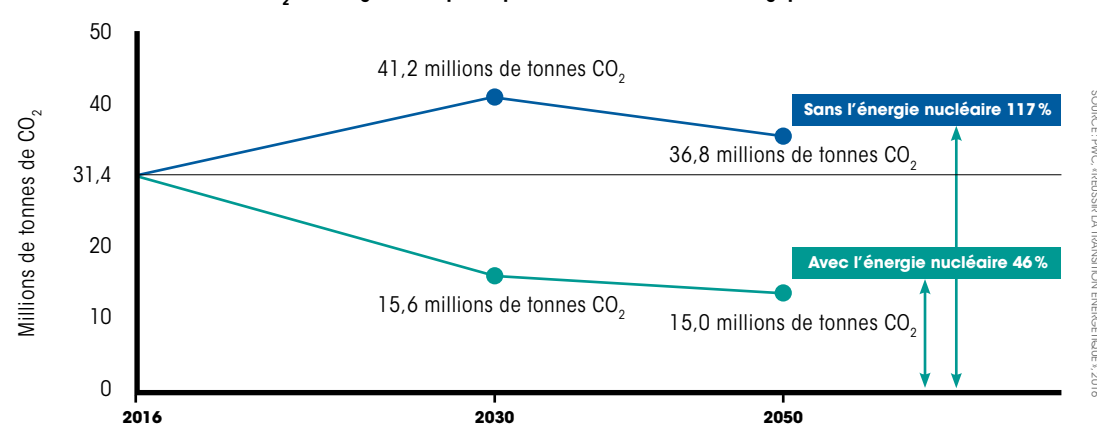
- Une sortie du nucléaire provoquerait une hausse des émissions de CO₂ générées par la production d'électricité. La fermeture des centrales nucléaires sera compensée pendant la période 2020-2030 par les centrales au gaz naturel, les sources d'énergie renouvelable et les importations d'électricité. **L'effet net qui en résultera sera une augmentation des émissions de CO₂** (Bureau fédéral du Plan, 2017).
- Après 2030, les émissions de CO₂ continueront à grimper. **L'intensité carbone totale** issue de la production d'électricité **baissera** (de 194 tCO₂/GWh en 2015 à 165 tCO₂/GWh en 2050), **mais pas suffisamment pour atteindre les objectifs climatiques** (Bureau fédéral du Plan, 2017⁴⁸).

Seule l'énergie nucléaire permettra de respecter les objectifs climatiques

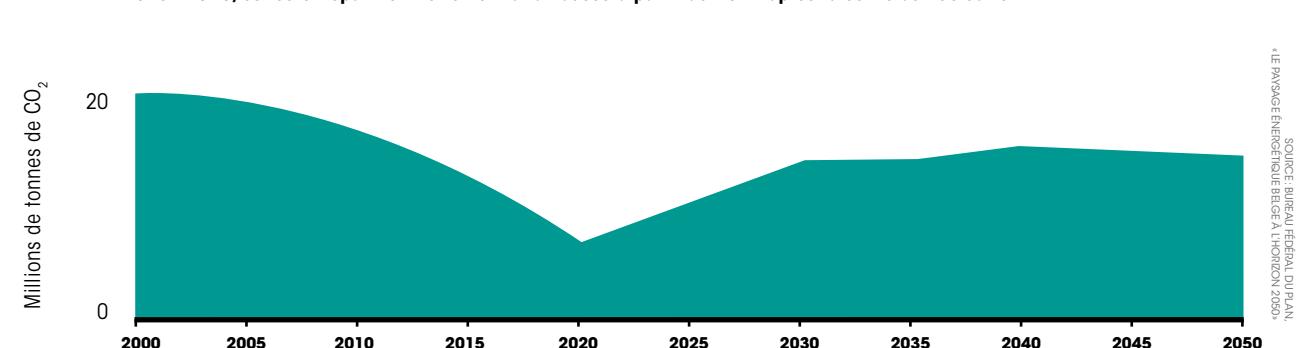
- Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) a identifié 1 200 scénarios énergétiques pour réaliser les objectifs climatiques et distingue **trois sources d'électricité pauvres en carbone: les énergies renouvelables, l'énergie nucléaire et le captage-stockage de CO₂**. Parmi tous ces scénarios, huit seulement parviennent à limiter l'augmentation de la température de la Terre à 2 °C sans recourir à l'énergie nucléaire.⁴⁹
- L'énergie nucléaire est une source d'énergie pauvre en carbone.** Sur tout son cycle de vie, l'énergie nucléaire émet autant de CO₂ que les énergies solaire et éolienne (GIEC, 2014).
- L'énergie nucléaire et l'énergie hydraulique sont actuellement les principales sources d'énergie faibles en CO₂, permettant de produire de l'électricité (Agence internationale de l'énergie [AIE]). //

- Une sortie du nucléaire alourdirait sensiblement la facture de CO₂. **Compte tenu de tous les efforts et des coûts liés à une sortie du nucléaire, il faudrait attendre au moins 2050 pour retrouver le même taux net d'émissions de CO₂ qu'aujourd'hui** (PwC, 2016⁴⁷).

Émissions de CO₂ totales générées par la production d'électricité en Belgique.



Évolution attendue des émissions de CO₂ générées par la production d'électricité en Belgique après une éventuelle sortie du nucléaire en 2025, exprimée en millions de tonnes. Après une baisse des émissions de CO₂ en 2005 et en 2020, celles-ci repartiront fortement à la hausse à partir de 2022 après la sortie du nucléaire.



MYTHE #3

«La sortie du nucléaire n'aura aucune incidence sur les émissions de CO₂ de notre pays. Mieux encore, elle permettra de faire baisser les émissions (à l'échelle européenne), car les certificats d'électricité verte instaureront un «plafond» sur la quantité de CO₂ que la Belgique pourra émettre. De plus, en raison de l'«ordre de mérite», les nouvelles centrales au gaz belges évinceront du marché les autres technologies plus coûteuses et plus polluantes.

RÉALITÉ

- Il est largement établi que **si les centrales nucléaires (faiblement émettrices) étaient remplacées par des centrales au gaz en Belgique, les émissions de CO₂ augmenteraient sur le territoire belge**. S'il est vrai que la quantité maximale de CO₂ pouvant être émise à l'échelle mondiale et européenne pourrait être limitée et régulée par le biais des certificats d'électricité verte, il ne s'agit cependant que d'un modèle commercial théorique et c'est indépendamment des avantages intrinsèques qu'apporte l'énergie nucléaire en matière climatique. Les systèmes d'échange de quotas d'émissions (ETS) par certains industriels n'assurent qu'une régulation très partielle au niveau européen et ne concernent d'ailleurs que moins de la moitié des émissions.
- Quand il est appliqué, le principe de l'ordre de mérite donne à tout moment la priorité aux centrales les plus économiques à exploiter ou plus «propres». On dit qu'elles «évincent» des centrales plus coûteuses ou plus polluantes. On doit toutefois prendre en considération les interconnexions qui existent entre des pays voisins. Ainsi, si l'on fait l'hypothèse que les centrales nucléaires belges sont remplacées par des centrales à gaz, il se pourrait effectivement que ces dernières se substituent également par exemple aux nombreuses centrales allemandes au charbon ou au lignite très polluantes. Au premier abord les conséquences pourraient être avantageuses, puisque le gaz émet beaucoup moins de CO₂. Cependant, cela signifierait également que dans ce cas l'Allemagne pourrait supprimer

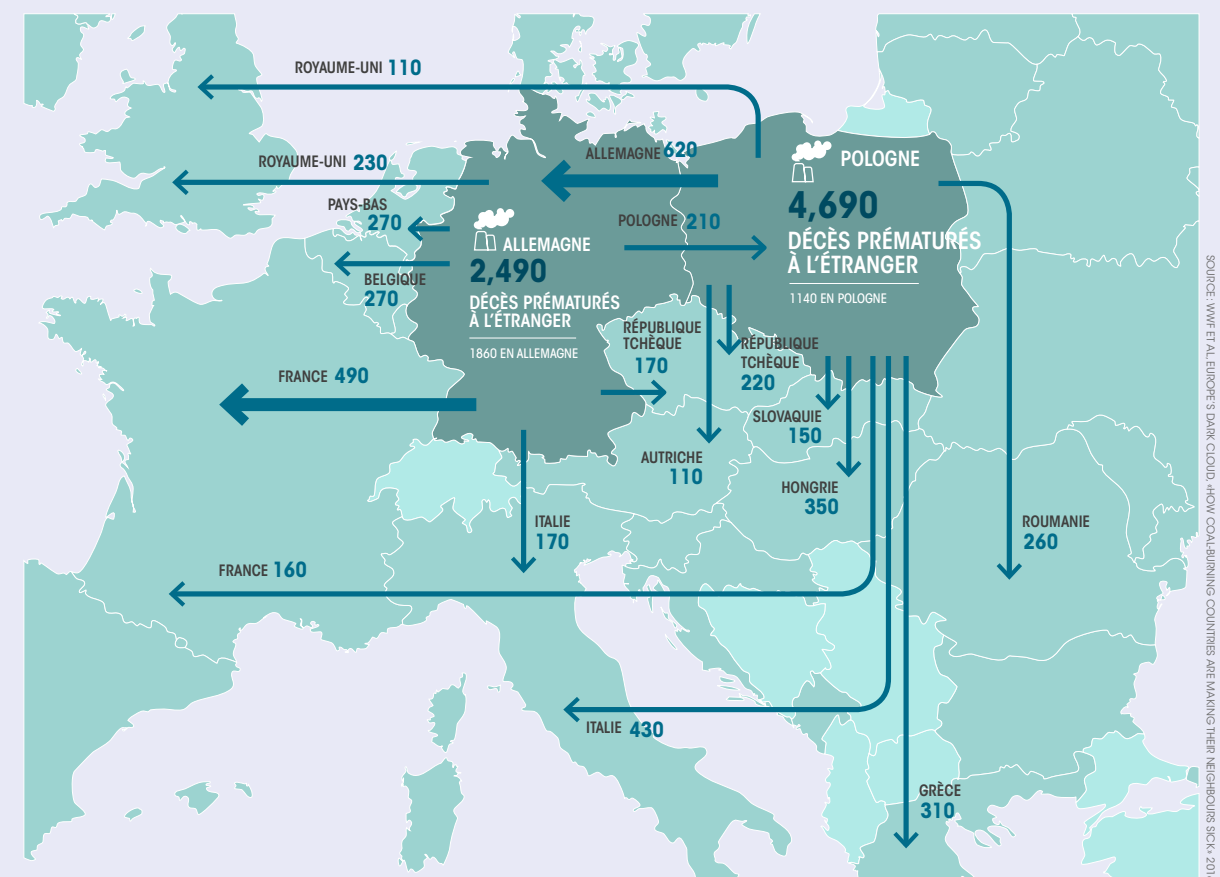


des technologies polluantes sur son territoire et importer l'électricité correspondante depuis les nouvelles centrales au gaz belges. **Le bilan climatique de la fermeture des centrales nucléaires belges deviendrait alors doublement négatif**: d'une part parce qu'on remplace en Belgique du nucléaire par du gaz qui produit plus d'émissions carbonées (trente fois plus!), et d'autre part par l'accroissement de la production globale d'électricité en Belgique à partir du gaz –et donc des émissions supplémentaires– pour le marché allemand. Au total, une telle situation aurait donc finalement des effets négatifs.

- À imaginer que notre pays ne parvienne pas à satisfaire sa propre demande en électricité après la mise hors service des centrales nu-

cléaires (comme le prévoient bon nombre d'études), nous devrions alors nous-mêmes importer de l'électricité. Les voies de circulation de l'électricité ne résultent toutefois pas de la volonté politique mais de raisons techniques. Ces importations se feront donc notamment à partir des centrales au charbon et au lignite allemandes, situées dans la région de la Ruhr non loin de la frontière belge. Une production d'électricité accrue par ces centrales exercera un impact négatif partout sur l'homme et le climat. Une étude du WWF réalisée en 2017 a par ailleurs démontré que les effets sur la santé se manifestent également à l'échelle internationale⁵⁰. Bref, **la hausse des importations allemandes sera négative à la fois pour le climat et la santé en Belgique.** //

Les centrales au charbon et au lignite allemandes comptent parmi les techniques de production d'électricité les plus polluantes. Elles exercent un impact négatif majeur sur l'homme et le climat.



MYTHE #4

«L'Allemagne fait figure de leader dans le domaine climatique. Grâce au développement intensif des énergies renouvelables, le pays est un exemple à suivre dans la constitution d'un mix électrique faiblement carboné.»

RÉALITÉ

Les énergies renouvelables ne sont pas un but en soi, mais un moyen : ce qui importe c'est l'intensité en carbone du mix électrique. **Pour mesurer le succès d'une transition énergétique durable, l'intensité carbone est évidemment une référence plus pertinente que la quantité d'énergie renouvelable** à proprement parler.

Dans un mix électrique au sein duquel la part des énergies renouvelables est principalement constituée de sources intermittentes (solaire et éolien), comme c'est le cas en Belgique, en présence d'un facteur de charge oscillant entre 25 et 40%, **ce ne sont pas tant les énergies renouvelables qui assurent la réussite ou non de la politique**

climatique/énergétique, mais plutôt la technologie qui les accompagne (backup).

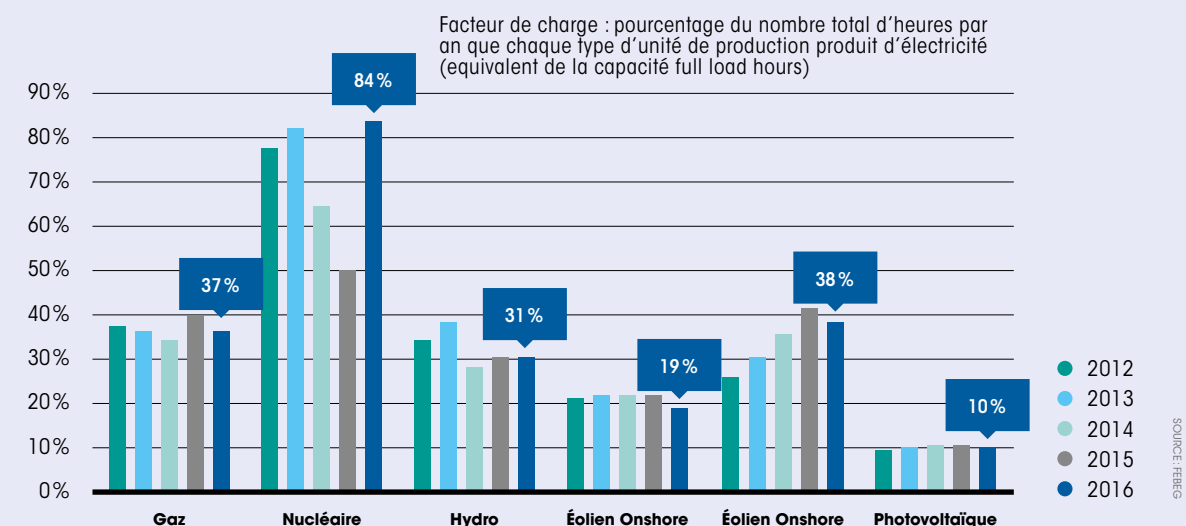
Les pays qui développent massivement les énergies renouvelables en y associant d'autres technologies pauvres en carbone affichent un meilleur bilan en matière de CO₂ que les pays qui développent le renouvelable aux côtés de sources fossiles.

Prenons deux exemples :

- les émissions de CO₂ issues de la production d'électricité de l'Allemagne (énergies renouvelables + énergies fossiles) face aux émissions françaises (énergies renouvelables + énergie nucléaire). En comparant les deux, on observe que l'Allemagne émet dix fois plus de CO₂ pour une quantité comparable d'énergie.

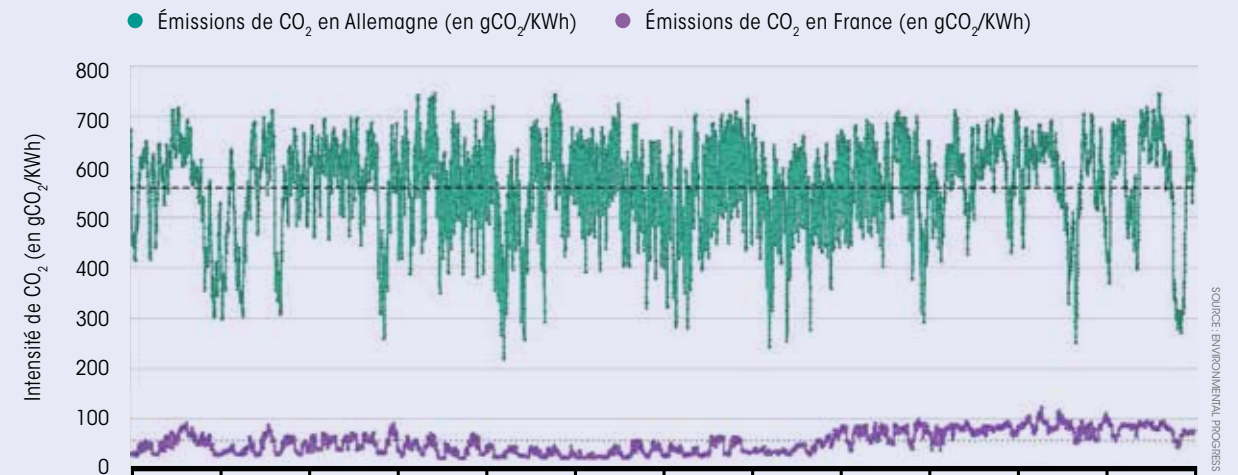
Facteurs de charge pour toutes les unités de production belges.

Le facteur de charge de l'éolien offshore oscille pour la Belgique autour des 38%, contre 19% pour l'éolien onshore. En d'autres termes, 65 à 81 % du temps, l'énergie éolienne (offshore et onshore) ne produit aucune électricité. Aujourd'hui elle est intéressante comme technologie de complément.



Comparaison des émissions de CO₂ générées pour la production d'électricité en Allemagne et en France.

Les émissions allemandes sont presque dix fois supérieures aux émissions françaises.

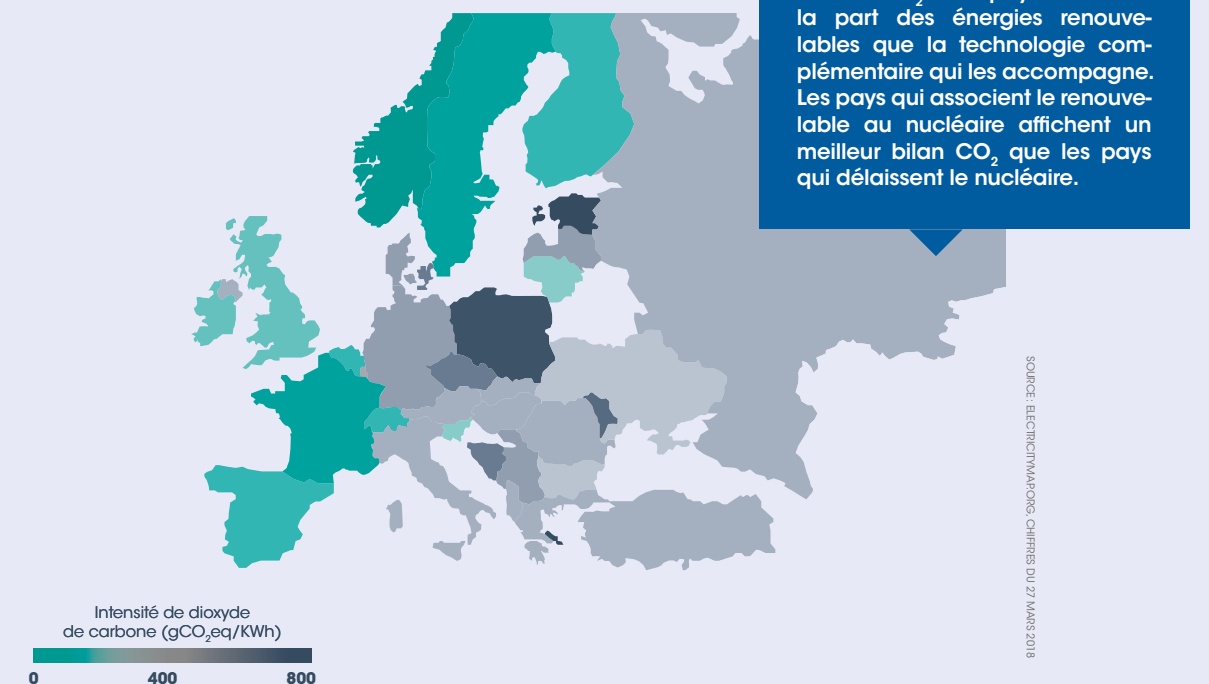


- L'outil **www.electricitymap.org** compare en temps réel les mix électriques et les émissions de CO₂ de divers pays du monde. Il met en lumière une constante : les pays avec du nucléaire **ont un taux d'émissions de CO₂ plus faible que les pays qui ne disposent pas de l'énergie nucléaire**. C'est le cas pour la

Belgique, la France, la Suisse, la Suède, la Finlande, l'Espagne et le Royaume-Uni (pays exploitant l'énergie nucléaire) face à l'Allemagne et le Danemark (deux pays «loués» pour leur révolution verte, mais qui n'exploitent pas l'énergie nucléaire). Ces pays affichent un bilan climatique beaucoup plus mauvais⁵¹. //

Intensité carbone des pays européens.

Constatation : les pays exploitant l'énergie nucléaire (Suède, Finlande, Belgique, France, Espagne, Suisse) présentent un bilan climatique nettement meilleur (en termes d'émissions de CO₂ générées pour la production d'électricité) (en vert) que les pays qui recourent considérablement aux énergies renouvelables sans exploiter le nucléaire ou sortant du nucléaire (Allemagne, Danemark) (en gris).





« PLUS DE 30 PAYS UTILISENT LA TECHNOLOGIE NUCLÉAIRE POUR PRODUIRE DE L'ÉLECTRICITÉ. 2017 A ÉTÉ UNE ANNÉE RECORD : LE MONDE N'A JAMAIS DISPOSÉ D'UNE CAPACITÉ NUCLÉAIRE AUSSI IMPORTANTE. »



MONDE

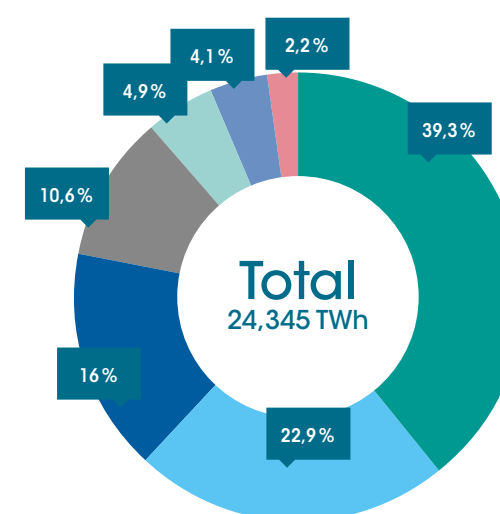
Que font nos voisins ?

Bien que des efforts soient déployés au niveau européen pour faire également de l'Union européenne une « Union énergétique », la politique énergétique demeure à ce jour essentiellement une compétence nationale souveraine. Les États membres l'ont voulu ainsi en incluant ce principe dans le Traité de Lisbonne. En matière d'approvisionnement notamment, chaque État membre de l'Union européenne mène donc une politique qui lui est propre. La dimension internationale de la politique énergétique gagne cependant en importance dans un contexte commercial où les États sont de plus en plus interconnectés en termes d'importation, d'exportation, de commerce de l'électricité et de droits d'émissions et comptent sur les excédents structurels des pays voisins pour éviter les éventuelles pénuries d'électricité.

L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE DANS LE MONDE

Plus de 30 pays utilisent la technologie nucléaire pour produire de l'électricité. 2017 a été une année record : le monde n'a jamais disposé d'une capacité nucléaire aussi importante. Cette augmentation résulte surtout de la forte croissance de l'énergie nucléaire au Moyen-Orient et en Asie. Ces pays connaissent en effet une croissance économique rapide (ce qui génère une forte augmentation de la demande en énergie et en électricité) et sont par ailleurs confrontés aux conséquences du changement climatique.

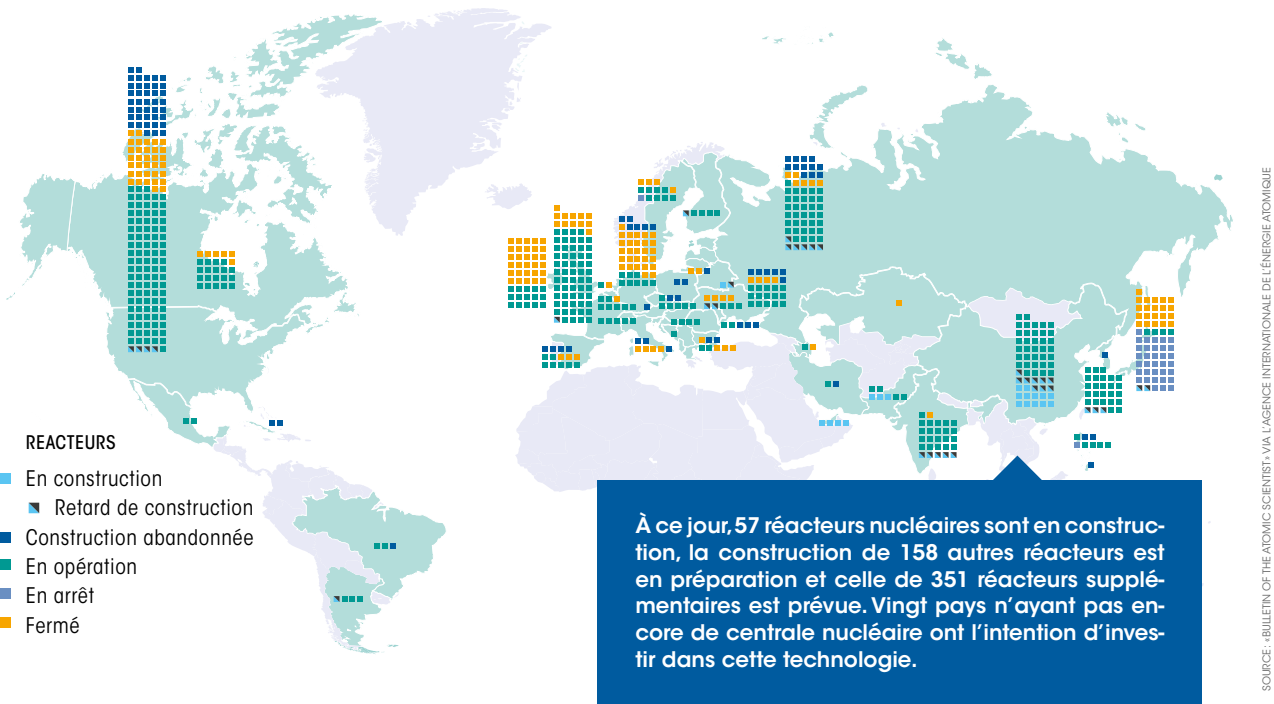
Au 1^{er} janvier 2018, quelque 448 réacteurs étaient opérationnels dans le monde. C'est 10 de plus que l'année précédente. En 2018, les combustibles fossiles constituent la part principale du mix énergétique. Au total, les centrales nucléaires produisent 10 % de toute l'électricité au niveau mondial (390 GW installés). L'agence internationale de l'énergie (AIE) prévoit qu'en 2040, la part de l'énergie nucléaire (capacité installée) augmentera de 46 %.



Part de l'énergie nucléaire et des autres sources d'énergie dans le mix énergétique mondial.

- Charbon
- Gaz
- Hydro
- Nucléaire
- Solaire, éolien, géothermie & marées
- Pétrole
- Autres

Réacteurs nucléaires dans le monde



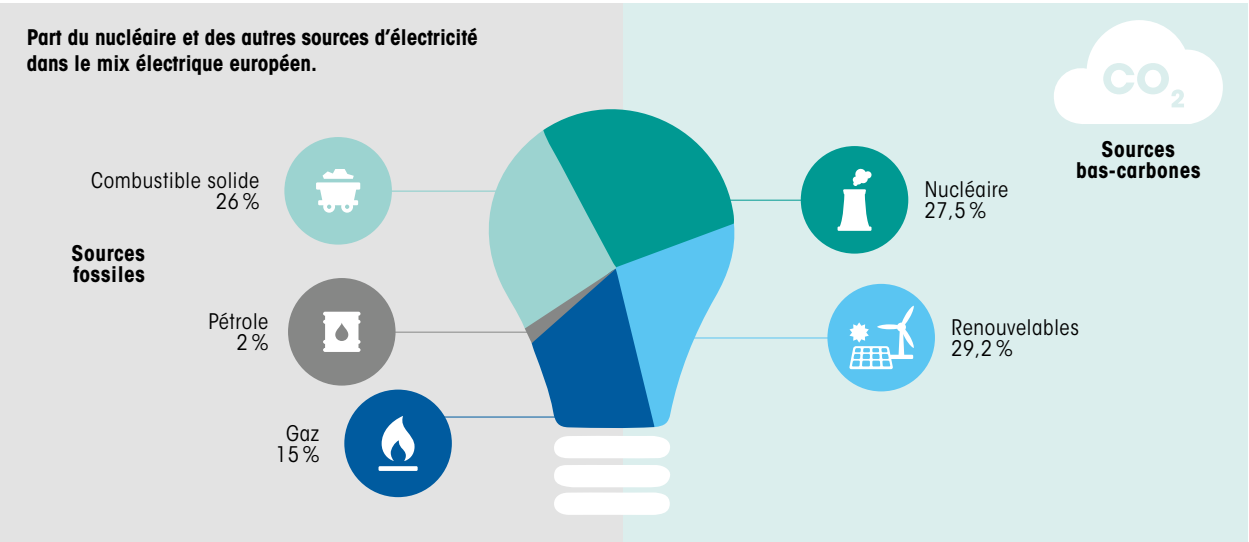
ÉNERGIE NUCLÉAIRE EN EUROPE

En Europe, 14 des 28 États membres font appel à l'énergie nucléaire pour produire de l'électricité, garantir la sécurité d'approvisionnement et rendre atteignables les objectifs climatiques.

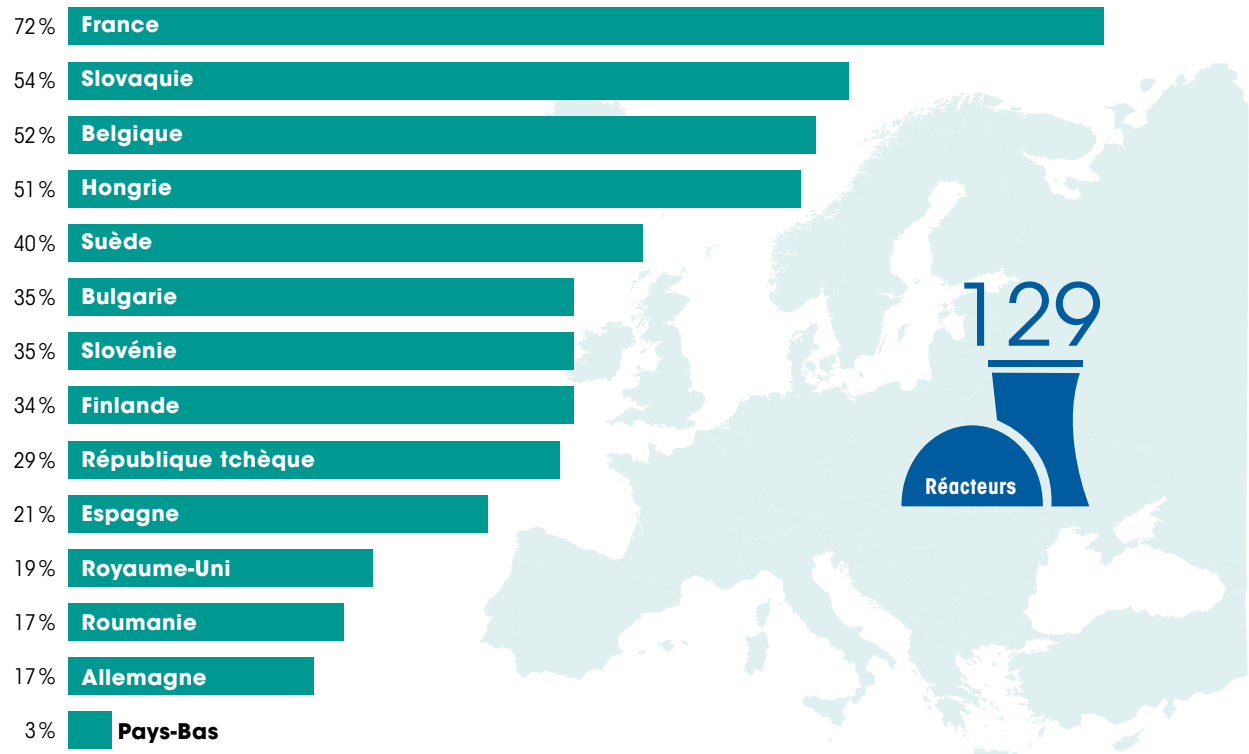
La part d'énergie nucléaire s'élève à 27 % de la production totale d'électricité. **En Europe, l'énergie nucléaire représente 50 % de la production d'électricité faible en carbone**, aux côtés des énergies renouvelables.

Les 129 réacteurs opérationnels en Europe interviennent dans la production d'électricité dans différentes proportions ; de 3 % (Pays-Bas) à 75 % (France). Avec une part moyenne de 52 %, la Belgique fait partie du peloton de tête en matière de production d'électricité d'origine nucléaire.

Six réacteurs sont en construction (Finlande, France, Slovaquie et au Royaume-Uni) et 22 autres réacteurs sont prévus (en Bulgarie, Hongrie, République tchèque, Finlande, Pologne, Roumanie et en Slovaquie).



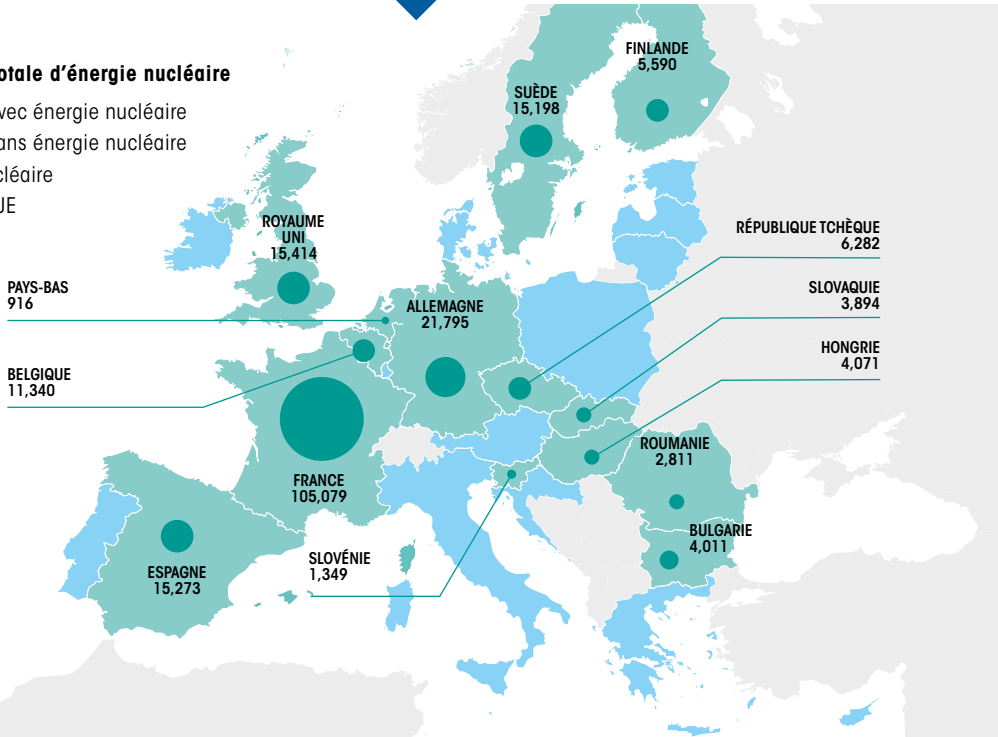
Part de l'énergie nucléaire dans le mix électrique en Europe



L'énergie nucléaire en Europe

213.021 ktoe production totale d'énergie nucléaire

- États-membres de l'UE avec énergie nucléaire
- États-membres de l'UE sans énergie nucléaire
- Production d'énergie nucléaire
- Pays non membres de l'UE



ÉNERGIE NUCLÉAIRE DANS LES PAYS VOISINS : QUELS SONT LES CHOIX POLITIQUES DE CHAQUE PAYS ?

France

- En 2015, la production d'électricité française via l'énergie nucléaire s'élevait à 437 TWh, soit 75 à 77 % de toute l'électricité générée en France.
- Le mix énergétique actuel français résulte d'une politique pro-nucléaire visant à garantir la sécurité de l'approvisionnement énergétique, stabiliser le prix de l'électricité et atteindre les objectifs climatiques :
- **Sécurité d'approvisionnement :** la France est le leader mondial en matière d'exportation d'électricité (grâce au prix bon marché de cette dernière). Le pays gagne trois milliards d'euros chaque année en revenus d'exportation.
- **Prix :** La France a les prix les plus bas d'Europe pour l'électricité
- **Climat :** une politique énergétique pragmatique, sans tabous. En 2015, le gouvernement Hollande a décidé de fortement réduire à terme la part d'énergie nucléaire, passant de 75 % à 50 % d'ici 2025. Le nouveau gouvernement Macron est revenu sur cette décision et préfère une approche pragmatique et axée sur le climat. Les émissions de dioxyde de carbone par habitant émises pour la production d'électricité sont les plus faibles d'Europe, puisque plus de 90 % de l'électricité proviennent de l'énergie nucléaire ou des énergies renouvelables.

« Je préfère le réalisme et la sincérité à la mystification. Il sera difficile de tenir l'objectif de réduction de 75 % à 50 % de la part de l'électricité d'origine nucléaire à l'horizon 2025. »

Nicolas Hulot, Ministre Français pour la Transition Ecologique, novembre 2017

Allemagne

- Jusqu'en 2011, 25 % de l'électricité allemande était produite par l'énergie nucléaire. Après l'accident survenu à Fukushima, la chancelière Angela Merkel a décidé unilatéralement la sortie du nucléaire. Depuis lors, neuf réacteurs ont été fermés.
- L'Allemagne compte actuellement sept centrales nucléaires opérationnelles (plus que la Belgique, donc), qui produiront encore de l'électricité jusqu'en 2022.
- Malgré tous les efforts et le prix élevé de la transition énergétique, l'effet net pour le climat est quasi-nul. **Jusqu'à présent les émissions de CO₂ de l'Allemagne n'ont pas diminué.** Au lieu d'éliminer progressivement les technologies fossiles polluantes (charbon et lignite), le moratoire sur ces technologies a été supprimé. **L'Allemagne continuera au moins jusqu'en 2040 à produire de l'électricité à partir de charbon et de lignite.**
- Quelque **43 %** de l'électricité générée en Allemagne **proviennent du charbon et du lignite.**
- Au sein du pays comme à l'étranger, **de plus en plus de voix s'élèvent contre cette politique** énergétique. En raison du coût de la transition énergétique, d'une part, mais aussi de l'incidence négative que cette sortie du nucléaire aura sur le climat.
- **Les familles allemandes assument le coût de la transition énergétique.** Le pays dispose de l'un des tarifs les plus bas au niveau du prix de gros de l'électricité, mais de l'un des plus élevés pour les particuliers.

« Les erreurs de l'Allemagne sont particulièrement importantes. Accorder d'énormes subventions à long terme à des parcs photovoltaïques n'était pas judicieux ; éliminer l'énergie nucléaire si rapidement est insensé. »

The Economist, 28 novembre 2015



France : le nouveau réacteur (en construction) de la centrale de Flamanville. Il s'agit d'un réacteur EPR de troisième génération.

L'ALLEMAGNE ÉMET DIX FOIS PLUS DE CO₂ QUE LA FRANCE EN CE QUI CONCERNE LA PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ. LA PROPORTION DES ÉNERGIES RENOUVELABLES DANS LES DEUX PAYS EST PLUS OU MOINS ÉGALE.



Allemagne: la mine de lignite d'Hambach. L'Allemagne a décidé de continuer sa production d'électricité avec du lignite jusqu'en 2040.

Royaume-Uni

- **Une vision à long terme de l'énergie** Fin 2010, le gouvernement a donné le feu vert pour procéder à de nouveaux investissements en énergie décarbonée. Cela a résulté en la construction de nouveaux parcs éoliens, panneaux et parcs photovoltaïques, et en la construction de nouvelles centrales nucléaires par un consortium d'entreprises privées. Le Royaume-Uni opte résolument pour un mix composé de sources d'énergie faibles en CO₂, et qui donne une place importante à l'énergie nucléaire.
- **La politique énergétique britannique est une politique énergétique** ouvertement pro-nucléaire et pro-renouvelable. Il s'agit d'une politique **technologiquement neutre**.
- **Un mécanisme pour attirer les investissements dans une nouvelle production d'électricité.** Pour rendre possible les investissements privés dans une capacité électrique pauvre en CO₂, le gouvernement britannique a mis en place un mécanisme («contract for difference»). Celui-ci permet de garantir le prix du MWh dans le futur. Afin de garantir la rentabilité des nouvelles capacités éolienne, solaire et nucléaire; les autorités compensent les pertes éventuelles qui pourraient survenir à l'avenir. Il est erroné de croire qu'il s'agit ici d'une aide d'État. Il s'agit d'une garantie de l'État portant sur toutes les technologies faibles en carbone. En d'autres termes **au même titre que celles qui investissent dans la capacité nucléaire, des mêmes incitants et des mêmes rendements** (à terme).
- **Une politique qui opte résolument pour une nouvelle conception du nucléaire.** La politique énergétique britannique prépare l'avenir, et investit dans l'énergie nucléaire. Tout comme la France, la Finlande et la Slovaquie (où de nouvelles centrales nucléaires sont actuellement en construction), le Royaume-Uni fait partie des huit pays européens qui choisissent clairement de renouveler leur capacité nucléaire (troisième génération) pour apporter une partie de la solution au trilemme énergétique.

Pays-Bas

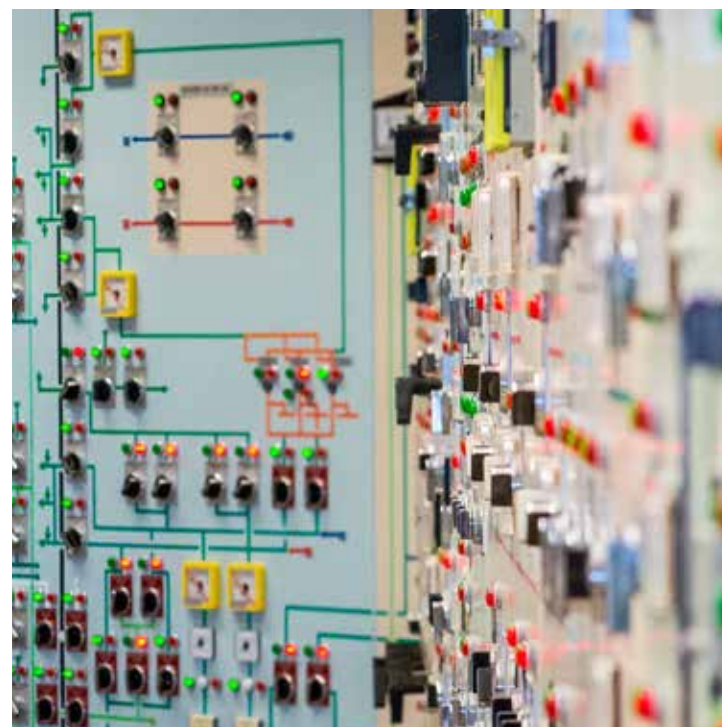
- **Une reconnaissance permanente de l'énergie et de la technologie nucléaire.** Les Pays-Bas comptent trois réacteurs nucléaires actifs : la centrale nucléaire de Borssele, qui produit de l'énergie ; le Hoge Flux Reactor (HFR) à Petten, qui produit des isotopes médicaux et est utilisé à des fins de recherche; et le Hoge Onderwijs Reactor (HOR) de Delft qui permet aux étudiants universitaires de se former aux réacteurs et de mener des recherches internationales.
- **20 années supplémentaires d'exploitation sûre pour la centrale de Borssele ont été décidées.**
- Malgré le fait que l'énergie nucléaire ne représente que 3% du mix électrique néerlandais, **le pays souhaite préserver son savoir-faire et voit l'énergie nucléaire comme une partie de la solution aux défis climatiques et énergétiques de demain.** La poursuite de l'exploitation a été votée au parlement sans rencontrer de grande opposition. Au niveau de la population, l'extension des mesures de sécurité pour la centrale de Borssele sur 20 années supplémentaires n'a pas non plus rencontré d'opposition.
- En 2013, les Pays-Bas ont élaboré l'«**Accord sur l'énergie pour une croissance durable**» qui **met en avant toutes les sources d'énergie faibles en carbone, et une élimination progressive des énergies fossiles.**
- S'agissant de la politique relative aux déchets, les Pays-Bas ont décidé de conserver encore 100 ans le dépôt en surface de leurs déchets hautement radioactifs, en attendant que la recherche trouve de nouvelles solutions en matière de déchets.

Suisse

- **Un mix électrique faible en carbone, donnant la primauté à l'énergie nucléaire et à l'énergie renouvelable.** En 2015, la production brute d'électricité s'élevait à 67,5 TWh, presque totalement issus de l'énergie nucléaire et hydraulique
- **Une politique prévoyant l'exploitation à long terme des centrales nucléaires.** Tous les réacteurs suisses, à l'exception de celui de Mühleberg, disposent d'une autorisation d'exploitation à durée illimitée, tant que leur sécurité peut être démontrée aux autorités.
- **Une politique énergétique assumée, visiblement soutenue par la population.** En novembre 2016, il a été proposé par le parti Vert lors d'un référendum de fermer les centrales nucléaires après 45 ans d'exploitation maximum. Résultat : les votants ont exprimé leur confiance envers l'énergie nucléaire, malgré une vaste campagne anti-énergie nucléaire.
- **Un scénario de sortie du nucléaire sans date de fin.** La Suisse opte pour un scénario de sortie du nucléaire pragmatique, sans spécifier de date de sortie, qui met l'accent sur les objectifs climatiques et un calendrier de sortie réalisable et réaliste. Concrètement, le gouvernement suisse a décidé, en juin 2011, de sortir du nucléaire, et de ne plus autoriser la construction de nouvelles centrales nucléaires en Suisse. Cela signifie que la Suisse sortira du nucléaire si d'autres solutions, faibles en CO₂, sont disponibles afin de garantir la sécurité de l'approvisionnement et de conserver le prix de l'électricité à un niveau acceptable. Tant que la technologie de remplacement n'est pas disponible, et tant que les centrales nucléaires peuvent être exploitées en toute sûreté, elles pourront faire partie du mix électrique suisse et donc, être prolongées autant que nécessaire.

Suède

- **Le mix électrique suédois est une combinaison performante d'énergie nucléaire et d'énergies renouvelables.** La production d'électricité émet très peu de CO₂ et de gaz à effet de serre. Plus de 50% de l'électricité était produit par l'hydraulique et l'éolien, environ 40% par le nucléaire et moins de 10% par des centrales thermiques conventionnelles brûlant principalement des biocarburants.
- **La Suède dispose de 8 réacteurs nucléaires** opérationnels répartis à raison de 3 sur le site de Forsmark, 1 sur le site de Oskarshamn et 4 sur le site de Ringhals. Leur capacité totale est de 8 376 MW.
- **En juin 2016, le gouvernement et les partis suédois ont conclu un accord sur la politique énergétique de la Suède à long terme.** Cet accord consiste notamment en une feuille de route pour une transition contrôlée vers un système électrique entièrement basé sur les énergies renouvelables. Un objectif à atteindre en 2040.
- Concernant cet accord, 2040 est un objectif et non une date limite qui interdit le recours à l'énergie nucléaire. En effet, **la construction de nouveaux réacteurs (maximum 10) est autorisée** sur les sites existants. L'accord stipule aussi qu'il est possible de remplacer les réacteurs existants lorsqu'ils atteignent la fin de vie économique.
- **Forsmark est aussi un important site de stockage pour les déchets radioactifs.** Elle dispose d'une installation de stockage souterrain pour les déchets de courte durée de vie qui a été mise en service en 1988. En 2009, la société SBK (Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Company) a désigné le site de Forsmark comme lieu de stockage pour le combustible nucléaire usé. Les installations de stockage sont en cours de construction et devraient entrer en service fin des années 2020 – début des années 2030. //



« LA CENTRALE NUCLÉAIRE DE BORSSELE PEUT ÊTRE UTILISÉE PENDANT 20 ANNÉES SUPPLÉMENTAIRES »

Conseil d'État des Pays-Bas, 2014⁵²



OPÉRATIONS À LONG TERME

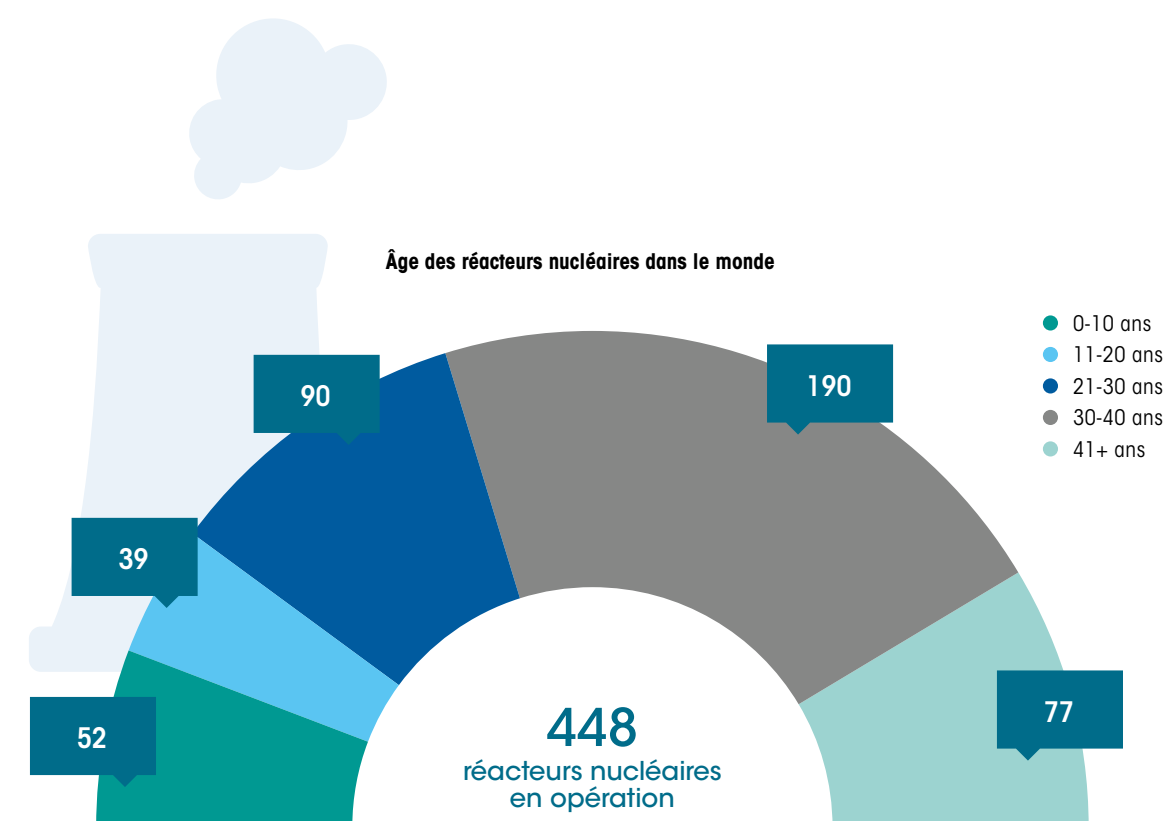
Le maintien en exploitation à plus long terme des centrales nucléaires est possible. L'énergie nucléaire permet une transition faible en carbone.

Les centrales nucléaires peuvent être maintenues en activité au-delà des 40 ans initialement envisagés. C'est ce qui a été décidé en Belgique, à l'instar de nombreux autres pays (Suisse, Pays-Bas, États-Unis) qui ont décidé de poursuivre l'exploitation de leurs centrales nucléaires. Quels sont les principaux arguments en faveur de leur exploitation à plus long terme ?

PAS DE DATE DE FIN TECHNIQUE

Les centrales électriques n'ont pas de durée d'exploitation fixe, déterminée à l'avance. Conçues au départ pour fonctionner sans encombre pour une durée minimum, les centrales peuvent à tout moment voir leur durée d'exploitation augmentée (pour autant qu'elles répondent aux critères de sûreté).

Sur les 448 réacteurs actuellement en exploitation dans le monde, plus de 75, soit une capacité de 38 730 MW, ont atteint l'âge de 41 ans ou plus⁵³. En Belgique, la loi détermine la date de sortie des centrales nucléaires. Ces dernières peuvent toutefois continuer à fonctionner à condition que les investissements nécessaires soient opérés.



L'EXPLOITATION À LONG TERME :
60 ANS : LA NORME INTERNATIONALE,
80 ANS : LA TENDANCE RÉPANDUE

Les Pays-Bas ont décidé d'exploiter leur centrale nucléaire de Borssele, située à la frontière belge, sur une période de 60 ans (20 ans d'exploitation additionnelle en cours, du 18 mars 2013 au 31 décembre 2033). La Suisse a elle aussi décidé de maintenir ses centrales nucléaires en activité vingt ans de plus. Les États-Unis ont même l'intention de poursuivre l'exploitation de plusieurs centrales nucléaires jusqu'à 80 ans. Autrement dit, **il n'y a absolument aucune raison technique ou sécuritaire qui justifie la fermeture de nos centrales nucléaires au-delà de 40 ans d'exploitation**. Dans aucun de ces pays, il n'y a eu d'opposition ou de réaction populaire pour contester la décision prise.

Parmi les 448 réacteurs actuellement exploités dans le monde, 63 ont atteint l'âge de 40 ans ou plus. Dans le monde entier, il est courant que des centrales nucléaires voient leur durée d'exploitation prolongée jusqu'à 60 ans, voire plus. **La Commission européenne prévoit que d'ici 2035, plus de la moitié de toutes les centrales nucléaires d'Europe (soit une puissance d'environ 60 GW) s'inscriront dans une stratégie d'exploitation à long terme**⁵⁴.

MAINTIEN EN EXPLOITATION À LONG TERME
(LTO) EN BELGIQUE :
UNE OPTION QUI A FAIT SES PREUVES

Décider de poursuivre l'exploitation de certaines unités nucléaires n'est pas une nouveauté en Belgique. Par le passé, les gouvernements Di Rupo 1 et Michel 1 ont respectivement décidé de poursuivre l'exploitation de Tihange 1 et Doel 1 et 2. **La poursuite de l'exploitation après 2025 ne sera donc pas une nouveauté dans notre pays**. Entre-temps, l'opérateur a intégré le concept de LTO et a consenti les investissements nécessaires, ces dernières années, pour permettre une éventuelle prolongation de dix ans de l'exploitation des réacteurs de Tihange 1 et de Doel 1 et 2 dans le respect de toutes les normes de sûreté.

Outre les 600 millions d'euros alloués à la poursuite de l'exploitation de Tihange 1, l'opérateur a investi quelque 700 millions d'euros afin de soutenir la prolongation de Doel 1 et Doel 2. La plus grande partie de cette somme est dévolue aux **adaptations et renouvellements** (notamment des turbines et de transformateurs les plus importants). Par ailleurs, de nouveaux collaborateurs sont engagés et formés, afin de garantir l'exploitation sécurisée de Doel 1, Doel 2 et Tihange 1.

L'EXPLOITATION À LONG TERME :
UNE DÉCISION POLITIQUE

Poursuivre l'exploitation des centrales nucléaires après 40 ans est **un choix politique et non une nécessité technique**. Car les réacteurs de Doel et Tihange ne sont plus tout-à-fait les même réacteurs qu'il y a 40 ans : les outils ont évolué avec le temps. Au fil des ans, ils ont en effet été actualisés et modernisés de manière permanente. Ils satisfont d'ailleurs aux normes actuelles les plus strictes. La poursuite de l'exploitation au-delà de 40 ans est loin d'être une exception. De nombreux autres pays l'ont décidé (Pays-Bas, Suisse, États-Unis, ...).

EXPLOITATION À LONG TERME ET SÛRETÉ,
UNE HISTOIRE INTERNATIONALE

La poursuite de l'exploitation a une portée internationale puisque, outre le contrôle opéré par l'AFCN, un **contrôle supplémentaire est assuré par l'AIEA** à la demande du gouvernement belge et de l'AFCN. Dans le cadre de la mission d'expertise «SALTO» (SALTO: Safety Aspects of Long Term Operation), les centrales nucléaires de Doel et Tihange ont reçu la visite de plusieurs inspecteurs de l'AIEA. Concrètement, ils ont procédé à une évaluation de la gestion des ressources humaines et des connaissances, de la gestion du vieillissement des composants électriques, de l'organisation interne et de la gestion des modifications.

L'EXPLOITATION À LONG TERME
ET AVIS DES PAYS VOISINS

Les Pays-Bas, l'Allemagne et le Grand-duché de Luxembourg **souhaitent avoir leur mot** à dire dans les décisions portant sur la poursuite de l'exploitation des centrales nucléaires belges. Dans une Europe aux frontières ouvertes, cette demande est compréhensible, mais les modalités d'exploitation des centrales nucléaires belges sont établies par la voie légale, conformément à la législation belge, qui prévaut en l'occurrence. C'est également le cas des étapes à suivre pour mettre en œuvre la poursuite de l'exploitation au-delà de 40 ans. Il est prévu que les pays voisins puissent toutefois donner leur avis, via l'AFCN, pour les réacteurs de Doel 4 et de Tihange 3.

La situation inverse existe également : aux Pays-Bas, la centrale nucléaire de Borssele par exemple a reçu il y a peu l'autorisation de poursuivre l'exploitation de 20 ans. Ces dernières années, des **inspections «croisées»** ont été menées dans notre pays. Lors de ce type d'inspection, les porte-parole du régulateur nucléaire d'un pays suivent l'inspection d'une centrale nucléaire dans un pays voisin. La première inspection de ce type chez nous impliquait des inspecteurs de l'Agence fédérale du contrôle nucléaire (AFCN) et de son homologue néerlandais, l'Autorité de la sécurité nucléaire et de la protection contre les radiations (ANVS), en présence de plusieurs ministres belges et néerlandais, du gouverneur de Flandre orientale et des directeurs des organismes de régulation nucléaires. Le ministre belge Jambon ainsi que son homologue néerlandais Schultz ont déclaré avoir confiance en la sûreté de nos centrales nucléaires.

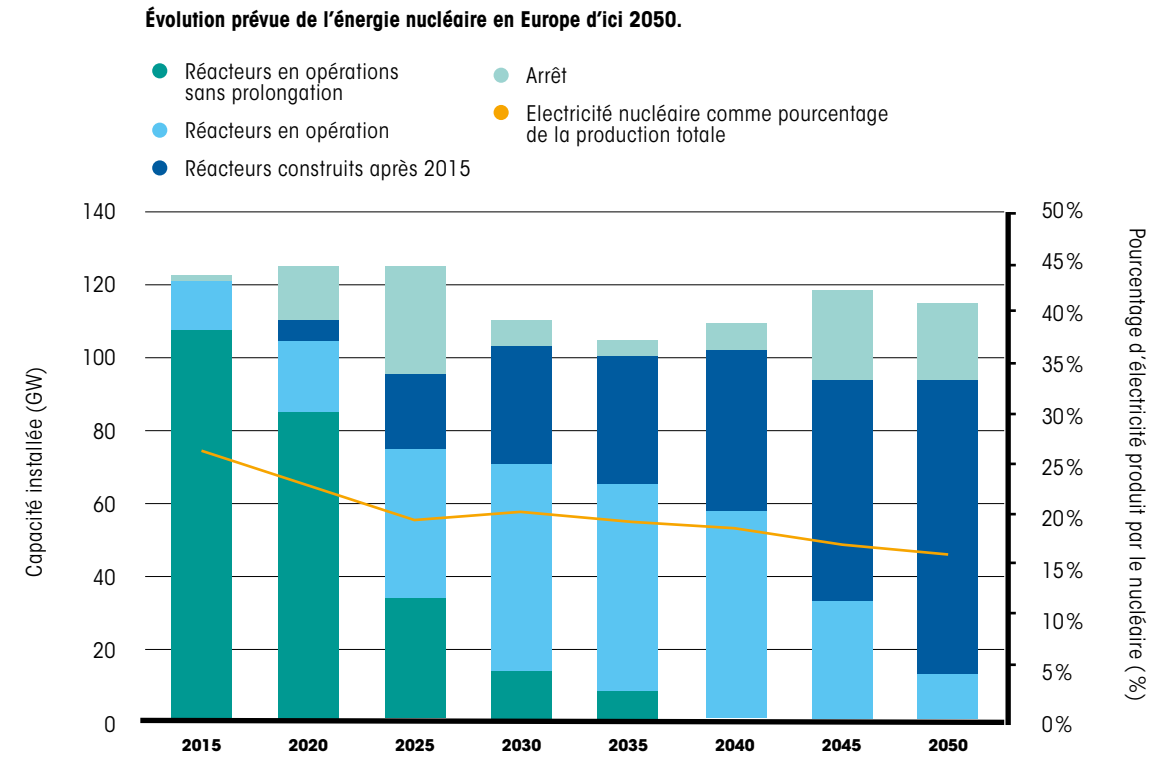
NÉCESSITÉ DE DÉCIDER RAPIDEMENT

Si la Belgique souhaite maintenir tout ou partie de ses réacteurs nucléaires en activité au-delà de 2025, cette décision ne peut être reportée indéfiniment. En fonction de l'issue choisie (fermeture ou maintien en activité), l'opérateur devra, dans les mois à venir, se préparer en vue de procéder soit à la fermeture soit à la poursuite des activités, et ce en garantissant une sûreté maximale.

C'est pourquoi la décision quant à une éventuelle exploitation à plus long terme des activités d'un ou plusieurs réacteurs doit être prise rapidement. Sans une telle décision prochaine, l'option résiduelle s'imposera : il sera alors trop tard pour étendre la durée d'exploitation des réacteurs.



LA DÉCISION QUANT
À UNE ÉVENTUELLE
EXPLOITATION À PLUS
LONG TERME DES
ACTIVITÉS D'UN OU
PLUSIEURS RÉACTEURS DOIT
ÊTRE PRISE RAPIDEMENT.



NOUVELLES TECHNOLOGIES

« LES SMR SONT FLEXIBLES ET AUTONOMES, C'EST POURQUOI ILS CONSTITUENT UNE SOLUTION IDÉALE QUAND LA DEMANDE EN ÉNERGIE FLUCTUE. »

À quoi ressemblera l'énergie nucléaire de demain.

De nombreux pays investissent dans de nouvelles centrales nucléaires : l'Agence internationale de l'énergie prévoit une augmentation de 40 % du nombre de centrales d'ici 2040. Différentes évolutions technologiques caractérisent l'énergie nucléaire de demain.

À l'heure actuelle, de nouvelles centrales nucléaires sont construites partout dans le monde.

L'augmentation la plus forte est à noter en Asie et au Moyen-Orient. Partout dans le monde, des États optent pour l'énergie nucléaire, afin d'apporter une partie de la solution aux défis énergétiques. Ils construisent des centrales afin de sécuriser leur approvisionnement en électricité, de stabiliser leur prix et d'atteindre les objectifs climatiques.

Les centrales actuellement en construction sont de la troisième génération.

En Europe, deux nouvelles centrales de ce type sont construites en France et en Finlande. Six centrales sont en construction, et 22 autres en sont au stade de projet en Bulgarie, Hongrie, République tchèque, Finlande, Pologne, Roumanie et en Slovaquie.

Dans les dix années à venir, les capacités nucléaires au Moyen-Orient devraient être multipliées par quatre.

Selon un rapport international annuel de l'AIEA (Agence internationale de l'énergie nucléaire), les Émirats arabes unis seront le fer de lance de cette croissance, grâce à l'installation d'une capacité nucléaire de 5,4 GWe d'ici 2020. La croissance totale escomptée au Moyen-Orient va de 3,6 GW cette année à 14,1 GWe d'ici 2028. Les raisons principales qui poussent les pays de cette région à opter pour l'énergie nucléaire : accroître leur sécurité pour moins dépendre des combustibles fossiles (malgré les vastes réserves d'énergies fossiles dans cette région), et anticiper la demande énergétique croissante conséquente au développement économique et à l'accroissement de la population. L'AIEA s'attend à ce que la demande en électricité augmente de 30 % d'ici 2028 au Moyen-Orient, contre une croissance de 18 % attendue au niveau mondial.⁵⁵ De nouveaux projets sont prévus en Iran, en Turquie, en Jordanie, en Arabie saoudite et aux Émirats arabes unis.

En Asie, c'est la Chine qui mène la danse.

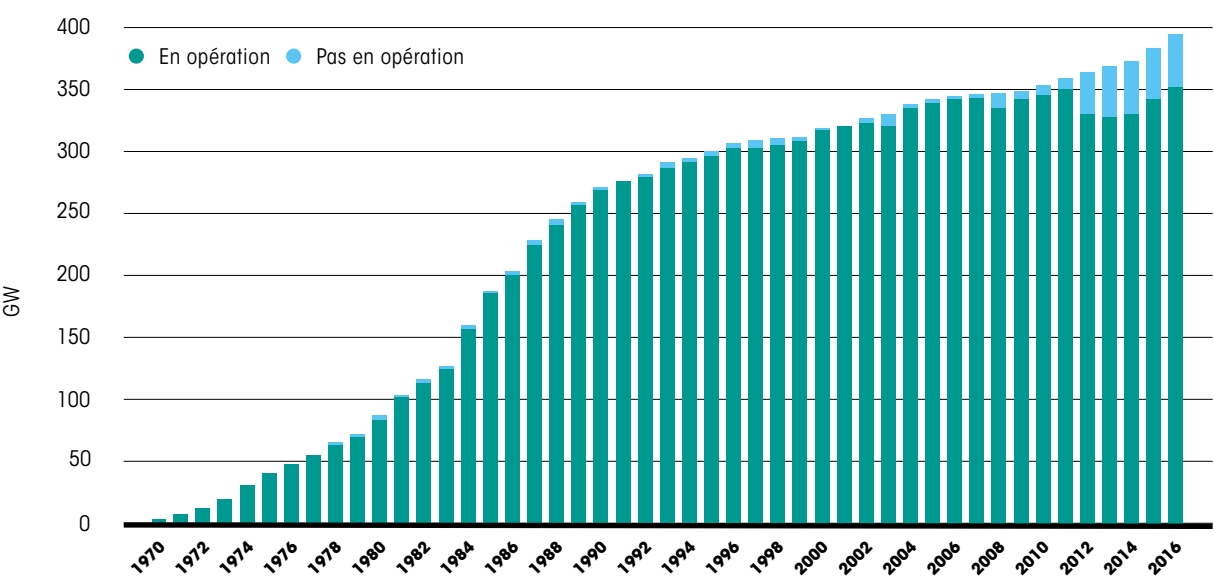
Dix des seize réacteurs qui ont été connectés au réseau en 2017 se trouvaient en Chine. En 2016, une année record, plus de 9 GW ont été rajoutés au réseau de la capacité nucléaire, soit 10 nouvelles centrales, ce qui représente l'augmentation annuelle la plus importante depuis 25 ans. Cinq des dix nouvelles centrales se trouvent en Chine.

Jamais auparavant il n'y a eu autant de centrales nucléaires (capacité installée) qu'aujourd'hui, en 2018, comme l'indique le tableau ci-dessous. La quantité d'électricité générée dans le monde par l'énergie nucléaire a augmenté de 35 TWh pour atteindre 2 476 TWh. Cette augmentation résulte d'une part du branchement de nouveaux réacteurs, et d'autre part de l'augmentation de la production de la flotte existante.⁵⁶

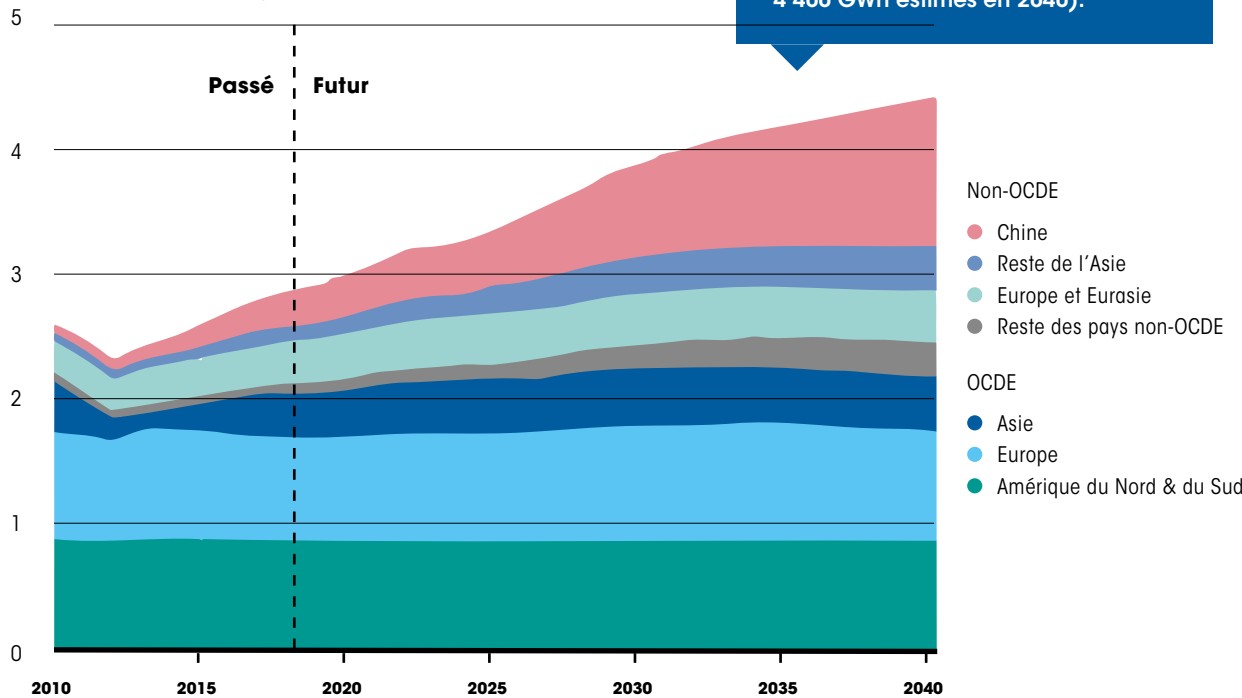
L'augmentation substantielle actuelle de l'énergie nucléaire ne s'arrêtera pas. L'Agence internationale de l'énergie estime que la capacité nucléaire mondiale augmentera de 46 %, pour atteindre 4 400 GWh d'ici 2040.

**JAMAIS AUPARAVANT
IL N'Y A EU AUTANT DE
CENTRALES NUCLÉAIRES
QU'AUJOURD'HUI,
EN 2018.**

Le volume total de la capacité nucléaire installée à la fin 2016
Il n'y a jamais eu autant d'énergie nucléaire qu'aujourd'hui (en termes de capacité installée).
Ce record résulte tant de nouvelles constructions que de l'augmentation de la production de la flotte existante.



La croissance estimée de l'énergie nucléaire dans le monde entre aujourd'hui et 2040



L'AIEA prévoit que la quantité d'électricité générée par les centrales nucléaires, entre aujourd'hui et 2040, va encore augmenter de 46% (actuellement environ 2 600 GWh, contre 4 400 GWh estimés en 2040).

DES RÉACTEURS NUCLÉAIRES PLUS PETITS ? BIENVENUE DANS LE MONDE DES SMR

Les SMR (small modular reactors) constituent une nouvelle génération de réacteurs plus petits. Leur conception modulaire leur permet d'être moins onéreux que les centrales classiques et ils peuvent facilement être adaptés afin de livrer de l'énergie à des sites industriels ou dans des zones reculées, par exemple. **La flexibilité, la rentabilité et la rapidité de construction sont leurs principaux atouts.** Partout dans le monde, les SMR gagnent en popularité. **En Belgique le SCK•CEN et Tractebel sont en première ligne pour le développement de cette nouvelle génération.**

Les SMR sont flexibles et autonomes, c'est pourquoi ils constituent une solution idéale quand la demande en énergie fluctue. Ils ne remplacent pas les centrales nucléaires traditionnelles qui produisent de l'énergie faible en carbone en continu, mais les complètent.

Les SMR sont donc particulièrement utiles dans les régions reculées, où le réseau électrique n'est pas encore établi, ou sur les sites industriels. Grâce à cette conception modulaire, les différents modules d'un SMR peuvent être activés séparément en fonction de la demande en électricité. Cela signifie qu'en quelques minutes, certains modules peuvent être activés ou désactivés lorsque les besoins en électricité diminuent ou augmentent.

Les différents modules d'un SMR peuvent être transportés par camion et installés sur place. Cela implique une baisse des coûts et du temps de fabrication.

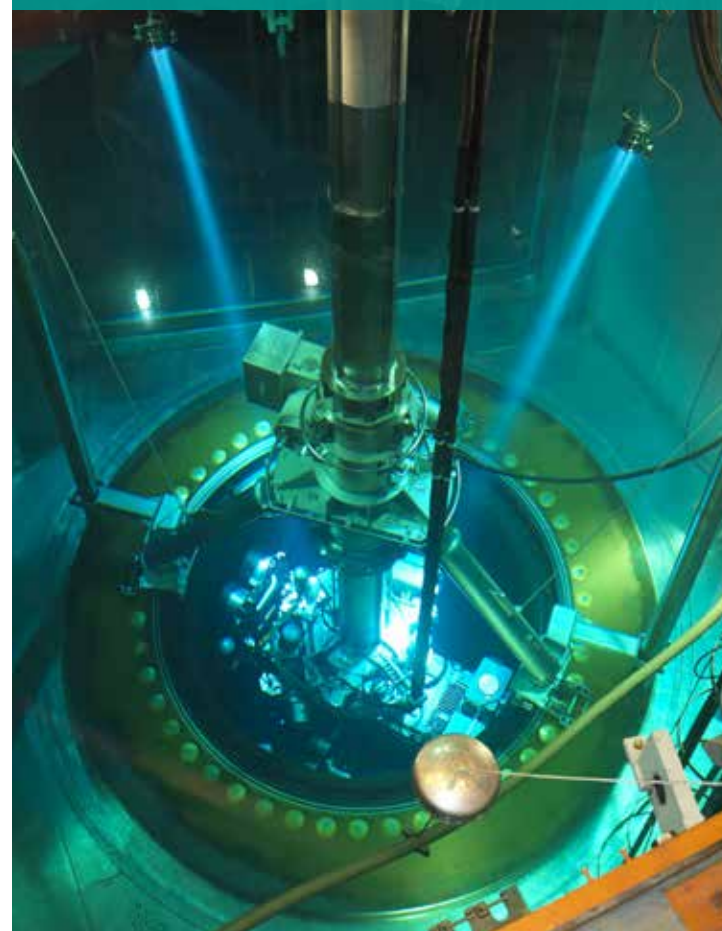


le projet MYRRHA, le réacteur de recherche du SCK•CEN à Mol, fait partie des nouvelles technologies nucléaires développées actuellement en Belgique.



« L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE
EST LA SOURCE D'ÉNERGIE
LA PLUS SÛRE. »

Our World in Data, Markandya & Wilkinson,
université d'Oxford⁵⁷



SÛRETÉ

Sûreté: le secteur nucléaire prend ses responsabilités.

LA SÛRETÉ AVANT TOUT

La sûreté constitue une priorité absolue pour le secteur nucléaire et pour les Autorités qui le contrôlent. Il leur incombe de protéger la population contre les dangers que peuvent créer les radiations ionisantes qui accompagnent la fission nucléaire.

Le secteur nucléaire belge peut se targuer d'être opérationnel depuis le début en toute sûreté, sans causer de dommage à l'homme et à l'environnement, et sans qu'aucun accident grave ne se soit produit.

SÛRETÉ ET SÉCURITÉ NUCLÉAIRES = UNE RÉALITÉ QUOTIDIENNE

La sûreté nucléaire (au sens large) englobe l'ensemble des mesures de sécurité inhérentes aux installations nucléaires (sûreté) de même que l'ensemble des mesures destinées à protéger les installations contre toute une série de menaces (sécurité).

La sûreté des installations et de leur exploitation constitue une exigence fondamentale pour le secteur nucléaire. Elles comptent parmi les installations industrielles les plus sécurisées et les mieux contrôlées au monde. On peut dire que la culture de sûreté fait partie de l'ADN du secteur: c'est une priorité absolue. De la conception d'une installation à son exploitation et à la formation de tous les membres du personnel, tout est organisé en fonction de la sûreté.

De très nombreuses procédures de sûreté ont été élaborées afin d'une part d'empêcher que des erreurs mécaniques ou humaines puissent se produire et d'autre part de mettre la centrale à l'arrêt en présence de la moindre anomalie. Cela permet de réduire au minimum les risques d'une faute majeure ou la survenance d'un véritable incident. Grâce à ce

mécanisme de mise à l'arrêt d'urgence, le système se désactive donc en toute sûreté sans que les opérateurs humains ne puissent influencer la mise en arrêt.

UNE AUTORITÉ DE CONTRÔLE INDÉPENDANTE

Dans notre pays, le législateur a voulu que la sûreté et la sécurité nucléaire soient surveillées et contrôlées par une autorité publique indépendante: l'Agence fédérale de contrôle nucléaire (AFCN)⁵⁸. **Les inspecteurs et experts de l'AFCN disposent d'un accès permanent à toutes les installations nucléaires** et sont habilités à ordonner la fermeture d'une centrale. Ils sont présents sur les principaux sites nucléaires de notre pays (centrales nucléaires, producteurs de produits radiopharmaceutiques, stockage de déchets, réacteurs de recherche et installations médicales) et réalisent **chaque année quelque 50 audits dans nos centrales** (soit environ 1 audit par semaine). L'AFCN ne poursuit qu'un seul objectif: protéger l'homme et l'environnement contre les dangers des radiations ionisantes.

TESTS DE RÉSISTANCE EUROPÉENS: RAPPORT POSITIF POUR LA BELGIQUE

En 2011, quelques jours après l'accident survenu à Fukushima, les autorités européennes et les États membres ont convenus d'organiser des tests de résistance («stress tests») pour toutes les installations nucléaires de l'Union européenne. Ceux-ci visaient à démontrer dans quelle mesure les centrales étaient prêtes à faire face à des phénomènes naturels extrêmes comme les inondations et les tremblements de terre. Les centrales nucléaires de Doel et de Tihange ont été qualifiées de «robustes».

Bien que nos centrales aient satisfait pleinement aux tests de résistance, des points d'amélioration future ont été identifiés pour Doel et Tihange. **Au total, 366 ajustements ont été dès lors réalisés sur les deux sites en cinq ans** (par exemple, le programme d'investissement BEST à hauteur de 200 millions d'euros). En Belgique, les tests de résistance ont été étendus aux autres installations nucléaires.

AMÉLIORER L'IMAGE DE LA FIABILITÉ
DES CENTRALES NUCLÉAIRES

Le décalage entre la perception et la réalité est un problème récurrent bien connu dans les discussions autour de l'énergie nucléaire. Il rend les discussions et les débats difficiles, parfois même caricaturaux. Toutefois, très souvent les opinions publiques souhaitent être sensibilisées aux chiffres, aux faits ainsi qu'aux arguments émanant d'autorités indépendantes. **Les recherches ont démontré que plus le public connaît une technologie, plus son point de vue est nuancé (comprendre «positif»).** Il en va de même s'agissant de la technologie et l'énergie nucléaire. >>

LE DÉCALAGE ENTRE LA
PERCEPTION ET LA RÉALITÉ
EST UN PROBLÈME
RÉCURRENT BIEN CONNU
DANS LES DISCUSSIONS
AUTOUR DE L'ÉNERGIE
NUCLÉAIRE.



MYTHE #5

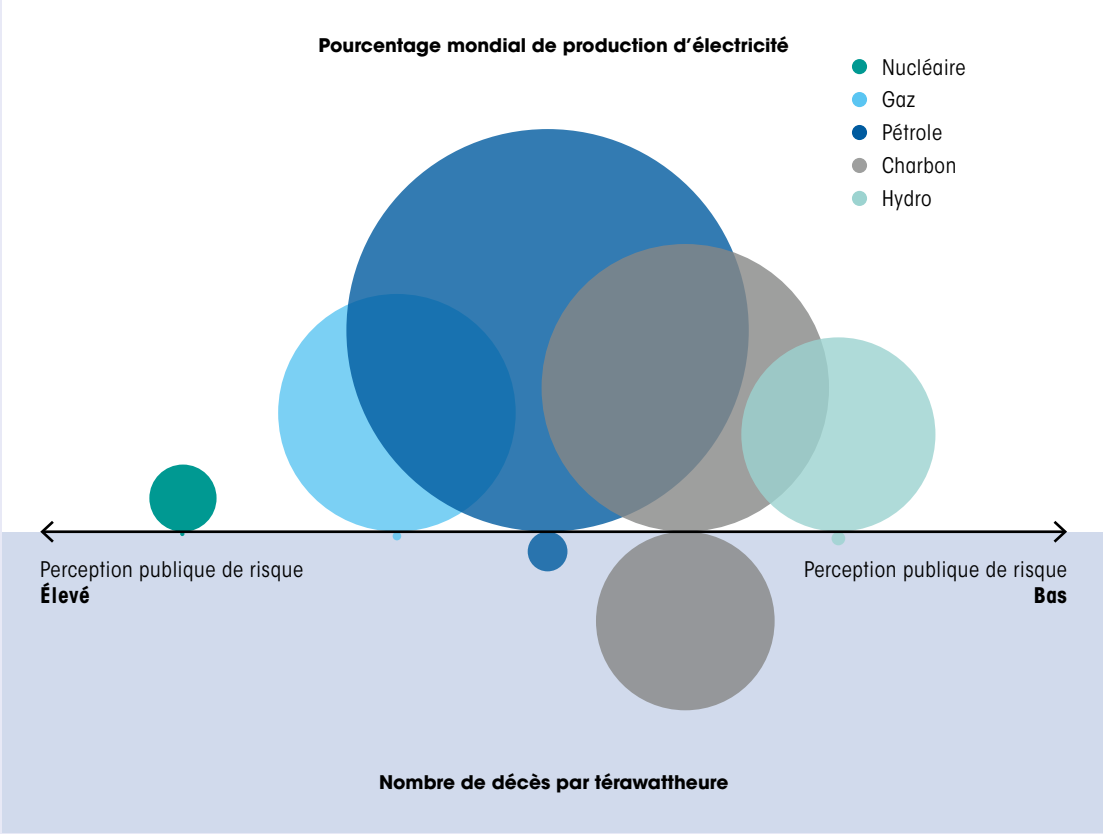
« Les centrales nucléaires ne sont pas sûres »

RÉALITÉ

Les centrales nucléaires sont perçues par certains comme à risque, ce qui ne colle pas avec la réalité des chiffres. Il existe un fossé entre la part des différentes sources d'énergie dans le mix électrique, la perception du nombre de victimes généré par chaque source d'énergie et le nombre réel de victimes (comme le montre clairement le tableau ci-dessous, présenté par Susanne Hertrich).

Les cercles du dessus indiquent l'importance de la source d'énergie. Les cercles situés sous la ligne montrent la nocivité de chaque source d'énergie

(en nombre de vies perdues au total). Le classement de chaque source d'énergie (d'en haut à gauche à en bas à droite) sur la ligne donne la perception de chaque source d'énergie. En d'autres termes, **dans l'esprit de la population, l'énergie nucléaire est la source d'énergie la plus dangereuse, alors que l'énergie hydraulique et les centrales à charbon et à lignite sont les plus dangereuses dans la réalité.** La taille des bulles sous la ligne est en fait la réalité, et indique clairement que **la perception des gens diffère très fortement de la réalité.** ^{59/60} //



SOURCE: SUSANNA HERTRICH ET L'ANEA

MYTHE #6

« Les arrêts inattendus des centrales nucléaires belges au cours de ces dernières années sont la preuve de la dangerosité de cette technologie »

RÉALITÉ

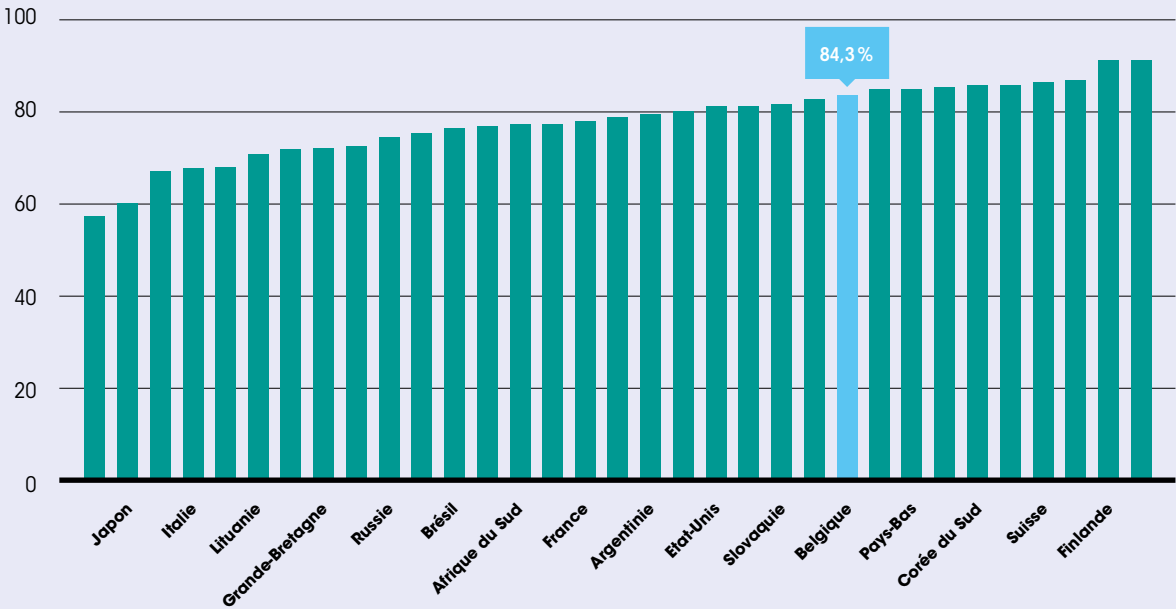
Ces dernières années, les centrales nucléaires belges ont régulièrement fait les gros titres en raison d'arrêts inopinés, dûs notamment à des pannes et aux prétendues « fissures » (bulles d'hydrogène).

Le fait qu'une centrale se coupe automatiquement ne signifie pas qu'elle n'est pas sûre, mais que les paramètres de sécurité sont élevés. De très nombreuses procédures de sûreté ont été élaborées afin d'une part d'empêcher que des erreurs mécaniques ou humaines puissent se produire et d'autre part afin de mettre la centrale à l'arrêt en présence de la moindre anomalie.

Grâce au mécanisme de mise à l'arrêt d'urgence, le système se désactive donc en toute sûreté sans même que les opérateurs (humains) puissent influencer le processus d'arrêt automatique.

De nombreux articles sur les « fissures » des réacteurs nucléaires de Doel 3 et Tihange 2 ont été diffusés dans les médias. En réalité, il s'agit de bulles d'hydrogène incluses dans la matrice métallique au moment de sa fabrication. **Les centrales nucléaires ont été soumises à une étude détaillée et documentée à laquelle aucune autre centrale nucléaire du monde n'a été soumise.**

Disponibilité des centrales nucléaires belges par rapport aux unités nucléaires dans d'autres pays (jusqu'en 2016)
Avec un facteur de capacité moyen de 84,3 %, les centrales nucléaires belges sont dans le top 10 des centrales les plus disponibles (et ce malgré les arrêts prolongés de Doel 3 et Tihange 2).



L'équipe composée de nombreux experts externes renommés du pays et de l'étranger a passé des dizaines de milliers d'heures à examiner les cuves (coeur de la centrale) et a conclu que Doel 3, comme Tihange 2, pouvait redémarrer sans danger. L'Agence fédérale pour le contrôle nucléaire (AFCN) a notamment conclu que la méthode d'inspection par ultrasons était très fiable, que les **bulles** étaient apparues lors de la construction de la cuve de réacteur, que celles-ci n'évoluaient pas au fil du temps et que la résistance de la cuve était garantie en toutes circonstances, tant quand la centrale fonctionne que lors d'un incident, et ce avec de vastes marges de sécurité.

Le graphique ci-contre montre par ailleurs le rapport entre l'énergie produite depuis la mise en service commerciale des unités (jusqu'à la fin 2016) et le total d'énergie productible (= l'output total potentiel hors arrêts prévus et imprévus).

La Belgique est dans le top 10 en matière de disponibilité des installations nucléaires, bien qu'elles aient été peu disponibles au cours des dernières années (à la suite d'un arrêt prolongé de Doel 3 / Tihange 2) durant la période d'étude de la résistance des cuves (bulles d'hydrogène).
//

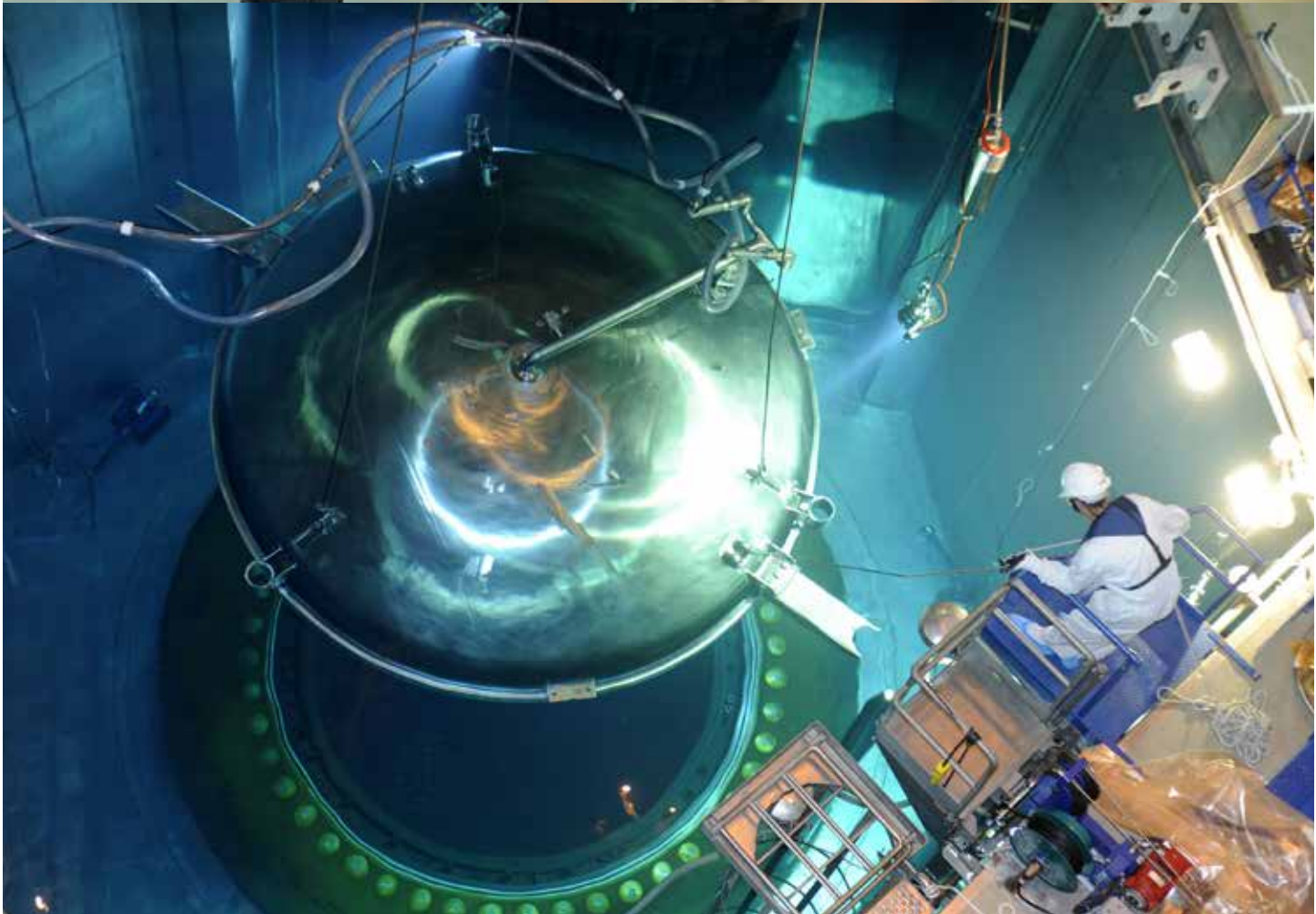
LA SÛRETÉ DE L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE :
LES FAITS, LES CHIFFRES

Les centrales nucléaires font partie des installations industrielles les plus sûres, et peu d'accidents graves sont à dénombrer. Elles ne sont donc pas « dangereuses ». Une étude publiée dans The Lancet a montré que sur la base du nombre d'accidents et de l'incidence en termes de pollution de l'air les centrales nucléaires se classaient parmi les sources d'énergie les plus sûres.⁶¹

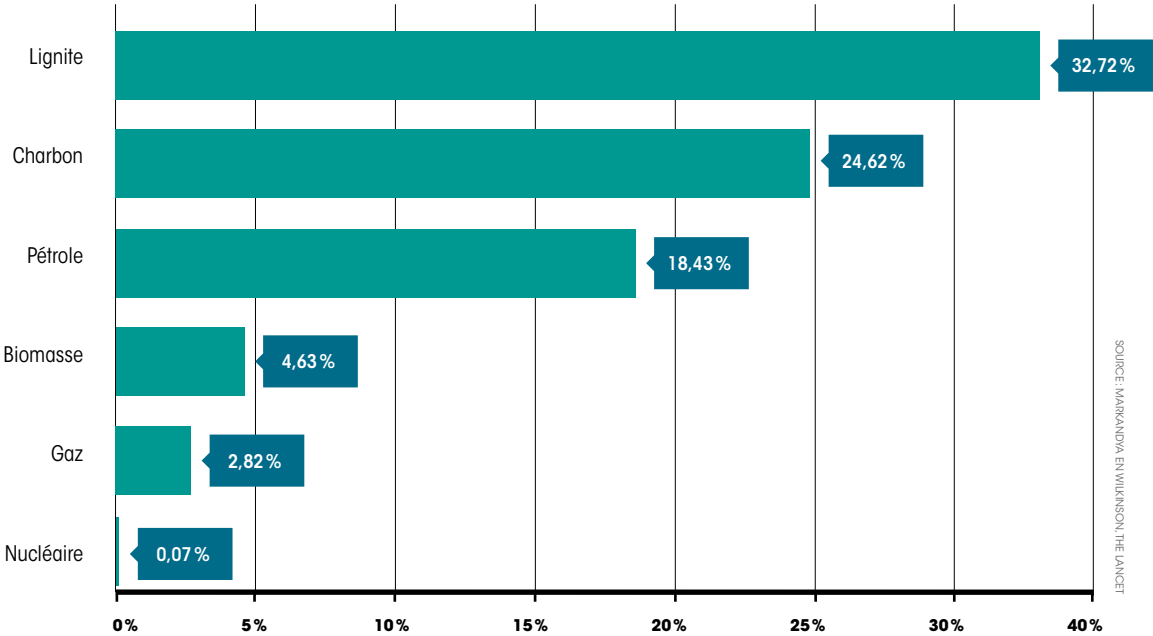
TOLÉRANCE ZÉRO DU SECTEUR
POUR LES ACCIDENTS ET LES INCIDENTS

Bien que le risque d'accident ou d'incident soit très faible, le risque zéro n'existe pas : c'est la réalité de toute activité industrielle et humaine. Ce constat, tout autant qu'une intense culture de sûreté, est profondément ancré dans le secteur nucléaire. Cela implique qu'il lui faut éviter tout accident, et tendre à réduire au minimum, par le biais d'**une autodiscipline absolue**, le nombre d'incidents, d'arrêts inattendus (scrams) et d'arrêts d'urgence.

Le secteur nucléaire belge apporte constamment de nouvelles améliorations. Divers plans d'action visant à améliorer en permanence les installations sont en cours (tant en interne qu'en externe, notamment via le régulateur du secteur, l'AFCN). Chaque année, quelque 50 audits nationaux et internationaux se déroulent dans les centrales nucléaires belges, et les inspecteurs de l'AFCN (et de sa filiale Bel V) ont un accès permanent à l'ensemble des installations nucléaires de notre pays. //



La dangerosité (nombre de décès) des différentes sources d'énergie.





« RIEN NE ME REND PLUS FIÈRE DANS NOTRE SECTEUR QUE LES DÉCHETS NUCLÉAIRES. CAR NOUS SOMMES LA SEULE INDUSTRIE À ASSUMER PLEINEMENT NOS RESPONSABILITÉS. PAR CONSÉQUENT, NOUS SOMMES LE SEUL SECTEUR DANS LEQUEL AUCUN DÉCHET N'EST REJETÉ DANS L'AIR, L'EAU OU LA BIOSPHÈRE. NOUS DONNONS L'EXEMPLE. »

Agneta Rising, directrice générale, World Nuclear Association, Bruxelles, novembre 2017

DÉCHETS NUCLÉAIRES

Une gestion sûre des déchets nucléaires, aujourd’hui, demain et après-demain. Assortie d’une vision à long terme.

LE CONTEXTE, LES DÉFIS

Déchets nucléaires est le terme utilisé pour désigner les matières résiduelles radioactives, qui exigent donc un traitement et un stockage sécurisés. Les déchets nucléaires doivent être gérés d’une manière adaptée, selon leurs différents niveaux de radioactivité.

Lors du démantèlement des installations mises hors service, différents déchets nucléaires sont générés. La majorité des déchets nucléaires provient de l’exploitation des centrales nucléaires. Outre le combustible nucléaire lui-même, d’autres composantes d’une centrale nucléaire sont, elles aussi, radioactives (tuyaux, clapets, filtres...).

D’autres déchets nucléaires proviennent de l’industrie médicale pour le diagnostic et le traitement du cancer (seringues, vêtements...). L’agriculture (stérilisation par irradiation) et l’industrie (par exemple pour les inspections des soudures) utilisent également des matériaux radioactifs, qui s’accompagnent de déchets radioactifs. Même la concentration des substances naturellement radioactives (comme le radium, le thorium et l’uranium) peut générer des déchets faiblement radioactifs.

En Belgique, c’est une institution publique, l’Organisme national des déchets nucléaires et des matières fissiles (ONDRAF), qui gère les déchets nucléaires.

Différentes catégories de déchets nucléaires, répartis en fonction de la durée de vie et de l’activité du rayonnement.

		NIVEAU D’ACTIVITÉ		
		Faible activité	Moyenne activité	Haute activité
Demi-Vie	Courte durée de vie	A	A	C
	Longue durée de vie	B	B	C

- Durée de vie courte et activité faible ou moyenne (par exemple les matériaux de protection, les seringues, les emballages, les déchets issus du démantèlement...)
- Durée de vie longue et activité faible ou moyenne (par exemple composantes des centrales nucléaires, comme les tuyaux et les clapets, les filtres et les résines, certains types de déchets issus de la production de combustibles nucléaires...)
- Haute activité (par exemple les combustibles nucléaires usagés, déchets vitrifiés issus du retraitement de combustibles nucléaires...)

75% de nos déchets nucléaires ont une courte durée de vie (catégorie A). Seul 1% de nos déchets nucléaires sont de haute activité. Les déchets de haute activité constituent 95% de la radiotoxicité totale des déchets nucléaires belges.

Où sont stockés les déchets nucléaires?

Actuellement, **les déchets nucléaires se trouvent sur les sites des centrales nucléaires d'ENGIE Electrabel à Doel et Tihange, et chez Belgoprocess** (filiale industrielle de l'ONDRAF), à Dessel.

Les éléments combustibles des centrales nucléaires constituent la majeure partie des déchets nucléaires de haute activité. Suite à leur utilisation dans le réacteur nucléaire, des éléments combustibles restent d'abord sous l'eau dans les plateformes du bâtiment du réacteur. Ils sont ensuite provisoirement stockés dans des bâtiments prévus à cet effet sur les sites des centrales nucléaires. À Doel, les combustibles usagés se trouvent dans des conteneurs en acier qui sont refroidis par de l'air (stockage sec). À Tihange, le combustible usagé est stocké sous l'eau dans un bâtiment prévu à cet effet (stockage humide).

Belgoprocess, filiale de l'ONDRAF, gère, à Dessel, le traitement et le stockage provisoire des déchets de faible ou moyenne activité, principalement, qui ne se trouvent pas sur les sites des centrales nucléaires.

On estime actuellement que pour 100 ans d'activité nucléaire en Belgique, **il y aura quelque 70 000 m³ de déchets de faible activité, 11 000 m³ de déchets d'activité moyenne et 4 500 m³ de déchets de haute activité.** Ces chiffres peuvent encore légèrement changer en fonction des activités nucléaires à venir.

Les 4 500 m³ de déchets de haute activité proviennent principalement de la production électrique. Considérant une population de 10 millions de Belges et une production électrique nucléaire active depuis 40 années, nous arrivons à une moyenne d'environ **1 centilitre de déchets nucléaires de haute activité par Belge par an.** Si vous vivez jusqu'à 100 ans, vous aurez indirectement produit, au cours de votre vie, environ trois cannettes de déchets nucléaires de haute activité (pour le mix électrique actuel, qui comprend 60% d'électricité issue du nucléaire).

Le bâtiment actuel du site de Belgoprocess à Dessel abritant les déchets de catégorie A.



SOURCE : BELGOPROCESS

LES RÉPONSES

Qu'advient-il, à long terme, des déchets nucléaires ?

Les **déchets de faible activité (catégorie A)** seront définitivement stockés sur le site de Belgoprocess à Dessel. Afin de stocker les déchets de manière sûre, ils seront enfermés dans 26 000 monolithes de béton, dans un bâtiment spécialement conçu à cet effet, entouré de plusieurs barrières de sécurité qui inhibent la radioactivité. Les déchets seront surveillés pendant 300 ans. Ensuite le programme d'inspection s'arrêtera et les déchets seront traités comme des déchets traditionnels car leur niveau d'activité sera redevenu inférieur au niveau de la radioactivité naturelle. Les travaux préparatoires du projet pour la catégorie A ont débuté. À partir de 2023, 1 000 monolithes seront produits chaque année.

Pour **les déchets de moyenne et de haute activité**, l'enfouissement profond dans l'argile est étudié. La couche d'argile qui entoure les déchets formera une barrière naturelle, qui enfermera hermétiquement les déchets et protégera les hommes et la nature dans le cas où les diverses barrières technologiques seraient défaillantes. Depuis déjà 30 ans, la recherche relative à l'enfouissement souterrain est menée par le SCK•CEN à Mol. Dans la couche d'argile de Boom, à 225 mètres de profondeur, se trouve le laboratoire de recherche HADES, exploité par le SCK•CEN et l'ONDRAF. Les scientifiques y testent entre autres le comportement de l'argile pour le stockage sécurisé des déchets nucléaires de haute activité.

Une perspective à long terme sûre pour tous les types de déchets nucléaires. Une décision et un consensus politique sur les déchets de haute activité à longue durée de vie.

Les déchets de haute activité et/ou à longue durée de vie doivent être isolés de l'environnement. **L'ONDRAF propose d'enfouir les déchets profondément sous terre, dans une composition du sol qui est stable depuis des millions d'années.** Cette proposition de politique est fondée sur les recommandations internationales, et a été présentée en février 2018 par l'ONDRAF et son ministre de tutelle. L'AFCN convient que l'enfouissement souterrain est la seule option sûre. Pour pouvoir mettre en œuvre cette solution, il faut disposer d'un processus de prise de décision prudent et progressif.

Le secteur nucléaire est le seul qui puisse garantir que 100% des déchets sont connus, inventoriés, et stockés. Contrairement aux autres formes de déchets industriels, ou aux émissions de CO₂ dans l'atmosphère dues à la production d'électricité et d'autres formes d'énergie, l'industrie nucléaire prend ses responsabilités et ne renvoie pas ses déchets dans la biosphère. C'est en cela que le secteur nucléaire se distingue de tous les autres secteurs industriels. Le coût total des déchets (traitement et stockage) est payé par l'exploitant. Des provisions sont progressivement établies à cette fin.

En outre, contrairement par exemple aux métaux lourds abandonnés dans la nature, les matériaux radioactifs (déchets) ont la propriété unique de voir leur activité diminuer avec le temps. Autrement dit, une fois que les matériaux radioactifs ont été protégés assez longtemps de l'homme et de l'environnement, par un processus naturel, leur toxicité se réduit progressivement jusqu'à devenir négligeable. La demi-vie des matériaux radioactifs varie de quelques microsecondes à des dizaines d'années. Pour une toute petite partie des déchets radioactifs, la demi-vie est très longue, et peut s'étendre sur quelques dizaines de milliers d'années. >>

L'INDUSTRIE NUCLÉAIRE PREND SES RESPONSABILITÉS ET NE RENVOIE PAS SES DÉCHETS DANS LA BIOSPHÈRE.

MYTHE #7

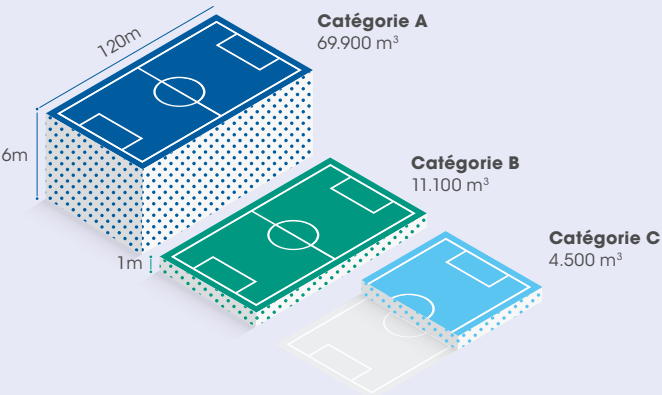
Poursuivre avec l'énergie nucléaire au-delà de 2025 impose à la génération suivante une quantité gigantesque de déchets nucléaires.

RÉALITÉ

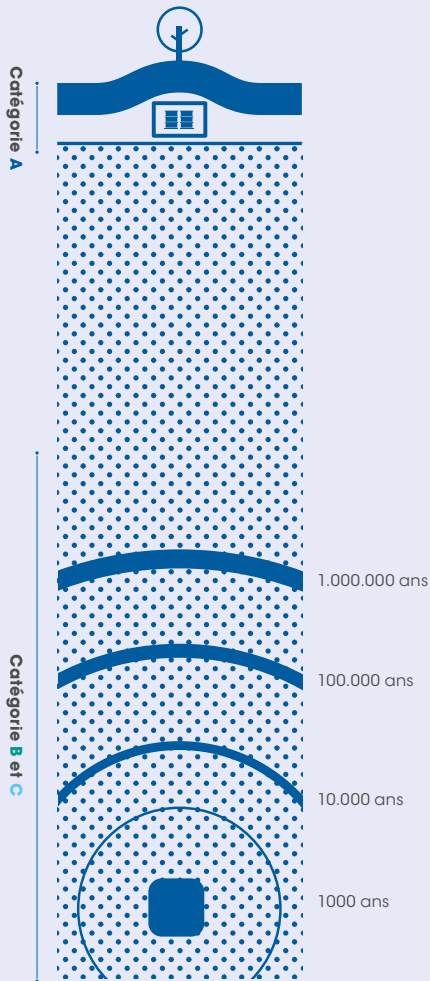
Dans le cas d'une prolongation des centrales nucléaires au-delà de 2025, les volumes de déchets radioactifs n'augmenteront pas sensiblement. Le plus grand volume de déchets de haute activité généré par la production d'électricité provient en effet des centrales nucléaires mêmes (ou de leur démantèlement). **Le volume de déchets généré par dix années de vie supplémentaires des centrales nucléaires belges est minime.**



Le volume total des déchets nucléaires en Belgique sur une période de 100 ans.



- A** Matériel venant des centrales nucléaires, des hôpitaux,... comme le matériel de protection, des filtres, des emballages, des aiguilles de seringues, des gants, etc.
- B** Les déchets de la production du combustible nucléaire, des centres de recherche, des universités, des réacteurs de recherche, du démantèlement des centrales nucléaires.
- C** Le combustible nucléaire utilisé.



SOURCE: INBES EN NUCLÉAIRE/ONIR/IRB

Un soutien constant de la recherche relative aux nouvelles technologies

Lorsque la Belgique, à l'instar de dizaines d'autres pays à partir des années 1970, a décidé d'utiliser la technologie nucléaire pour produire de l'électricité, il était évident depuis le début que de la matière fissile (radioactive) subsisterait après l'arrêt des installations. En d'autres termes, la question des déchets s'est posée depuis toujours dans le secteur nucléaire.

En 2018, des étapes importantes ont été franchies pour trouver des solutions définitives. **Certains pays, comme la Finlande et la Suède, ont pris une décision et opté pour l'enfouissement géologique immédiat des combustibles usés.** D'autres, comme les Pays-Bas, choisissent le dépôt de surface en attendant une autre solution, qui reste à développer. **Grâce à l'installation MYRRHA, la Belgique disposera d'une infrastructure de recherche révolutionnaire,** qui contribuera à apporter des solutions originales pour la gestion des déchets nucléaires. MYRRHA, le premier prototype de réacteur de

recherche piloté par un accélérateur de particules, pourra effectuer des **transmutations. Cela devrait permettre de réduire par un facteur 1000 la durée de vie des déchets radioactifs ayant une longue durée de vie (donc 300 ans au lieu de 300 000 ans), et de réduire également par un facteur 100 le volume de déchets de haute activité à longue durée de vie.**

La recherche révolutionnaire menée avec MYRRHA est une étape importante, mais n'est qu'un début. La recherche visant à trouver des solutions plus durables pour les déchets de haute activité à longue durée de vie doit être approfondie, et continuer de se développer. La Belgique peut continuer de jouer dans ce domaine un rôle de pionner. Même dans le cas d'une éventuelle sortie du nucléaire, ces déchets radioactifs restent une réalité concrète, pour laquelle il convient de trouver de nouvelles solutions. Le secteur nucléaire prend toutes ses responsabilités et prend lui-même des initiatives afin de mettre en oeuvre des solutions pérennes. //

MÊME DANS LE CAS D'UNE ÉVENTUELLE SORTIE DU NUCLÉAIRE, CES DÉCHETS RADIOACTIFS RESTENT UNE RÉALITÉ CONCRÈTE, POUR LAQUELLE IL CONVIENT DE TROUVER DE NOUVELLES SOLUTIONS. LE SECTEUR NUCLÉAIRE PREND TOUTES SES RESPONSABILITÉS ET PREND LUI-MÊME DES INITIATIVES AFIN DE METTRE EN OEUVRE DES SOLUTIONS.



« J'AI UN JOUR REÇU UN APPEL DE LA MAISON-BLANCHE, À UNE ÉPOQUE OÙ LE RÉACTEUR DE RECHERCHE CANADIEN N'ÉTAIT PAS À MÊME DE PRODUIRE ET DE FOURNIR DES ISOTOPES MÉDICAUX POUR LE MARCHÉ AMÉRICAIN. ILS M'ONT DIT : HOWARD, ON A BESOIN DE VOUS. ALLEZ VOIR LE SCK • CEN ET DITES-LEUR QU'ON A BESOIN DE LEURS ISOTOPES MÉDICAUX. »

Howard Gutman, ancien ambassadeur des Etats-Unis en Belgique, 2012

MÉDECINE NUCLEAIRE

La médecine nucléaire, un secteur en pleine évolution. Les acteurs nucléaires belges sont à l'avant-garde.

LE CONTEXTE, LES DÉFIS

Le cancer, l'un des principaux défis du XXI^e siècle

Le cancer constitue l'un des principaux défis du XXI^e siècle. Ces dernières années, de grandes avancées ont été réalisées, tant au niveau de la rapidité du diagnostic que de l'efficacité du traitement et de la guérison, mais il reste d'importants défis à relever.⁶¹

Chaque année, quelque 14 millions de nouveaux cas sont recensés, 7,4 millions de personnes décèdent des suites d'un cancer, et ces chiffres ne font qu'augmenter.⁶² **Le cancer est l'une des principales causes de décès à travers le monde.** Environ une personne sur six meurt actuellement des suites d'un cancer.⁶³

L'Organisation mondiale de la santé estime que **le nombre de cas de cancer va augmenter de 70% dans les vingt prochaines années** (passant à 22 millions). En Belgique, quelque 70 000 nouveaux cas

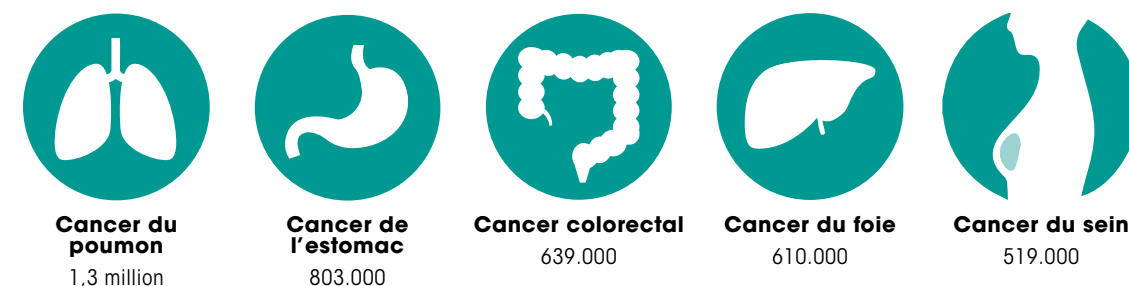
sont confirmés chaque année, ce qui correspond à entre 175 et 200 cas par jour. Les cancers de la prostate, du poumon et du sein sont les cancers les plus courants en Belgique.⁶⁴ Dans de nombreux cas, le diagnostic et le traitement arrivent trop tard. **Établir un diagnostic précoce est essentiel, en termes de qualité de vie du patient, et en termes de coût pour la société.**^{65/66}

L'un des facteurs ayant permis l'amélioration des traitements et de la qualité de vie pour les patients est la médecine personnalisée. Un traitement adapté au patient et ciblant les cellules nuisibles permet à la médecine personnalisée de remporter des victoires dans le monde médical. **La médecine nucléaire joue un rôle crucial et toujours plus important dans la pose d'un diagnostic et le traitement de nombreuses maladies, dont le cancer.**

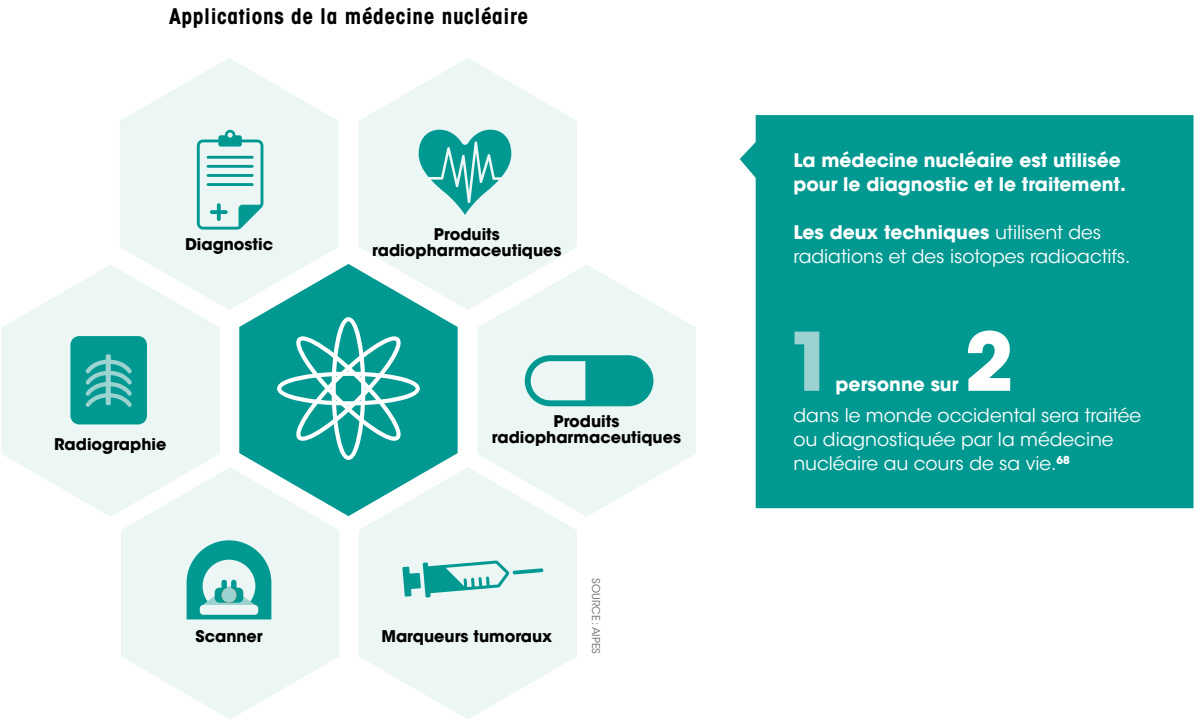


Le cancer est responsable de 7,4 millions de décès dans le monde entier
C'est la principale cause de décès, représentant environ 13% de tous les décès

Différents types et décès correspondants



SOURCE: CANCER.ORG



La médecine nucléaire, un secteur en pleine évolution

Les applications médicales de la technologie nucléaire sont utilisées partout dans le monde. Chaque année, 30 millions de personnes sont diagnostiquées ou traitées grâce à la médecine nucléaire, pour 60 maladies différentes. Et ces chiffres ne cessent d’augmenter. Une personne sur deux en Occident aura, au cours de sa vie, recours à la médecine nucléaire.

Ces applications médicales sauvent des vies. Elles sont aujourd’hui utilisées dans la lutte contre le cancer, mais également en cardiologie, en neurologie, en pneumologie et en pédiatrie, entre autres. La radiothérapie permet d’irradier les tumeurs profondes en minimisant les impacts sur les tissus sains. Les cellules malignes peuvent ainsi être détruites grâce aux rayons ionisants provenant d’une source externe ou interne. Les doses sont administrées et calculées de telle sorte que l’irradiation se limite à la tumeur et que les cellules saines alentour soient touchées le moins possible.

L’utilisation de la technologie nucléaire en médecine est en plein essor, et est aujourd’hui appliquée à la plupart des organes du corps humain. Les perspectives pour notre santé sont prometteuses.

LES RÉPONSES

Soutenir et utiliser davantage le savoir-faire belge en matière de médecine nucléaire

Les acteurs belges comme le Centre d’étude de l’énergie nucléaire (SCK•CEN), l’IRE ou IBA sont des maillons indispensables de la chaîne de production des radio-isotopes médicaux. Un hôpital sur trois dans le monde ayant un département de médecine nucléaire utilise le savoir-faire ou des appareils belges. **La médecine nucléaire est le domaine qui connaît la plus forte croissance dans le secteur nucléaire belge et est très prometteur.**

Des investissements ponctuels peuvent permettre à la Belgique d’asseoir son rôle de leader mondial dans le domaine. Le secteur de la médecine nucléaire en Belgique emploie 4 700 personnes (dont 2 600 emplois directs et 2 100 emplois indirects)⁶⁷. Ces emplois, souvent occupés par des personnes hautement qualifiées et à forte valeur ajoutée, sont essentiels pour la médecine nucléaire aujourd’hui et demain.

Reconnaître pleinement la plus-value économique des exportations belges

Les isotopes médicaux du SCK•CEN et de l’IRE et les cyclotrons d’IBA sont des produits d’exportations importants pour la Belgique. **La Belgique dispose d’une expertise et d’une connaissance de toute la chaîne de valeur de la médecine nucléaire.** C’est un atout indéniable lorsqu’il s’agit d’utiliser les propriétés des radiations dans les soins de santé.

LES CHIFFRES QUI CONFIRMENT

La Belgique est l’un des acteurs les plus importants au plan international pour la production d’isotopes médicaux, le radiopharmaceutique, et l’équipement destiné à la médecine nucléaire (cyclotrons et caméras).

- Notre pays est **le deuxième plus grand producteur de molybdène-99** (99Mo), l’isotope médical le plus couramment utilisé. Le 99Mo est produit dans le réacteur BR2 du Centre d’étude de l’énergie nucléaire situé à Mol, l’un de cinq principaux réacteurs de recherche dans le monde capable de le fournir.
- L’Institut des radioéléments de Fleurus est l’un des cinq centres mondiaux capables de modifier, traiter et préparer le 99Mo afin qu’il puisse être utilisé pour les patients. L’IRE couvre à peu près la moitié de la demande européenne de molybdène-99. **Chaque année, dans le monde, 6 millions d’examens** utilisent des radio-isotopes produits par l’IRE.
- Outre la production de radio-isotopes destinés à l’imagerie médicale, l’IRE développe, au travers de sa filiale IRE ELIT (Environnement & Lifescience Technology), des **produits radiopharmaceutiques** qui peuvent être directement administrés aux patients.
- IBA , à Louvain-la-Neuve, est le **leader mondial en protonthérapie, en solutions radiopharmaceutiques et en dosimétrie**. IBA se spécialise dans la production d’appareils permettant de diagnostiquer et traiter le cancer, et est numéro un mondial en matière de technologie de protonthérapie, la technique de radiothérapie la plus pointue qui existe à ce jour. IBA se spécialise également dans les accélérateurs de particules pour des applications médicales ou industrielles et dans le développement d’appareils de dosimétrie (pour mesurer la dose d’irradiation).

- **De nombreuses autres institutions de recherche et de santé, entreprises, organisations, ainsi que des hôpitaux universitaires** sont actifs dans le secteur de la santé nucléaire.
- La radioactivité des radio-isotopes diminue très rapidement. Le temps nécessaire pour que la moitié de la radioactivité disparaisse s’appelle la demi-vie. Et celle-ci peut varier de quelques heures à plusieurs jours. Le molybdène-99 a par exemple une demi-vie de 66 heures, alors que le technetium-99 a déjà perdu la moitié de sa radioactivité au bout de six heures. Le transport des radio-isotopes est donc une question d’heures. Pour conserver toutes les propriétés des radio-isotopes médicaux, il est absolument nécessaire de les acheminer à leur utilisateur le plus rapidement possible. La société belge Isotopes Services International (ISI), implantée à Malines, est spécialisée dans le transport rapide des radio-isotopes et produits de radiopharmaceutiques. //

CHAQUE ANNÉE, 30 MILLIONS DE PERSONNES SONT DIAGNOSTIQUÉES OU TRAITÉES GRÂCE À LA MÉDECINE NUCLÉAIRE, POUR 60 MALADIES DIFFÉRENTES.



« LE CENTRE BELGE DE RECHERCHE NUCLÉAIRE CONDUIT DES TRAVAUX TRÈS IMPORTANTS ET IMPRESSIONNANTS »

Yukiya Amano, directeur général de l'AIEA⁴⁹



SAVOIR-FAIRE ET EMPLOI

La Belgique pionnière. Formation, expertise et savoir-faire nucléaires: moteurs pour l'emploi et plateforme pour l'innovation et le progrès.

LE MAINTIEN ET LE DÉVELOPPEMENT DU SAVOIR-FAIRE ET DE LA FORMATION NUCLÉAIRE DE MANIÈRE TRANSVERSALE

En Belgique, diverses organisations diffusent le savoir-faire nucléaire et en sont une illustration. La SCK•CEN Academy propose une large gamme de formations. L'année dernière pas moins de 1 300 étudiants et experts ont participé à un programme de formation au SCK•CEN. Quelque 100 étudiants bacheliers ou de master ont mené leur travail de fin d'étude au sein des laboratoires et 24 doctorants ont été sélectionnés afin d'entamer leur projet de recherche à Mol. Chaque année, grâce au Nuclear Track d'ENGIE, des dizaines de jeunes ingénieurs ont obtenu un emploi dans le secteur nucléaire belge via une formation.

Ces dernières années, la Belgique a consolidé une compétence unique dans les différentes applications de la technologie, de la science et de l'industrie nucléaire. Si l'on ne développe pas plus avant ces compétences et ce savoir-faire, nous perdrons toutes les connaissances industrielles, scientifiques et techniques, et par là même, la réputation internationale que notre pays a acquise.

Ces compétences nucléaires doivent être préservées et leur développement poursuivi. Au niveau international, la Belgique est perçue comme un acteur majeur du nucléaire. Perdre ces compétences entraînerait, outre la perte concrète de milliers d'emplois, la perte de cette perception, dont la Belgique souffrirait sur la scène internationale. Nous ne pouvons pas céder notre place de leader.

SAVOIR-FAIRE ET EXPERTISE BELGES : UNE RÉALITÉ

La Belgique est perçue, à juste titre, comme pionnière dans les différents domaines de la technologie nucléaire. Notre pays dispose d'une extraordinaire expertise nucléaire, et jouit d'une reconnaissance mondiale dans le domaine. En témoigne le prix Nobel de physique qui a été décerné en 2013 au professeur belge François Englert pour sa recherche sur le boson de Brout-Englert-Higgs.

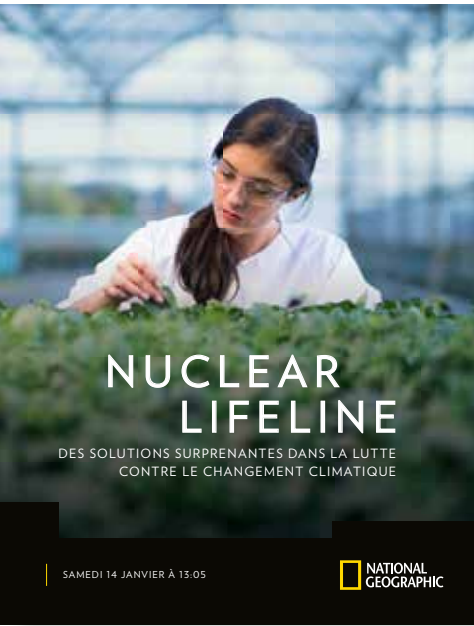
Notre pays a acquis une expertise hors du commun dans le domaine de l'énergie, notamment s'agissant de l'exploitation de réacteurs. Nous sommes également les plus grands producteurs de radio-isotopes médicaux. **Grâce à son expertise reconnue, la Belgique exporte son savoir-faire aux quatre coins du monde :** pas seulement dans des pays disposant déjà de centrales nucléaires ou d'autres applications de la technologie nucléaire, mais également dans des pays qui ont décidé de développer un programme nucléaire.

En 2016, National Geographic a consacré deux documentaires à l'expertise belge en matière de nucléaire, qui évoquent les nombreux domaines dans lesquels la Belgique est pionnière.

Notre pays excelle également dans la médecine nucléaire, et continue à développer de nouvelles compétences. Qu'il s'agisse de protonthérapie, de radiologie classique, ou des progrès en matière de médecine personnalisée, notre pays joue son rôle de pionnier. **Pour conserver ce leadership, nous devons à tout prix préserver et continuer à développer ces connaissances.**

« Une fois perdus, l'expertise et le savoir-faire ne reviendront pas.
La perte de compétence est définitive. »

Yves Desbazeille, directeur général de FORATOM

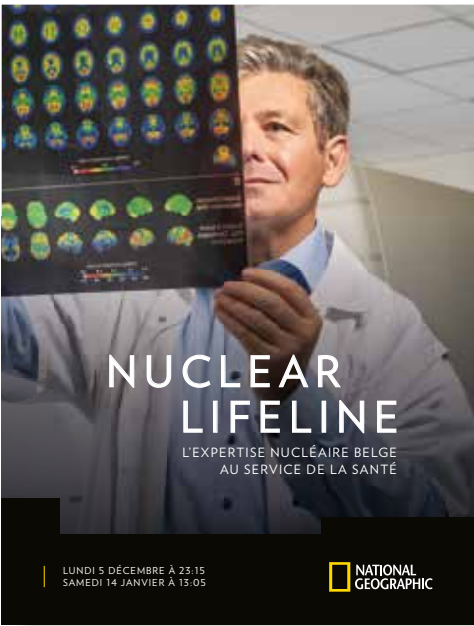


LA SURVIE DE LA BELGIQUE COMME HUB DE CONNAISSANCE NUCLÉAIRE EST MENACÉE

Une sortie du nucléaire en 2025 peut faire perdre à la Belgique sa réputation et sa visibilité internationale en tant qu’acteur du nucléaire. Au sein de nos frontières aussi, une éventuelle sortie du nucléaire aurait un impact négatif.

Nous pourrions notamment perdre **les connaissances et le savoir-faire nucléaire qui sont ancrés dans notre pays grâce aux centaines d’ingénieurs et de scientifiques** qui travaillent dans le domaine de la technologie. Il est fort probable qu’une sortie du nucléaire aura un **impact négatif** sur l’intérêt des jeunes ingénieurs dans le secteur nucléaire. Notre indépendance nationale en matière de recherche nucléaire et de décisions relatives au nucléaire disparaîtra. Concrètement, cela signifie que nous deviendrons dépendants des autres pays qui développent plus avant ces compétences.

L’indépendance que connaît actuellement notre pays (notamment grâce à la présence d’un centre et de réacteurs de recherche) constitue un atout indéniable. Qui plus est, puisque la Belgique dispose déjà de toutes ces compétences (en recherche, exploitation d’une centrale nucléaire, applications médicales...), nous faisons partie des pays pouvant exporter ces connaissances. **Cette indépendance en termes de connaissances doit rester garantie, et cette expertise belge unique ne doit pas seulement être conservée, mais également être approfondie.**



MYRRHA : LE PORTE-DRAPEAU D’UNE NOUVELLE GÉNÉRATION DE RECHERCHE NUCLÉAIRE, DE SAVOIR-FAIRE ET D’INNOVATION

L’infrastructure de recherche MYRRHA est le premier prototype mondial de réacteur nucléaire piloté par un accélérateur de particules. Particularité : en tant que source externe de neutrons, c’est cet accélérateur de particules qui maintient la réaction en chaîne de la fission nucléaire. Il s’agit d’un réacteur sous-critique : le cœur ne contient pas assez de substance combustible pour entretenir spontanément la réaction en chaîne.

Outre sa mission en tant qu’infrastructure de recherche, MYRRHA pourra reprendre complètement la mission du BR2 de centre de production de radio-isotopes pour le marché mondial. La production d’isotopes médicaux est une activité secondaire des réacteurs de recherche. Considérant la situation précaire du marché mondial des isotopes médicaux (en conditions normales, ils sont produits grâce à huit réacteurs), la future installation d’irradiation MYRRHA est essentielle.

La Commission européenne a inscrit MYRRHA sur la liste des grands projets de recherche les plus importants d’Europe. Le gouvernement belge a reconnu l’intérêt de ce projet de recherche unique et doit maintenant se prononcer sur la phase de construction.

EMPLOIS BELGES DANS LE SECTEUR NUCLÉAIRE : LES CHIFFRES

Le secteur nucléaire en Belgique emploie 20 361 personnes ; via des emplois directs, indirects et induits. Cela représente l’équivalent de **20 361 équivalents temps plein**. Cela signifie aussi que le total réel de travailleurs au sein et autour d’une centrale nucléaire, dans la médecine nucléaire, dans la recherche et le développement et dans les applications industrielles de la technologie nucléaire est encore supérieur. La seule étude précise portant sur l’emploi dans le secteur du nucléaire a été réalisée par PwC en 2012⁷⁰. Il n’existe pas de chiffres plus récents.

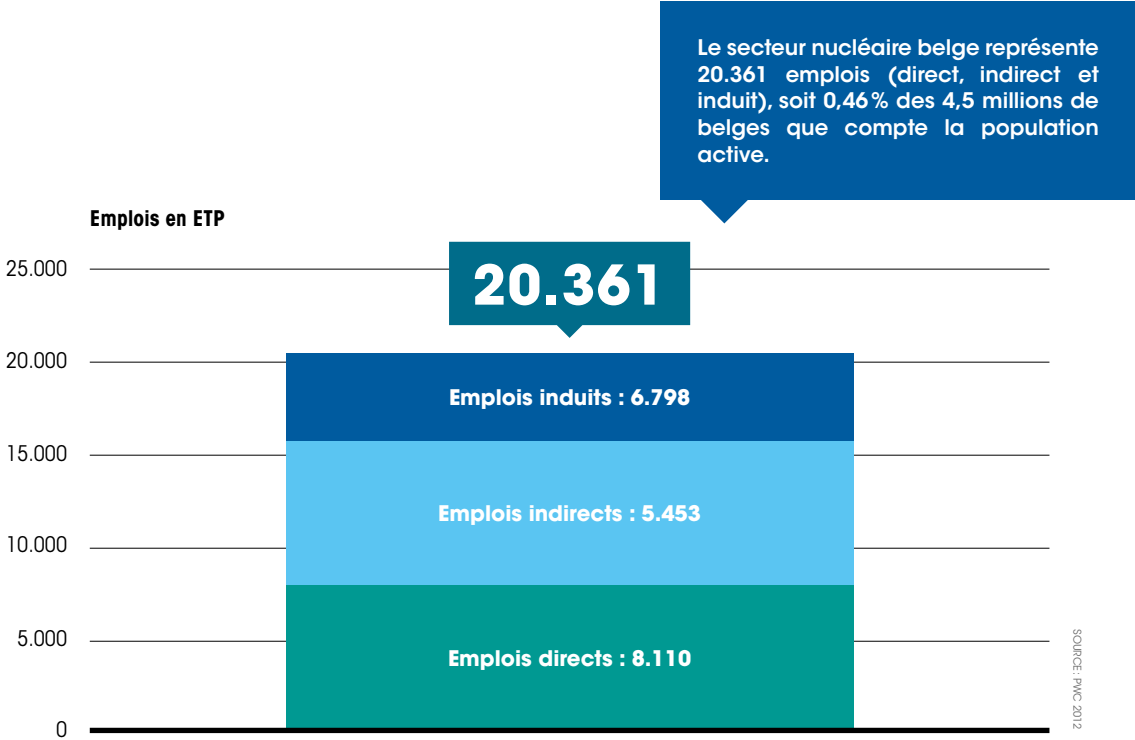
Par **emploi direct** on entend les personnes qui travaillent dans le secteur nucléaire. Cela représente 8 110 emplois équivalents temps plein. Les acteurs directs sont les acteurs spécialisés dans le nucléaire :

- Ils proposent des produits ou des services aux grands utilisateurs du secteur.
- Ils disposent de filiales spécialisées dans le nucléaire.
- La majeure partie de leur chiffre d’affaires provient du nucléaire.

Les **emplois indirects** concernent les personnes qui travaillent pour les fournisseurs du secteur nucléaire (biens et services). En Belgique, cela représente 5 453 emplois (équivalents temps plein). Les emplois indirects sont calculés sur la base de tableaux entrées-sorties du Bureau fédéral du Plan.

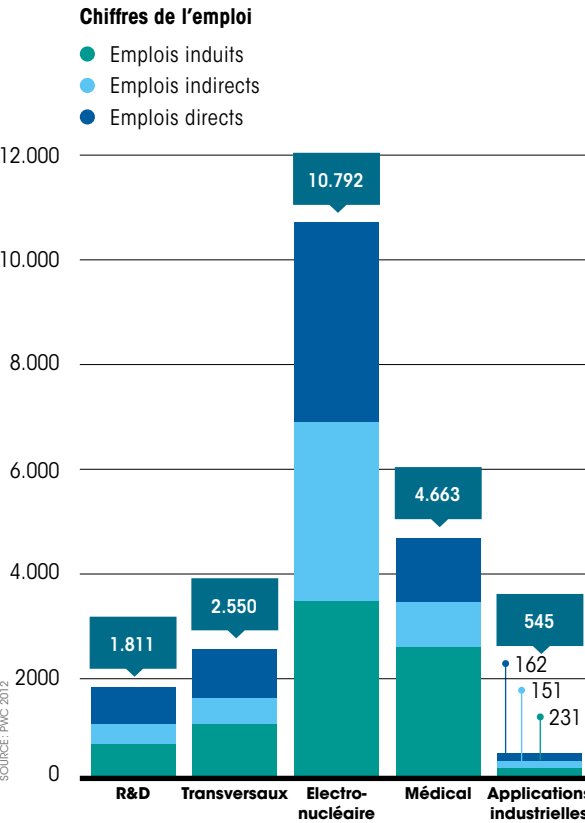
Les **emplois induits** sont les emplois générés par les dépenses des ménages qui travaillent directement ou indirectement dans le secteur nucléaire. Cela représente 6 798 emplois équivalents temps plein. Les emplois induits sont calculés sur la base des répercussions entraînées par les dépenses des ménages dans l’économie à la suite des effets directs et indirects de l’activité économique.

Les 20 361 emplois équivalents temps plein du secteur nucléaire belge représentent au total 0,46% de l’emploi total en Belgique (4,5 millions en 2009).



LE SECTEUR DE LA PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ
NUCLÉAIRE REPRÉSENTE 1 EMPLOI SUR 2
DANS LE SECTEUR NUCLÉAIRE

Le secteur nucléaire en Belgique se compose de différents acteurs, qui se répartissent en cinq groupes distincts. **La filière électronucléaire est, en termes d'emplois, le domaine le plus important** : il représente plus de la moitié des emplois du secteur. **La filière médicale arrive en deuxième position** : elle fournit environ un quart des emplois du secteur. Les trois autres filières (acteurs transversaux, recherche & développement et applications industrielles) comptent ensemble un peu moins de 25% des emplois du secteur :



LE MAINTIEN D'UNE DIVERSITÉ DE L'EMPLOI

La fermeture de centrales nucléaires serait néfaste pour l'emploi dans le secteur nucléaire belge, mais également pour les compétences et le savoir-faire nucléaires généraux dont nous disposons en Belgique. Tant pour les employés et leurs familles, d'un point de vue personnel que pour l'ensemble de l'emploi en Belgique. Tant pour les ingénieurs, les physiciens et les docteurs en physique nucléaire, experts de haut niveau, que pour le personnel technique qualifié. Tant

pour les emplois locaux (directs, indirects et induits) que pour les emplois qui ne sont pas locaux (de nombreux employés des installations nucléaires dans notre pays, principalement les profils hautement qualifiés, effectuent des déplacements dans d'autres pays afin de transmettre et de diffuser le savoir-faire nucléaire).

En cas de sortie du nucléaire (différents scénarios sont possibles), l'exploitant prévoit que les centrales nucléaires essuieront les pertes suivantes, en termes d'emploi⁷¹ :

- Si l'on procède à une sortie du nucléaire complète en 2025, cela pourrait entraîner la perte de 7 000 emplois (les sept prochaines années)
- Si l'on maintient 2 000 MW (l'équivalent de deux centrales nucléaires) pendant dix années supplémentaires (prolongation d'exploitation jusqu'en 2035), cela permettra de conserver quelque 2 000 emplois pendant les dix prochaines années.
- Si l'on maintient 2 000 MW (l'équivalent de deux centrales nucléaires) pendant 20 années supplémentaires (prolongation d'exploitation jusqu'en 2045), ce sont quelque 2 000 à 3 000 emplois qui seront préservés pendant les 20 prochaines années.
- Si l'on maintient 3 000 MW (l'équivalent de trois centrales nucléaires) pendant dix années supplémentaires (LTO jusqu'en 2035), cela permettra de conserver quelque 3 200 emplois pendant les dix prochaines années
- Si l'on maintient 3 000 MW (l'équivalent de trois centrales nucléaires) pendant 20 années supplémentaires (LTO jusqu'en 2035), cela permettra de conserver quelque 3 500 emplois pendant les 20 prochaines années.
- Dans le cas d'une sortie progressive (6 GW > 4 GW > 2 GW) à partir de 2025, quelque 3 000 à 4 700 emplois seront préservés pendant les 20 prochaines années.
- Dans le cas d'une sortie progressive (6 GW > 4 GW > 2 GW) à partir de 2035, quelque 5 000 emplois seront préservés pendant les 30 prochaines années.

Conclusion: tous les scénarios de maintien des centrales nucléaires ont pour résultat davantage d'emplois que les scénarios prévoyant l'absence ou la réduction de l'énergie nucléaire. En outre, maintenir la prolongation d'exploitation supplémentaires génère des centaines d'emplois supplémentaires pendant quatre années (grâce aux investissements supplémentaires liés à la poursuite de l'exploitation en toute sûreté). >>

MYTHE #8

«L'impact de la perte d'emploi dans le secteur nucléaire sera limité. Car il faut tenir compte des emplois nécessaires pendant les années de démantèlement, et tôt ou tard, ces emplois disparaîtront, et seront compensés par la création d'emplois dans le secteur des énergies renouvelables et les nouvelles centrales au gaz»

En cas de sortie du nucléaire, la perte d'emplois dans le secteur nucléaire sera inévitable et irréversible. Une étude menée par le Bureau fédéral du Plan estime que quelque 30 personnes gèreront les centrales au gaz, après construction.⁷² Pendant la construction, la nouvelle centrale STEG donnera du travail à 1 900 personnes (de manière directe et indirecte). Cela vaut également pour les nouvelles éoliennes : lors de la construction, elles créeront des emplois (temporaires) et très peu pendant leur période d'exploitation.

Le cycle de démantèlement des centrales nucléaires suivra la même logique ; des emplois seront encore garantis pendant cette phase, mais ils concerneront moins de personnes et, surtout, des profils différents. Il y a fort à parier que les ingénieurs et les physiciens nucléaires les plus qualifiés iront chercher un emploi dans un autre pays, dans lequel les compétences nucléaires sont valorisées et l'activité nucléaire développée. Ces personnes

hautement qualifiées occupent des emplois ayant une forte valeur ajoutée. **Nous devons nous efforcer de conserver ces compétences dans notre pays, ce qu'une sortie du nucléaire rend impossible.**

COMPARAISON DE DEUX SCÉNARIOS

Si l'on compare concrètement deux scénarios (1. sortie complète progressive du nucléaire grâce à 9 nouvelles centrales au gaz et 2. maintien de 2 GW d'énergie nucléaire avec 5 nouvelles centrales au gaz), on voit que moins d'emplois (directs et indirects) sont nécessaires dans un scénario de conservation de l'énergie nucléaire pour ce qui concerne la phase (courte) de construction, mais que davantage d'emplois sont créés pendant la phase d'exploitation (qui dure plus longtemps), dans un scénario impliquant l'énergie nucléaire. //

Emplois directs et indirects	Phase de construction (3 à 4 années)		Phase opérationnelle (par année supplémentaire)
	Estimation ENGIE	Estimation Bureau fédéral du Plan	
Prolongation 2GW	680	4750	1900
5 nouvelles centrales à gaz	3500	9500	150
Total	4180	14250	2050
9 nouvelles centrales à gaz	6300	17100	270
Différence	-2120	-2850	+1780

SECTEUR NUCLÉAIRE, UN INCUBATEUR
POUR L'INNOVATION

Chaque année, les chercheurs du nucléaire belge publient **plus de 1.000 articles et livres scientifiques**, et effectuent des présentations officielles. Les universités, les hôpitaux et les centres de recherche industrielle mènent quotidiennement des recherches relatives aux applications de la technologie nucléaire.

Partout dans le monde, la technologie nucléaire est à la base de la recherche relative aux grands défis du XXI^e siècle. Les laboratoires de l'AIEA (Agence internationale de l'énergie atomique), situé à Seibersdorf (près de Vienne) travaillent à trouver des solutions à différents problèmes. Quatre des six laboratoires sont dirigés par des chercheurs belges.

QUELQUES EXEMPLES CONCRETS

Nouvelles perspectives pour le traitement
du cancer

Le SCK•CEN est aujourd'hui l'un des rares instituts de recherche du monde à être en possession du thorium-299. Ce radio-isotope, aussi rare que prometteur, jouit d'un réel potentiel pour le traitement du cancer, via la **Targeted Alpha Therapy** (TAT). Grâce à cette étude préclinique, le SCK•CEN veut convaincre le secteur médical de la grande plus-value de cette thérapie. Cette compétence peut ouvrir au SCK•CEN les portes de la production d'isotopes à grande échelle et de la médecine personnalisée.⁷³

Fusion nucléaire: prévisions concrètes
grâce à l'expertise belge

De l'énergie propre pour le monde entier. Pour toujours. C'est le rêve que le projet de fusion nucléaire ITER vise à réaliser dans le sud de la France. **Neuf entreprises de notre pays travaillent de concert à la construction d'un réacteur de fusion ITER** (International Thermonuclear Experimental Reactor) et jouent un rôle essentiel dans le développement de la fusion nucléaire.⁷⁴

Small modular reactors,
la prochaine petite révolution

Les SMR (Small Modular Reactors) sont de mini-réacteurs composés de modules construits en atelier d'une manière industrielle. **Leur conception modulaire leur permettrait d'être moins onéreux que les centrales classiques** car ils sont plus petits et ils peuvent être facilement adaptés afin de livrer de l'énergie à des sites industriels ou dans des zones reculées, par exemple. Partout dans le monde, le concept SMR gagne en popularité. En Belgique, le SCK•CEN et Tractebel sont en première ligne du développement de cette innovation.

Comment l'univers est-il apparu ?

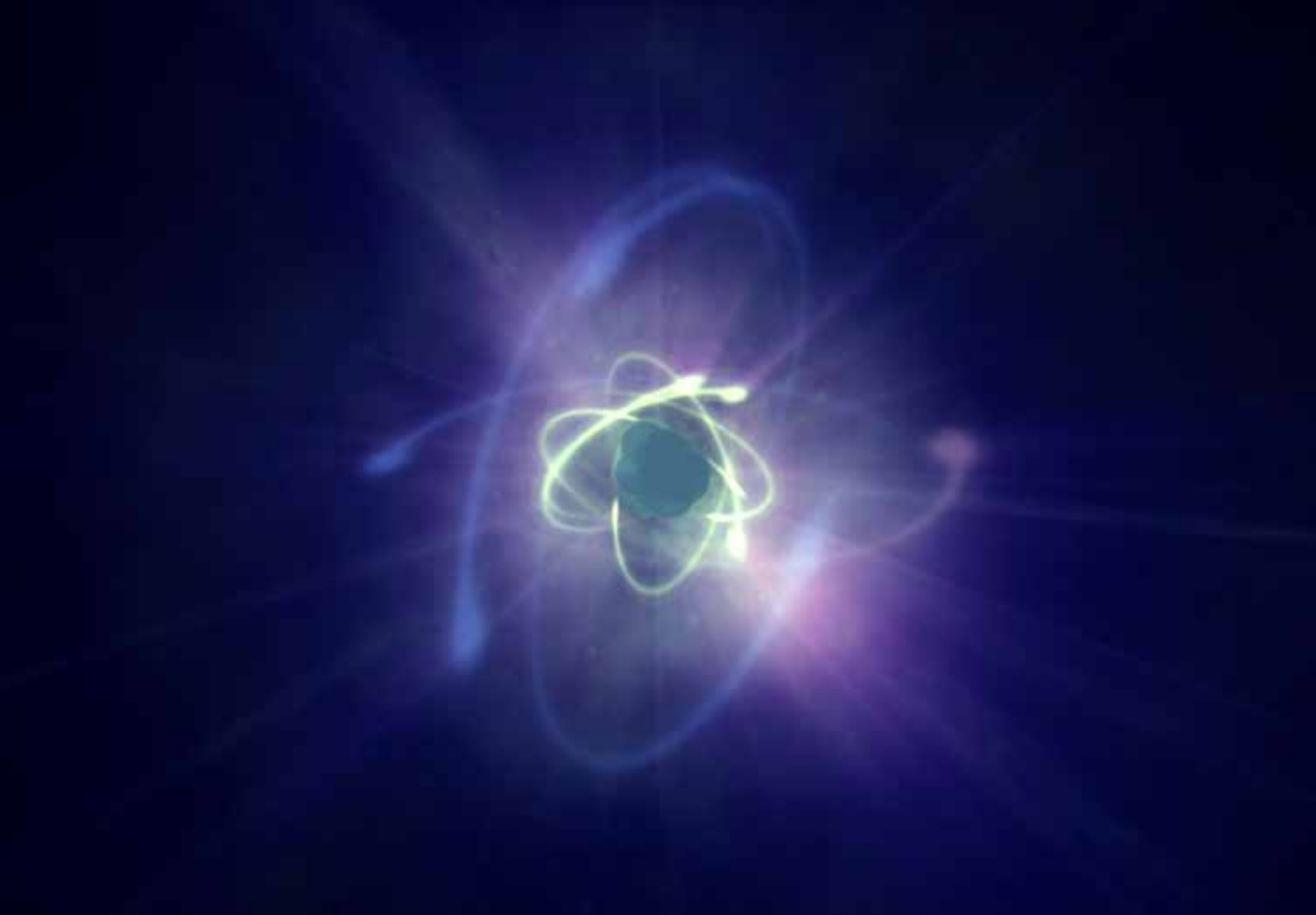
La chercheuse belge Petra Van Mulders est professeure à la VUB (Vrije Universiteit Brussel) et au CERN (Centre européen pour la recherche nucléaire). Elle travaille dans le domaine très technique de **la physique des particules**. Avec ses collègues du CERN, Petra Van Mulders mène des expériences pour comprendre les fondements de notre univers, et tente ainsi de comprendre le Big Bang et l'origine de notre univers.

Innovation nucléaire dans l'agriculture

La recherche menée sur la technologie nucléaire a pour but d'améliorer la santé, la sécurité alimentaire, le changement climatique et le développement de l'agriculture durable. **Grâce à cette recherche, les insectes nuisibles sont sous contrôle au Guatemala**, la production de riz est améliorée au Vietnam, la peste bovine est éradiquée et l'on peut améliorer les terres agricoles partout dans le monde. Le Belge Gerd Dercon, affecté à l'AIEA à Seibersdorf, est l'un des principaux experts mondiaux dans le domaine.

L'innovation nucléaire et la lutte
contre le changement climatique

La biodiversité est essentielle pour la survie de notre planète. La recherche sur la culture de nouvelles variétés de plantes destinées à la consommation humaine est simplement appelée «sélection des plantes». Dans ce contexte, **la technologie nucléaire applique une sélection, sur la base d'une mutation génétique (mutagenèse) afin que les plantes puissent être modifiées** et être plus résistantes aux conditions environnementales et climatiques. Le chercheur belge Ivan Ingelbrecht dirige le laboratoire belge de Vienne qui mène les recherches sur le sujet. //



NOS 5 REQUÊTES

Ce que le secteur nucléaire attend des décideurs belges.

En conclusion, le Forum nucléaire attend maintenant des divers gouvernements, au niveau fédéral et régional, d'aujourd'hui et de demain :

1

LE MAINTIEN ET LE DÉVELOPPEMENT DE LA SCIENCE, DE LA TECHNOLOGIE ET DE L'INDUSTRIE NUCLÉAIRES BELGES

L'expertise belge en matière de nucléaire est une réalité. De la construction du premier réacteur au prix Nobel de physique pour la découverte du boson par notre compatriote François Englert, notre pays a joué et joue un rôle de pionnier. Grâce à l'expertise de la Belgique dans les applications diverses de la technologie nucléaire, notre pays a acquis une réputation internationale, une visibilité et un savoir-faire qui sont reconnus (et enviés) par de nombreux autres pays.

Nous ne pouvons abandonner unilatéralement ce leadership. Au contraire, la Belgique doit conserver et renforcer son expertise. Les 20 000 personnes qui travaillent dans le secteur nucléaire sont la preuve vivante que cet incontestable savoir-faire est un moteur de connaissance, de recherche et de développement, d'innovation et d'emploi, et qu'il est essentiel pour la production d'électricité, la santé, l'industrie et la science. Ces compétences doivent être préservées et développées.

2

LA CONTINUITÉ DANS LE CHOIX DE L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE POUR LA PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ

Les centrales nucléaires belges produisent depuis quarante ans plus de la moitié de l'électricité générée en Belgique. Les réacteurs nucléaires de Doel et Tihange produisent tout au long de l'année, nuit et jour, de l'électricité fiable, à un prix abordable et en toute sûreté. Associée au développement des énergies renouvelables, l'énergie nucléaire est dès aujourd'hui la garantie d'un mix électrique belge composé très largement de sources énergétiques pauvres en CO₂.

Aucun pays « raisonnable » n'accepterait de renoncer unilatéralement à de tels avantages. **De nombreuses études indiquent qu'une sortie du nucléaire dans notre pays aura un impact négatif sur la sécurité d'approvisionnement, sur le prix de l'électricité et sur les émissions de CO₂. L'énergie nucléaire fait partie des solutions pour la transition énergétique. Elle rend cette transition énergétique possible.** Elle a droit à un traitement équitable, à l'issue d'un débat technologique et idéologiquement neutre, dans lequel toutes les options sont examinées pour leurs mérites propres, en vue de décisions éclairées sur la base d'informations objectives et neutres. Il est urgent de tirer des conclusions claires sur le maintien éventuel des centrales après 2025 : si les choix ne sont pas effectués rapidement, il sera trop tard.

3

UNE SOLUTION DURABLE ET DÉFINITIVE POUR LA GESTION DES DÉCHETS DE HAUTE ACTIVITÉ ET À LONGUE DURÉE DE VIE

Les déchets de haute activité et/ou à longue durée de vie doivent être isolés de l'environnement. L'ONDRAF propose d'enfouir les déchets profondément sous terre dans l'argile, une roche hôte, qui est stable depuis des millions d'années. Cette stratégie est fondée sur les recommandations internationales. L'Ondraf et son ministre de tutelle ont présenté cette option pour le stockage des déchets hautement radioactifs aux autorités belges. De son côté, l'AFCN convient que l'enfouissement souterrain est une option sûre. Pour pouvoir mettre en œuvre cette solution, il faut disposer d'un processus de prise de décision prudent et progressif.

Nous demandons aux autorités de confirmer leur choix d'une option et de décider du principe de l'enfouissement géologique à long terme des déchets de haute activité et à longue durée de vie conformément aux recommandations des experts. Il s'agit maintenant pour nos autorités d'inscrire ce choix dans un engagement juridiquement contraignant et de l'accompagner des mesures législatives et réglementaires requises.

4

LE DÉVELOPPEMENT DE LA R&D ET DE L'INNOVATION NUCLÉAIRES EN BELGIQUE

La Belgique se distingue, sur la scène internationale, par son savoir-faire varié et substantiel dans le domaine nucléaire et ses applications. La science et la recherche (fondamentale et appliquée) liées à la technologie nucléaire apportent des solutions tangibles et concrètes aux défis mondiaux. Les entreprises belges ayant des compétences nucléaires participent actuellement à de nombreuses missions économiques (SCK•CEN, IBA, Magic Instruments, IRE...) ⁷⁴. **Leurs connaissances de la technologie nucléaire et de ses applications, d'amont en aval, sont primordiales.**

Le savoir-faire nucléaire belge doit être reconnu, préservé de manière structurelle, et approfondie. La fermeture possible des centrales nucléaires menace la visibilité, la réputation internationale et la poursuite du développement du savoir-faire nucléaire belge. En cas de sortie du nucléaire, l'expertise nucléaire belge se tarira irrémédiablement, et cette perte de connaissance sera irréversible. Nous devons au contraire conserver et développer nos atouts.

5

LA RÉALISATION ET LE SOUTIEN CONSTANT DE L'INFRASTRUCTURE DE RECHERCHE MYRRHA

Depuis plus d'un demi-siècle, la Belgique a disposé d'une infrastructure de recherche nucléaire polyvalente qui a permis à nos scientifiques de perfectionner leurs compétences, leur savoir-faire, de leur assurer un leadership mondial et d'effectuer des recherches approfondies grâce à une infrastructure et des laboratoires nucléaires à la pointe de science. Il serait irresponsable qu'après le démantèlement d'un réacteur de recherche tel que le BR2, il n'existe plus d'équipement alternatif permettant d'assurer la continuité de la recherche et de ses applications dans les domaines industriels et de la santé.

Le projet MYRRHA est la réponse à cet enjeu. La Commission européenne appuie MYRRHA depuis le début du projet. Elle le considère comme un projet international prioritaire ayant un grand intérêt sociétal qui constitue un exemple dans l'établissement d'une économie de la connaissance dynamique. En 2010, MYRRHA a été placé en haut de la liste des grandes infrastructures de recherche pour l'énergie par le Forum stratégique européen pour les infrastructures de recherche (ESFRI) ⁷⁵. Le gouvernement belge reconnaît également l'importance de MYRRHA dans son dernier accord de gouvernement. **Le prochain gouvernement belge doit confirmer son soutien au projet MYRRHA, l'une des infrastructures de recherche nucléaire les plus importantes d'Europe,** et l'une des pierres angulaires des compétences et du savoir-faire nucléaires belges, et libérer les moyens nécessaires pour sa réalisation.

QUI SOMMES-NOUS ?

Forum nucléaire belge. L’association professionnelle du secteur nucléaire en Belgique.

Le Forum nucléaire belge regroupe la plupart des sociétés et organismes actifs dans le domaine des applications du nucléaire. Le Forum nucléaire belge souhaite avant tout être une source d’informations de référence sur la technologie nucléaire, tant à l’égard de la presse et du monde politique qu’à l’égard du grand public.

INFORMER LE PUBLIC SUR LA TECHNOLOGIE NUCLÉAIRE

Le Forum nucléaire belge, au travers de son site Web et des réseaux sociaux, informe le grand public, les journalistes, ainsi que de nombreuses parties prenantes, sur la technologie et l’énergie nucléaires. En outre, le Forum nucléaire participe activement au débat sociétal.

Les actions d’information du Forum nucléaire belge s’inscrivent dans une volonté d’échange d’informations et de connaissances fondées sur les faits scientifiques, dans un esprit d’objectivité et d’ouverture favorisant l’expression de différents points de vue.

NOS MEMBRES

Le Forum nucléaire belge représente 12 organisations actives dans divers domaines de la technologie nucléaire : énergie, médecine, espace, alimentation et biologie, science et recherche, transport... La plupart des membres sont belges, mais certaines organisations sont des acteurs mondiaux. Les membres se réunissent régulièrement afin de définir les priorités du Forum nucléaire belge.

www.forumnucleaire.be

- ¹ Agence internationale de l'énergie, <https://www.youtube.com/watch?v=PRhXzRcGKC0>
- ² Extrait du site web <https://www.pacte-energetique2050.be/>
- ³ Het Laatste Nieuws, <https://m.hln.be/nieuws/elia-bevestig-reeel-risico-op-stroomtekort-deze-winter~a60b2ff2/>
- ⁴ Étude PwC, Réussir la transition énergétique, 2016, https://www.forumnucleaire.be/theme/energie/le-role-du-nucleaire-et-des-renouvelables-au-sein-de-la-transition-energetique?_ga=2.52629416.1667539930.1526399672-306569411.1521297376
- ⁵ Bureau fédéral du Plan, «Impact du Pacte», 2018
- ⁶ Energyville, «Energy transition in Belgium - choices and costs», 2017
- ⁷ Johan Albrecht, «Energypact Scenarios; Adequacy and System Costs», 2018
- ⁸ Energyville, «Energy transition in Belgium - choices and costs», 2017
- ⁹ Étude d'Elia, «Electricity scenarios for Belgium towards 2050», 2017
- ¹⁰ SPF Économie et Bureau fédéral du Plan, «L'étude prospective électricité à l'horizon 2030», 2015, <https://economie.fgov.be/fr/themes/energie/securite-des/etude-prospective-electricite/letude-prospective-electricite-0>
- ¹¹ Bureau fédéral du Plan, «Étude sur les perspectives d'approvisionnement en électricité à l'horizon 2030», 2015
- ¹² Bureau fédéral du Plan, «Éclairage sur des enjeux de la politique énergétique belge confrontée au défi climatique», 2007 <https://www.plan.be/publications/publication-542-en-eclairage-sur-des-enjeux-de-la-politique-energetique-belge-confrontee-au-defi-climatique>
- ¹³ Université de Gand (Albrecht et Laleman), «The challenge for a nuclear phase out in Belgium», 2013, <https://www.iaee.org/en/.../proceedingsabstractpdf.aspx?id=7724>
- ¹⁴ Université de Gand (Albrecht et Laleman), «The challenge for a nuclear phase out in Belgium», 2013, <https://www.iaee.org/en/.../proceedingsabstractpdf.aspx?id=7724>
- ¹⁵ Center for Industrial Progress, intermittence mensuelle, <http://industrialprogress.com/>
- ¹⁶ Université de Gand, «Policy trade-offs – Belgian Electricity System», 2015
- ¹⁷ IAEA, Lifetime of unplanned capacity loss, <https://www.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/LifeTimeUnplannedCapabilityLossFactor.aspx>
- ¹⁸ De Tijd, 30 janvier 2017 <https://www.tijd.be/ondernemen/milieu-energie/Elektriciteit-wordt-peperduur/9857120>
- ¹⁹ Étude du Bureau fédéral du Plan, «2030 Climate and Energy Framework for Belgium -Impact assessment of a selection of policy scenarios up to 2050», 2015
- ²⁰ Étude du Bureau fédéral du Plan, «2030 Climate and Energy Framework for Belgium -Impact assessment of a selection of policy scenarios up to 2050», 2015
- ²¹ Bureau fédéral du Plan, «Impact du Pacte», 2018
- ²² Bureau fédéral du Plan, «Marché de l'électricité : facteurs influençant la formation des prix de gros dans une petite économie ouverte - Enseignements tirés de la relance du nucléaire en Belgique», 2016
- ²³ Étude PwC, Réussir la transition énergétique, 2016
- ²⁴ Bureau fédéral du Plan, «Impact du Pacte», 2018
- ²⁵ Étude d'Elia, «Electricity scenarios for Belgium towards 2050», 2017
- ²⁶ Étude réalisée par le Bureau fédéral du plan, «Le paysage énergétique belge à l'horizon», 2017
- ²⁷ Agence internationale de l'énergie, «World Energy Outlook 2017»
- ²⁸ Energyville, «Energy transition in Belgium - choices and costs», 2017
- ²⁹ Étude d'Elia, «Electricity scenarios for Belgium towards 2050», 2017
- ³⁰ Étude du Bureau fédéral du Plan, «2030 Climate and Energy Framework for Belgium -Impact assessment of a selection of policy scenarios up to 2050», 2015
- ³¹ Étude d'Elia, «Electricity scenarios for Belgium towards 2050», 2017
- ³² Itinera Institute, «Blackout in the coming years?», 2015, http://www.itinerainstitute.org/wp-content/uploads/2016/10/pdfs/blackout_risks.pdf
- ³³ Energyville, «Energy transition in Belgium - choices and costs», 2017
- ³⁴ Bureau fédéral du Plan, «Impact du Pacte», 2018
- ³⁵ Cinquième rapport d'évaluation du GIEC, Résumé à l'intention des décideurs
- ³⁶ <https://www.ncdc.noaa.gov/indicators/>, <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/temperature>, <http://data.giss.nasa.gov/gistemp>
- ³⁷ <https://www.giss.nasa.gov/research/news/20170118/>
- ³⁸ Carbon brief <http://www.globalcarbonproject.org/carbonbudget/14/hl-compact.htm>

- ³⁹ Rapport du Groupe I du GIEC : http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_SummaryVolume_FINAL_FRENCH.pdf
- ⁴⁰ Commission européenne, rapport semestriel concernant la Belgique, 2017, https://ec.europa.eu/info/publications/2017-european-semester-country-reports_en
- ⁴¹ Johan Albrecht (Itinera/Universiteit Gent), étude sur l'avenir énergétique de la Belgique, 2018
- ⁴² Rapport Environmental Progress, <http://environmentalprogress.org/big-news/2017/2/11/german-electricity-was-nearly-10-times-dirtier-than-frances-in-2016>
- ⁴³ Rapport du Groupe III du GIEC : http://ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc_wg3_ar5_full.pdf
- ⁴⁴ Étude du Bureau fédéral du Plan, «Le paysage énergétique belge à l'horizon 2050 - Perspectives à politique inchangée», 2017
- ⁴⁵ Bureau fédéral du Plan et SPF Économie, «L'étude prospective électricité à l'horizon 2030», 2015, <https://economie.fgov.be/fr/themes/energie/securite-des/etude-prospective-electricite/letude-prospective-electricite-0>
- ⁴⁶ Energyville, «Energy transition in Belgium - choices and costs», 2017
- ⁴⁷ Étude PwC, «Réussir la transition énergétique», 2016
- ⁴⁸ Bureau fédéral du Plan, «Le paysage énergétique belge à l'horizon 2050», 2017
- ⁴⁹ Rapport du Groupe III du GIEC : http://ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc_wg3_ar5_full.pdf
- ⁵⁰ Europe's dirty thirty, «How the EU's coal-fired powerplants are undermining its climate efforts», 2014
- ⁵¹ Electricitymap, www.electricitymap.org
- ⁵² De Telegraaf, 19 février 2014, <https://www.telegraaf.nl/nieuws/995009/kerncentrale-borssele-kan-nog-twintig-jaar-mee>
- ⁵³ World Nuclear Association, www.world-nuclear.org
- ⁵⁴ Commission européenne, «Programme indicatif nucléaire PINC», 2016, http://europa.eu/rapid/press-release_IP-16-1202_fr.htm
- ⁵⁵ Agence internationale de l'énergie, International Energy Outlook, 2017
- ⁵⁶ Organisation mondiale nucléaire, «The World Nuclear Industry status report 2016»
- ⁵⁷ Our World in Data, <https://ourworldindata.org/what-is-the-safest-form-of-energy>
- ⁵⁸ AFCN, www.fanc.fgov.be
- ⁵⁹ Susanna Hertrich, A reflection on common fears in societies where anxieties have become a lifestyle choice <http://www.susannahertrich.com>
- ⁶⁰ «Public dread and actual deaths caused by most common sources of energy.» Basé sur une étude à long terme de l'Agence internationale de l'énergie atomique (IAEA).
- ⁶¹ The Lancet, [http://www.thelancet.com/article/S0140-6736\(07\)61253-7/abstract](http://www.thelancet.com/article/S0140-6736(07)61253-7/abstract)
- ⁶² World Health Organisation, Ferlay J, Soerjomataram I, Ervik M, Dikshit R, Eser S, Mathers C et al. GLOBOCAN 2012 v1.0, Cancer Incidence and Mortality Worldwide: IARC CancerBase No.11. Lyon, France : Agence internationale pour la recherche sur le cancer, 2013.
- ⁶³ Organisation mondiale de la santé, principaux repères sur le cancer, <http://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/cancer>
- ⁶⁴ Fondation contre le cancer www.cancer.be
- ⁶⁵ American Cancer Society, <https://www.cancer.org/research/cancer-facts-statistics/all-cancer-facts-figures/cancer-facts-figures-2015.html>
- ⁶⁶ American Cancer Society <https://www.cancer.org/cancer/cancer-basics/economic-impact-of-cancer.html>
- ⁶⁷ Rad4Med www.rad4med.be
- ⁶⁸ Rad4Med www.rad4med.be
- ⁶⁹ Site web du SCK•CEN, http://sckcen.be/en/News/20180321_bezoek_IAEA
- ⁷⁰ PwC, «Cartographie de l'emploi dans le secteur nucléaire en Belgique», 2012
- ⁷¹ Chiffres d'ENGIE, fondés sur des estimations et des calculs internes
- ⁷² Bureau fédéral du Plan «Impact du pacte», 2018, page 19 et suivantes.
- ⁷³ SCK•CEN, «L'essentiel 2016», page 31 et suivantes http://sckcen.be/-/media/Files/Public/Publications/2016_highlights/SCKCEN-Hoogtepunten2016.pdf?la=nl&hash=0F53C41D8CDDE552D0C52C551C5C2F8BB575B637
- ⁷⁴ ITER Belgium, <http://www.iterbelgium.be>

Mise en page : Forum nucleaire belge
en collaboration avec Prophets.
Textes : Forum nucleaire belge.
Images : Belgoprocess, CERN, EDF, European Space
Agency, ENGIE Electrabel, Forum nucléaire belge,
Istockphoto, NASA, NuScale, SCK•CEN, Tractebel.

© Forum nucléaire belge | Août 2018
Rien de cette édition ne peut être repris
ou utilisé sans accord de l'éditeur responsable.

Éditeur responsable : Marielle Rogie
Forum nucléaire belge
Avenue des Arts 56, 1000 Bruxelles
E-mail : info@nuclearforum.be

