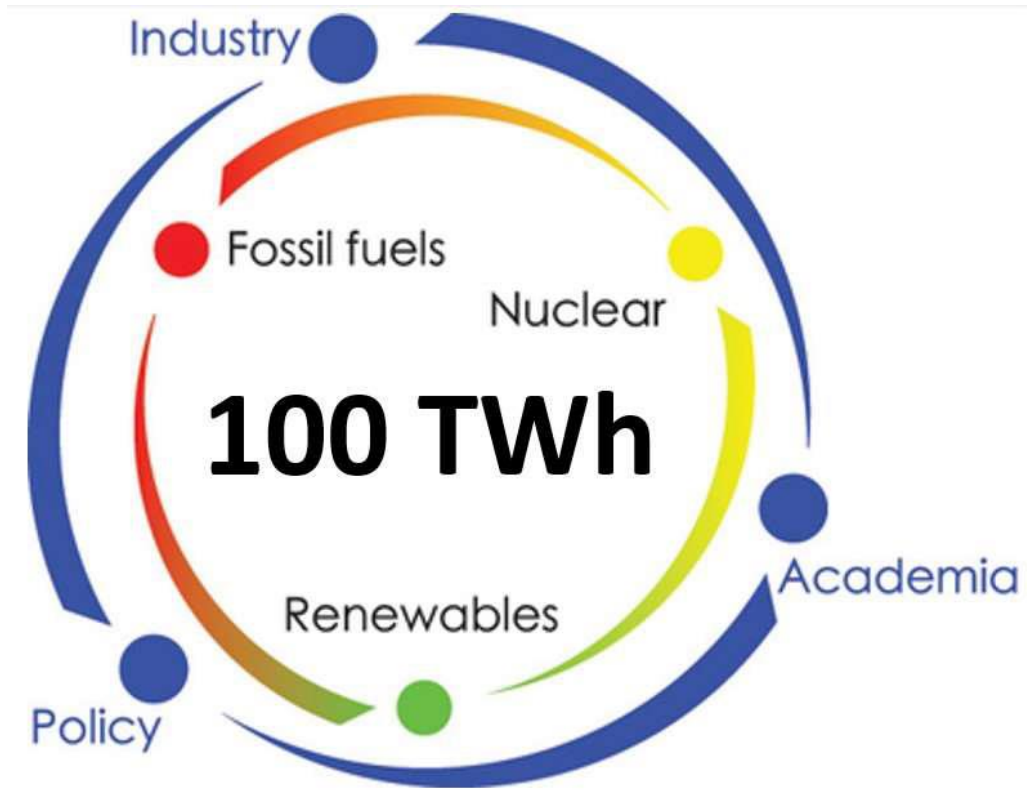


Pour une société durable



La fission nucléaire :
une partie de la solution pour une énergie
économique, fiable et respectueuse de
l'environnement

mars 2025

« Les réacteurs nucléaires modernes, s'ils sont correctement construits et exploités, offrent des moyens sûrs, durables et très fiables de produire de l'électricité. »

Vaclav Smil ⁽¹⁾

L'électricité représente aujourd'hui moins de 20 % du total des trois sources d'énergies primaires (c.-à-d. fossiles, nucléaire et renouvelables) consommé dans l'Union Européenne (UE), en particulier en Belgique. Dans le contexte de l'objectif de neutralité carbone à atteindre à l'horizon 2050, cette part devrait fortement croître dans le futur. **Il est donc indispensable que les moyens de production de l'électricité correspondent à cette demande croissante tout en s'inscrivant dans une logique d'efficacité énergétique et d'économie circulaire, pour le plus grand bien du portefeuille des consommateurs et de l'environnement.**

Au cours des dernières décennies, la presque totalité des efforts se sont focalisés sur les Énergies Renouvelables Intermittentes (EnRI) non-pilotables (essentiellement le soleil et le vent). Des milliards d'euros y ont été consacrés dans l'UE avec des résultats qui n'ont pas répondu aux attentes. Cela amène la population et les autorités européennes à se tourner à nouveau vers la production électronucléaire, comme le font d'ailleurs de nombreux pays dans le monde.

Le nucléaire offre-t-il aujourd'hui les garanties suffisantes en matière de sûreté et de sécurité ? Est-il compétitif en matière de coûts ? Respecte-t-il au mieux l'environnement ?

Des améliorations technologiques et réglementaires permettant leur redéploiement à grande échelle sont-elles disponibles ?

Des solutions pour garantir à long terme l'approvisionnement des réacteurs nucléaires, recycler les combustibles usés et gérer les déchets ultimes existent-elles ?

Lorsqu'elle s'exprime lors de sondages récents ou par la voie des urnes, la population se prononce pour un renouveau du nucléaire dans de nombreux pays.

Faut-il pour autant aller vers le « tout nucléaire » à l'instar de ceux qui prônent le 100% EnRI ? Certes non ! Pour nous, c'est une répartition optimisée des sources décarbonées qu'il faut atteindre en prenant en compte les investissements déjà réalisés et l'évolution des technologies, mais en se basant sur des faits scientifiques et non sur des mythes ou des dogmes. Il faut se projeter dans le futur avec pour seuls critères les aspects sociaux, économiques et environnementaux car au final c'est notre société qui doit être durable.

C'est dans cet esprit que l'association 100TWh définit dans ce document sa vision pour une transition énergétique vers la neutralité carbone donnant la priorité au nucléaire, tout en proposant des actions concrètes pour atteindre ses objectifs.

1. Le nucléaire est-il dangereux ?

A l'origine, les mouvements anti-nucléaires avaient pour objectif d'empêcher la prolifération des armes. Cette opposition au nucléaire s'est ensuite étendue à tous ses usages, quel qu'en soit l'objectif. Les accidents de Three-Mile Island, de Tchernobyl et de Fukushima ont contribué à renforcer cette opposition du public. Les causes et circonstances dans lesquelles ces accidents se sont produits ne peuvent en aucune manière être comparées à ce qui existe dans notre pays. En nombre de décès par kWh produit, le nucléaire est de loin le mode de production d'énergie le plus sûr !

Au fil du temps, le citoyen s'est parfois construit une image négative du nucléaire. Il faut reconnaître que son usage militaire y est pour beaucoup. Les deux bombes nucléaires utilisées par les USA pour mettre fin à la guerre en 1945 ont marqué les esprits, d'autant qu'à partir de là d'autres grandes puissances ont voulu développer cette arme. Il s'en est suivi de nombreux essais qui ont conduit à **l'émergence de groupements anti-nucléaires** dont l'objectif était l'arrêt du développement des armes nucléaires et donc des essais.

Il est apparu très tôt après la guerre 1940-45 que l'énergie résultant de la fission de noyaux lourds constituait un potentiel formidable pour alimenter l'humanité en énergie⁽²⁾. **Si c'est le même phénomène de dégagement d'énergie lié à la fission de noyaux lourds qui est à la base des usages militaires et civils, une grande différence sépare les deux technologies** : l'une (militaire) recherche un effet dévastateur maximal, l'autre (civile) contrôle la réaction nucléaire pour produire, en toute sûreté, la chaleur nécessaire à la production d'électricité sans compter les nombreuses autres applications pacifiques notamment la production de radio-isotopes à usage médical ou industriel.

La crainte de l'épuisement des combustibles fossiles et la volonté d'indépendance vis-à-vis des pays producteurs de ceux-ci a conduit à un engouement pour l'énergie nucléaire. Les groupements anti-nucléaires ont cependant, avec des moyens médiatiques considérables, insufflé dans le public une peur irraisonnée de toutes les applications nucléaires civiles en les présentant uniformément comme dangereuses.

Ne pas confondre bombes et réacteurs nucléaires

Il y a beaucoup de domaines où un équipement très utile et, en principe, inoffensif peut être détourné de son usage pacifique. La fission de noyaux lourds (comme l'uranium-235) est utilisée dans tous les réacteurs actuels comme dans la bombe A. La fusion de noyaux légers (comme les isotopes de l'hydrogène) sera utilisée demain dans les réacteurs de fusion actuellement en développement (comme le projet ITER). Elle est déjà utilisée dans la bombe H.

En ce qui concerne la fission de l'uranium par exemple, **la différence entre le réacteur et la bombe se situe essentiellement dans l'enrichissement en U-235 (environ 3% pour les réacteurs, 90 % pour les bombes) réalisé dans des installations nucléaires spécifiques. Les réacteurs nucléaires ne peuvent pas, pour des raisons physiques, se transformer ou se**

comporter comme des bombes, mais en cas extrême de manque de refroidissement le cœur peut fondre comme lors de l'accident grave de Tchernobyl en Union Soviétique en 1986.

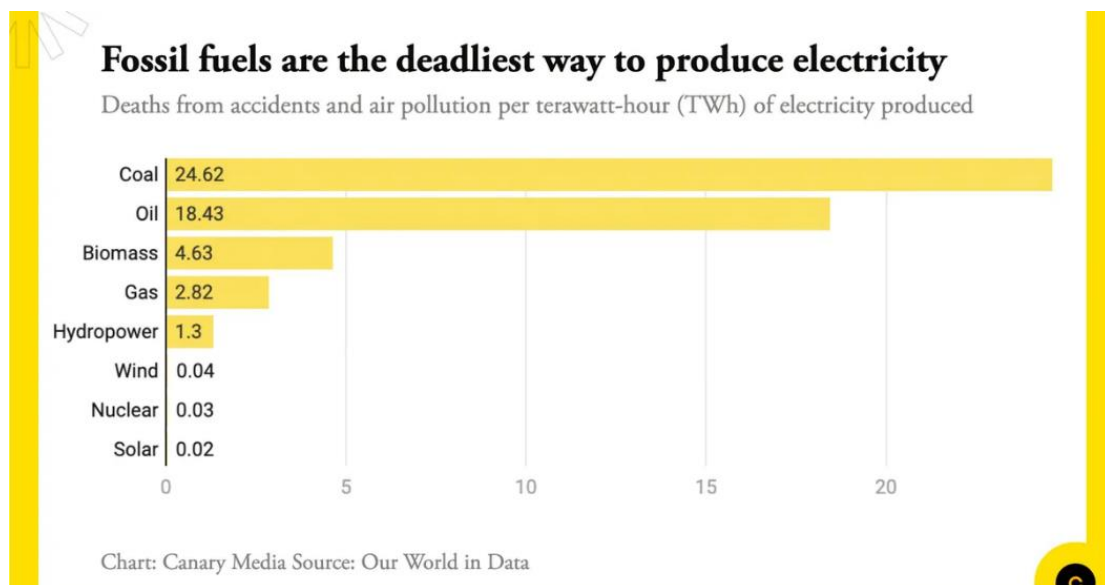
Trois accidents graves en 50 ans

En 1979, un accident s'est produit à la centrale **Three-Mile Island** (réacteur no 2) aux USA. Malgré sa gravité, en dépit d'un enchaînement d'erreurs humaines, l'enceinte de confinement a bien joué son rôle protecteur. **Le relâchement de produits radioactifs dans l'environnement a été extrêmement faible, sans impact radiologique sur les populations aux alentours.**

En revanche, l'accident de **Tchernobyl en 1986, à l'origine de rejets radioactifs importants a mis un coup d'arrêt au développement de la production d'électricité par voie nucléaire dans pratiquement tous les pays.** En Belgique, en particulier, sous la pression du parti Écolo nécessaire dans la coalition gouvernementale de 1999, le parlement belge a acté en janvier 2003 que tous les réacteurs nucléaires du pays devaient être arrêtés progressivement après 40 ans de fonctionnement (donc entre 2013 pour la première et 2025, pour les deux dernières tranches) et qu'aucun nouveau réacteur basé sur la fission nucléaire ne pouvait être construit pour produire de l'électricité. L'accident de **Fukushima** en 2011 a encore accentué cette volonté politique.

Un minimum de victimes par unité d'électricité produite

Les études comparant les conséquences des différents modes de production d'électricité sont éloquentes :



Le tableau ci-dessus (Our World in Data, 2022) recense les décès comptabilisés relatifs aux sources d'énergies fossiles, renouvelables et nucléaire. Notons que le nombre de décès par TWh d'électricité produite s'élève à 46 pour les sources d'origine fossile, alors qu'il est de 0,03 pour le nucléaire et du même ordre de grandeur pour les renouvelables ! Cela démontre que **le nucléaire est responsable du minimum de morts par TWh produit.** Ces statistiques font penser aux comparaisons des décès par km parcourus en automobile et en avion. La comparaison est nettement en faveur de l'avion mais une catastrophe aérienne a, comme pour les installations nucléaires, un retentissement bien plus élevé dans la population.

Rappel - Combien de TWh d'électricité sont nécessaires pour une ville de 100.000 habitants en Europe occidentale au cours d'une année ? La consommation d'électricité en Belgique (ou en Allemagne) est d'environ 7.000 kWh par habitant, ce qui inclut tout, des consommateurs individuels aux grandes industries. Ainsi, une ville de 100.000 habitants consommerait environ 0,7 TWh. Autrement dit, il faut 1 TWh pour alimenter une ville de 140.000 habitants.

Autre rappel : 1 TWh = mille millions de kWh = un milliard de kWh = 10^{12} Wh.

2. Comment encore améliorer la sûreté de nos réacteurs ?

Les conséquences et les leçons à tirer des événements nucléaires ont fait l'objet d'une attention particulière au niveau international. En Belgique, nous ne sommes pas en reste. L'Agence Fédérale de Contrôle Nucléaire veille en toute indépendance à assurer un maximum de sûreté de notre parc nucléaire et de nouvelles perspectives se dessinent pour diminuer l'impact des déchets.

Les conséquences des accidents de Tchernobyl et Fukushima ont été analysées par de nombreux groupes de recherche dans le monde, en particulier par le groupe d'experts internationaux UNSCEAR (« United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiations »). Ce Groupe, représentant 27 pays avait été créé par les Nations Unies 30 ans avant le GIEC (représentant 195 pays) avec le même mode de recrutement des experts et le même type de fonctionnement. Les rapports de UNSCEAR ne sont jamais cités par les anti-nucléaires. La raison en est que leurs conclusions sont loin du tableau apocalyptique proposé par eux dans les médias. Pour Tchernobyl, les conclusions de UNSCEAR sont essentiellement qu'une **trentaine des personnes** qui ont lutté contre l'incendie provoqué par la combustion du graphite (absent dans nos réacteurs) sont mortes par irradiation à bref délai et que **6.000 personnes qui étaient pour la plupart enfants au moment de l'accident ont développé plus tard un cancer de la thyroïde**, cancer qui heureusement se traite généralement bien.

Il faut noter que **les centrales de type Tchernobyl (RBMK avec de l'eau comme moyen de refroidissement et du graphite comme modérateur) n'ont rien à voir avec celles de l'Occident**. A Tchernobyl, le réacteur, de conception dangereuse (production neutronique incontrôlable dans certaines circonstances et pas de protection par enceinte de confinement) a été porté en situation accidentelle grave durant un essai effectué par des techniciens imprudents. Les moyens de récupération d'une situation critique dans la centrale étaient totalement absents et la gestion de la crise à l'extérieur par les autorités locales a été lamentable.

Quant aux **20.000 morts souvent cités pour l'accident de Fukushima, ils sont dus exclusivement au tsunami**. Selon ces mêmes experts de UNSCEAR, aucun mort n'est attribuable au nucléaire. Le réacteur de Fukushima, s'il était de conception occidentale moderne, a été construit sans prendre correctement en compte l'amplitude de tsunamis historiques ayant déjà affecté la région.

Évidemment, ces deux accidents sont des catastrophes industrielles énormes (perte totale des installations) et ils ont conduit à l'évacuation de milliers de personnes pendant plusieurs années, ce qui a entraîné des conséquences en termes de santé pour certaines d'entre elles.

La sûreté de nos réacteurs

Nos réacteurs belges sont des réacteurs à eau pressurisée (PWR de conceptions américaine et française) : ils sont notamment protégés contre les séismes, les inondations, les **chutes d'avions, les défaillances d'équipements. Ils sont équipés d'une double enceinte de confinement, de systèmes de secours (triplés) et même d'ultime secours en cas de défaillance des premiers ainsi que de recombineurs passifs d'hydrogène.** La conception des quatre réacteurs les plus récents est telle que la Direction générale nucléaire d'Engie a qualifié ces réacteurs de mini-EPR (réacteurs les plus modernes de la génération III, c.-à-d. le plus haut niveau de sûreté actuellement disponible).

Les centrales nucléaires font l'objet d'un contrôle permanent par l'autorité de sûreté. L'AIEA (Agence Internationale de l'Energie Atomique, Vienne) organise des missions OSART (Operational Safety Review Team) dans le but de conseiller et d'assister les États afin d'améliorer la sûreté des centrales. Les rapports sont naturellement publics. Des missions particulières (SALTO ou Safety Aspects of Long Term Operation) sont organisées en cas de projet d'exploitation à long terme.

Après l'accident de Fukushima, l'UE a décidé de soumettre toutes les centrales nucléaires sur son territoire à des « stress tests ». Le résultat, pour Tihange par exemple, a été la construction d'un mur de 1,8 km sur 2,3 m de hauteur pour se prémunir davantage contre les risques d'inondation en cas de crues exceptionnelles de la Meuse (non rencontrées jusqu'à aujourd'hui). Suite à ces tests, **les centrales belges ont été reconnues comme étant parmi les plus robustes d'Europe.** Il n'y a pas ou très peu d'industries soumises à autant de vérifications de sûreté internes et externes.

Des contrôles stricts continuent à être menés (prolongation jusqu'à 60 ans)

Par ailleurs, des contrôles, au-delà de la réglementation internationale, sont effectués à l'initiative de l'Autorité de sûreté ou de l'Exploitant. Cela a été le cas des contrôles effectués en 2012 par l'Exploitant avec une nouvelle technique (ultra-sons focalisés) sous le revêtement inoxydable des cuves de réacteur de Doel 3 et Tihange 2. Des défauts consistant en microbulles (« flocons ») d'hydrogène écrasées lors du forgeage des viroles de cuve ont été mis en évidence. Ces défauts, contrôlés depuis à plusieurs reprises, restent stables et on a pu en tirer comme conclusion qu'ils sont présents depuis l'origine et qu'ils n'ont pas évolué.

Le groupe d'experts internationaux consulté par l'Autorité de sûreté a conclu que la durée de vie totale pour ces cuves était d'au moins 47 ans. Avec les constatations faites depuis, **une prolongation de la vie de ces réacteurs jusqu'à une durée de vie totale de 60 ans devrait pouvoir être démontrée moyennant des études supplémentaires. La plupart des réacteurs français sont prévus pour aller au moins jusqu'à 60 ans (programme de grand carénage dont le coût sera environ 50 milliards d'euros pour permettre à 56 réacteurs de produire 20 ans de plus). Aux Pays-Bas et en Suisse aussi, des réacteurs sont prolongés jusqu'à 60 ans. Aux USA, 87 réacteurs (sur un total de 92) ont déjà obtenu la prolongation jusqu'à 60 ans et 16 réacteurs ont demandé une prolongation jusqu'à 80 ans.**

Le traitement des déchets

Autre préoccupation de la population : **les déchets nucléaires de haute activité.** Leur enfouissement en couches géologiques profondes est une solution mise en œuvre industriellement en Finlande et bientôt en Suède. Mais la quantité et la radioactivité des déchets peuvent être fortement réduites si l'on décide de récupérer par retraitement ce qui est encore utile

(Uranium et Plutonium – soit 95% de la matière nucléaire) dans les combustibles usés pour une ré-utilisation efficace dans une nouvelle génération de réacteurs. Reste alors un faible volume de déchets ultimes à enfouir dans une couche géologique profonde adéquate. Des études et des expérimentations d'intérêt international sont en cours en Belgique à Mol/Dessel sous l'égide de l'Ondraf/Niras et du SCK/CEN. Il s'agit là d'une belle application d'efficacité énergétique et d'économie circulaire, pour le plus grand bien du portefeuille des consommateurs et de l'environnement.

Il faut signaler que la nature elle-même nous a fourni une démonstration de la validité et de la sûreté de l'enfouissement de déchets nucléaires de haute activité en couches géologiques profondes. **En effet, il y a environ 2 milliards d'année, dans une mine d'uranium à Oklo au Gabon actuel, des « réacteurs naturels » ont fonctionné par suite de la concentration critique d'uranium (à l'époque plus riche qu'aujourd'hui en isotope 235 fissile) mis en contact avec de l'eau. Des produits de fission de haute activité ont ainsi été créés, comme dans les réacteurs PWR d'aujourd'hui. Au cours du temps, ces produits de fission n'ont pas migré à de grandes distances autour du réacteur naturel, comme l'ont démontré les études du CEA (France) en 1972.** Ils sont restés emprisonnés dans la roche. Pour rappel, les déchets ultimes de nos réacteurs sont vitrifiés et insérés dans des cylindres en métal inoxydable en attendant d'être enfouis (ou ré-utilisés). Ce sont ces cylindres protégés qu'il est proposé d'enfouir, entourés d'autres barrières supplémentaires, qui offrent une garantie d'étanchéité extrême.

3. Le nucléaire est-il plus cher ?

Pendant des décennies, dans nos pays (en particulier en France et en Belgique), le nucléaire a prouvé qu'il était un mode de production fiable et économique. Quelle que soit la méthode d'évaluation utilisée, il se positionne favorablement par rapport aux Énergies Renouvelables Intermittentes, pour autant que l'on prenne en compte l'ensemble des éléments constitutifs du coût système du réseau de transport d'électricité et de la gestion de l'intermittence (e.a. par des technologies de stockage, par de l'import-export ou par de la gestion de la demande).

Dans plusieurs pays, dans les années 50, le nucléaire a été considéré comme une solution pour générer de l'électricité en suffisance, à coût acceptable, sans dépendance de l'extérieur et donc comme une solution adéquate pour le développement industriel et social. C'était bien le but des pays fondateurs de l'Union Européenne comme en témoigne le traité EURATOM de 1957.

Un pays comme la France a développé en 15 ans une filière nucléaire capable de fournir 75% de l'électricité nécessaire à un prix très contenu. **Démonstration a été faite de la rentabilité du nucléaire civil !** Signalons cependant que le principal acteur, EDF, a perdu sa liberté industrielle dans les années 2000 en étant forcé, suite aux règles de mise en concurrence européennes, de vendre son électricité à un prix bas régulé à des intermédiaires sans valeur ajoutée, perdant ainsi des moyens financiers nécessaires pour assurer la pérennité du système nucléaire français.

En Belgique, plus de la moitié de l'électricité a été produite longtemps par le nucléaire. Mais en janvier 2003, une loi a été votée imposant la sortie progressive du nucléaire au plus tard en

2025 : 40 ans après la construction des deux derniers réacteurs qui pourraient cependant produire jusqu' à 2045 si pas 2065 si l'on suit la politique des USA.

Le coût économique de la production d'électricité (approche traditionnelle LCOE)

Le critère de coût considéré traditionnellement par les grands organismes internationaux comme l'OCDE pour évaluer les systèmes de production électrique est le LCOE (« Levelized Cost Of Electricity »). Celui-ci prend en compte l'ensemble des coûts à la sortie de l'installation de production électrique pendant toute sa durée de vie: investissements initiaux, y compris les remboursements d'emprunts et les frais financiers, opération et maintenance, combustibles, démantèlement des équipements et traitement des déchets nucléaires. Dans le rapport 2020 comparant les coûts des divers moyens de production, **l'électricité nucléaire est très bien placée dans le classement.**

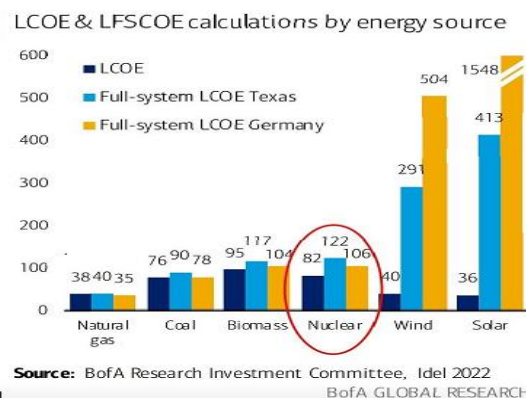
En particulier l'électricité produite par les réacteurs dont la vie est prolongée (LTO – Long Term Operation) est indiscutablement le moyen le moins coûteux de production (environ 40 US \$ / MWh), en considérant un investissement de remise à niveau d'environ 1 milliard d'euros pour un réacteur de 1.000 MW qui va encore fonctionner 20 ans.

Se priver de centrales qui peuvent aller en LTO (pour autant bien entendu que cela soit autorisé par l'Autorité de Sureté indépendante – seule compétente à juger) est un non-sens coûteux, impactant tous les consommateurs, privés et industriels.

Le coût actualisé complet LFSCOE (Levelized Full System Cost of Electricity)

De nombreuses études économiques récentes postulent que les estimations LCOE existantes pour les énergies renouvelables ne tiennent pas compte de l'intermittence et de la non-pilotabilité. Il faut en effet évaluer également le coût des adaptations des réseaux pour équilibrer l'offre et la demande d'électricité, par exemple en compensant par un recours aux combustibles fossiles (avec surcharge CO₂ ou coût de sa capture) ou par des batteries de secours ou du pompage-turbinage (Stations de Transfert d'Énergie par Pompage ou STEP) utilisés en cas de manque de production des EnRI. Par conséquent, **le coût actualisé complet de l'électricité du système (LFSCOE) est une mesure plus réaliste pour comparer les coûts de l'électricité produite par les trois sources d'énergie primaires.**

D'où le diagramme ci-dessous, produit en 2022 par Bank of America (en abrégé BOFA) qui a estimé que les études LCOE traditionnelles ne prenaient pas en compte les combustibles fossiles ou les batteries de secours et que, par conséquent, le coût actualisé complet de l'électricité (LFSCOE) serait une mesure plus raisonnable pour comparer les sources en termes de fourniture d'électricité au client final 24/7/365.



Les investissements « systèmes » planifiés dans notre pays

L'importance de tenir compte de l'ensemble des coûts « systèmes » en sus de la production proprement dite est mis en évidence par les investissements annoncés récemment dans notre pays.

Un total de 4,6 milliards d'euros sont estimés nécessaires pour installer des parcs de batteries capables d'assurer pendant 4 h moins de 40% de la production moyenne d'électricité (sur base d'une production annuelle de 90 TWh en Belgique). On peut se poser la question : est-ce qu'après 4 h, Eole, Apollon, ou des voisins charitables voudront bien venir au secours des consommateurs industriels et privés ? ou dans le pire des cas, que fait-on lors d'un phénomène météo « Dunkelflaute » (c-à-d. un déficit prolongé d'ensoleillement et de vent) ?

Synergrid, la fédération des gestionnaires belges de réseaux de distribution (GRD) et de transport (GRT) de gaz et d'électricité, a agrégé les plans d'investissement de ses membres à l'horizon 2030. Il est question de **31 milliards d'euros**, dont 70% pour l'électricité. Laurent JACQUET, directeur technique de la CREG, le régulateur qui contrôle les dépenses du gestionnaire du réseau de transport d'électricité Elia, a précisé qu'en raison du plan à financer dans un tel cadre, **les tarifs de transport augmenteront fortement à partir de 2025 !**

4. Les Energies Renouvelables Intermittentes sont-elles fiables ?

En théorie, produire 100% d'électricité à partir d'EnRI est techniquement possible à long terme. Il suffit (« Y a qu'à ») de mettre en place de l'électronique de puissance (HVDC, etc.), des parcs de batteries ou des STEPs, d'expliquer aux consommateurs qu'ils devront se passer d'électricité quand les batteries seront déchargées, de produire de l'hydrogène vert quand il y a trop de vent ou de soleil, etc...

La vraie question, c'est : est-ce qu'un scénario 100 % renouvelable est souhaitable ? Sera-t-il fiable et abordable 24/7/365 ? Quel sera son impact sur notre mode de vie ? et doit-il dès à présent constituer l'objectif majeur de la politique électrique d'un pays ?

Quand on analyse tout ce que cela implique en pratique, les choix sont en effet compliqués. Par définition, les EnRI (éolien et solaire) sont intermittentes. La caractéristique physique fondamentale d'un réseau électrique est **qu'à chaque instant la production doit être égale à la demande** pour maintenir constante la fréquence du réseau (50 Hz chez nous). Lorsque les fluctuations de la production sont faibles (< 1 %), Elia pourra « jongler » entre les diverses sources pour maintenir l'équilibre. Mais la gestion de ces fluctuations a des limites. Selon EDF, le réseau européen ne peut accepter plus de 40% d'EnRI pour des raisons techniques et financières.

L'Allemagne, qui produit actuellement plus de 50% de son électricité avec des EnRI, de la biomasse et de l'hydraulique, voit en l'espace de 10 heures des variations de coût de plus de 150€/MWh. En Belgique, un responsable d'un fournisseur confiait que dès à présent il est contraint de répercuter aux consommateurs domestiques un prix de 30€/ mois pour compenser le surcoût dû aux fluctuations.

70 milliards d'euros seraient nécessaires pour garantir 80% d'une journée

En Belgique, des investisseurs envisagent de participer à la construction d'un réseau de batteries palliant les intermittences pour une période d'environ 4 h pour moins de 40% de la capacité moyenne actuellement produite. Si on voulait étendre **la garantie à 80% de la production pendant une journée le montant à investir s'élèverait à 70 milliards d'€.** Pour le même budget on pourrait construire des centrales nucléaires (disons 7 réacteurs de 1.200 MWe) fournissant la même quantité d'énergie 24/7/365 toute l'année pendant toute leur durée de vie (60 ans) !

Compter sur des échanges entre pays européens est également un leurre. Les observations réalisées par le réseau européen météorologique montrent **qu'il y a très peu de possibilité de foisonnement pour l'éolien (c.-à-d. qu'il n'y a pas de compensation entre les « pointes » et les « creux » de la production de ces sources variables).** Quant au soleil, le décalage horaire entre Bruxelles et Berlin est vraiment négligeable.

Le mythe de l'hydrogène « vert »

Certains évoquent la possibilité de garantir la stabilité du réseau électrique au moyen d'hydrogène « vert » produit là, où, et lorsque les conditions météo sont favorables, lorsqu'il y a trop de vent ou de soleil. Il s'agit de lisser l'intermittence en générant de l'hydrogène quand il y a trop d'électricité produite par les EnRI et produire de l'électricité à partir de l'hydrogène quand il y a pénurie d'énergie. Cet avis n'est pas partagé par EnergyVille/VITO : « Notre pays se considère comme la porte d'entrée de l'hydrogène en Europe ». **Il y a cependant encore de nombreux défis techniques dans la chaîne d'approvisionnement à l'échelle industrielle, en particulier les pertes dans la production** (par électrolyse de l'eau pour l'hydrogène vert) **et la liquéfaction** (compression sous haute pression et à très basse température, etc.) **et les contraintes dans le stockage et le transport** (e.a. l'hydrogène est inflammable dans l'air). En outre, l'hydrogène peut dégrader les matériaux métalliques par fragilisation. **Aujourd'hui, et sans doute avant longtemps, l'hydrogène vert ne pourra pas être produit et transporté de manière économique.**

5. Les EnRI et les moyens de capture de CO₂ tiennent-ils leurs promesses de décarbonation ?

Non seulement les EnRI utilisent énormément de ressources matérielles (en particulier, des terres rares) pour leur mise en œuvre, occupent considérablement plus de surface au sol que le nucléaire, sont la source de nuisances sonores, visuelles, ... mais elles n'ont pas à ce jour permis d'atteindre les résultats espérés.

Plusieurs sociétés actives dans ce domaine rencontrent d'ailleurs de sérieux problèmes financiers. Les techniques de capture et de stockage de carbone ne semblent pas non plus très prometteuses au niveau industriel.

Selon de nombreuses études internationales, l'énergie solaire occupe environ 50 fois plus de surface et nécessite 20 fois plus de matériaux par kWh produit que le nucléaire : acier, cuivre, argent, mais aussi d'autres éléments plus rares comme le néodyme, le dysprosium, le sélénium, le tellurium, le cadmium, l'indium, etc... dont pour certains plus de 90% de la production mondiale est détenue par la Chine, à la différence des mines d'uranium dont la détention est mieux réparties sur la planète.

Comment se faire une idée objective de l'impact des diverses technologies sur les émissions des gaz à effet de serre (GES) ? L'application open source « electricity maps » fournit en temps réel les émissions exprimées en CO₂équivalents/kWh pour un très grand nombre de pays, et détaille les quantités d'électricité produites selon les diverses technologies ainsi que les importations-exportations. Les données sont fournies de 2017 à aujourd'hui. A partir des histogrammes publiés, nous avons extrait les valeurs annuelles suivantes pour 2024 comparé à 2017:

	CO ₂ eq/kWh (g)	vs 2017	CO ₂ eq émis Mton/an	vs 2017	% sol.	vs 2017	% éol.	vs 2017	% nucl.	vs 2017	% gaz	vs 2017	% char	vs 2017
Belgique	178	-22%	13,74	-24%	9,7	150%	18	180%	40	-23%	19	-30%	0	0%
France	53	-35%	24,65	-40%	4,3	300%	9,7	80%	69	-16%	4,3	-50%	0	0%
Allemagne	400	-24%	182,00	-38%	12	57%	32	38%	2,2	-87%	11	67%	26	-40%
Pays-Bas	301	-36%	33,71	-37%	20	780%	18	400%	3,6	33%	29	-16%	11	-57%
Gde Bretagne	201	-36%	49,45	-42%	6,1	88%	32	144%	15	-42%	35	-29%	2	-75%
Dk ouest	146	-37%	2,99	-67%	9,8	300%	61	14%	0	0%	7,3	-25%	9,8	-33%

Malgré des centaines de milliards d'euros investis, l'Allemagne est à la traîne

La première colonne indique les émissions par kWh de chaque pays. On constate que l'Allemagne est la moins bonne élève avec 400 g CO₂eq/kWh et la France affiche de loin les meilleurs résultats (53) suivie par le Danemark de l'Ouest : la Péninsule de Jutland (146) - la zone qui nous offre le plus de capacités d'échanges - et la Belgique (178). La 2^{ème} colonne reprend l'évolution des émissions relatives par rapport à 2017 : le Danemark de l'Ouest a obtenu le meilleur résultat avec une baisse des émissions relatives de 37% ; ici aussi c'est l'Allemagne qui affiche un des moins bons scores (-24%). Les 3^{ème} et 4^{ème} colonnes effectuent les mêmes analyses mais pour l'ensemble des émissions annuelles de chaque pays.

Nous analysons ensuite la contribution des moyens de production principaux par rapport à la production totale annuelle de chaque pays : pour la Belgique le solaire a contribué pour 9,7% de la production (en hausse de 150% par rapport à 2017) ; l'éolien pour 18 % (hausse de 180%), le nucléaire 40% (baisse de 23% suite à l'arrêt décidé pour raison politique de 2 tranches représentant 1/3 de la production nucléaire) et le gaz 19% (baisse de 30%).

Les pays qui ont le plus de nucléaire l'emportent au point de vue des émissions GES

Que faut-il retenir de cette analyse :

- Le **Danemark de l'ouest (Péninsule de Jutland) fait exception** grâce à son positionnement idéal en matière d'éolien et ses possibilités d'échange avec la Norvège et

la Suède pour le stockage de son excès d'éolien par pompage-turbinage. Cela rend l'électricité éolienne chère au Dk car elle exporte à prix bas (excès de production au Dk) et ré-importe à prix élevés (pénurie de production au Dk... tout bénéfice pour la Norvège)

- Les autres pays qui affichent les meilleurs scores en matière d'émission relative par kWh produit **sont ceux qui ont le plus grand pourcentage de production nucléaire.**
- L'Allemagne, malgré les **plus de 600 milliards** investis en 20 ans dans sa transition énergétique (sans compter un supplément annoncé par la Cour des Comptes DE compris entre 475 à 715 milliards pour l'adaptation du réseau HT Nord Sud à réaliser en 2024 - 2045) ne parvient pas à contrebalancer sa sortie du nucléaire. La production à base de charbon a été diminuée ; elle a été compensée par une forte augmentation de l'éolien, du solaire mais surtout du **gaz dont la production a cru de 67% depuis 2017. De toute évidence, l'Allemagne aurait dû maintenir ses réacteurs nucléaires en activité (une puissance brute de 21,5 GW en 2011 !) – ainsi elle n'aurait pas dépensé ces sommes considérables pour remplacer son parc nucléaire (par des centrales au charbon et des EnRI) et compenser l'intermittence de ces EnRI sur son réseau électrique.**

La capture et le stockage du CO₂ (inconvenients et échecs)

Certains pays comptent éliminer le CO₂ en le captant et en l'acheminant par exemple vers des réservoirs naturels souterrains où il sera stocké ; c'est le fameux **CCS (Carbon Capture and Storage)**. En Norvège, près de 2 milliards d'euros ont déjà été investis dans le projet « Northern Lights » (dont 130 millions par l'Union Européenne). La première étape du projet vient d'être inaugurée ; elle devrait permettre de stocker 1,5 mégatonnes de CO₂ par an ; un stockage de 5 mégatonnes est planifié dans une deuxième phase. Rappel : en 2022 en Belgique, les émissions de gaz à effet de serre s'élevaient à 103 millions de tonnes (mégatonnes) de CO₂ équivalent. À titre d'ordre de grandeur, durant ces dernières années dans le monde, les émissions anthropiques de CO₂ sont d'environ 42 Gt (milliards de tonnes ou gigatonnes) par an dont 35 Gt pour les émissions fossiles.

Chez nous, des acteurs se positionnent : Fluxys pour l'acheminement du CO₂ via le réseau de canalisations qu'elle a décidé de développer, à savoir : Zeebrugge pour le transfert via pipeline, Anvers et Gand qui envisagent le transfert maritime. Si l'ensemble de ces projets aboutissent ils pourraient éliminer la moitié des émissions annuelles de notre pays. **Il faudra donc dix projets CCS de type « Northern Lights » pour accueillir 50% des émissions de notre petit pays !**

Le CCS fait toutefois l'objet de vives oppositions de certains défenseurs de l'environnement. C'est notamment le cas de Greenpeace pour qui il constitue une « **chimère : c'est verser dans la procrastination** ». **Selon cette ONG les projets actuels s'avèrent pour la plupart risqués techniquement, font face à des incertitudes géologiques et sont très coûteux économiquement ; ils accusent des retards importants lorsqu'ils ne sont pas carrément annulés.**

Deux projets européens Sleipner et Snöhvit en Norvège sont confrontés à d'importantes difficultés : à Sleipner le CO₂ se répand dans des couches où il n'était pas destiné ; à Snöhvit, les tentatives d'injection ont dû être interrompues car la pression souterraine augmentait trop rapidement. Un projet au Maroc a complètement échoué : le CO₂ remontait à la surface. Aujourd'hui, le CCS est encore très peu répandu : **en 2022 environ 44 mégatonnes de CO₂ ont été capturées sur 35 sites d'exploitation dans le monde, alors que la Commission Européenne vise 280 mégatonnes annuels pour 2040 et 450 pour 2050 (4,5 fois les émissions de la Belgique en 2022 !).**

L'éolien offshore fait face à des difficultés

Si de nombreux projets dans le nucléaire ont fait face à des difficultés économiques dans nos pays, le secteur éolien offshore n'est pas épargné par ce phénomène. Selon le Wall Street Journal, au moins **10 projets offshore - pour un total estimé à environ 33 milliards US \$ d'investissements - ont été retardés ou ralentis aux États Unis et en Europe ces dernières années**. En outre, alors que l'AIE (l'Agence Internationale de l'Énergie, Paris) estime qu'il faudrait dépasser les 2.000 GW de capacité éolienne offshore installée pour 2050, on avait atteint fin 2022 seulement 64 GW.

6. Le nucléaire durable : la Génération IV à l'horizon 2040

Le nucléaire bénéficie d'un nouvel essor dans de très nombreux pays : mise en chantier de dizaines de réacteurs et développement de la Génération IV destinée à optimiser l'utilisation de la ressource uranium, à exploiter le potentiel de cogénération (électricité – chaleur à haute température), à recycler les combustibles usés, à réduire la toxicité, la quantité et la durée de vie des déchets ultimes et à améliorer encore la sûreté et la résistance à la prolifération.

Dans sa déclaration finale, la COP28 (décembre 2023, Dubaï aux Émirats arabes unis) n'a pas seulement insisté sur la nécessité d'éliminer les énergies fossiles (pétrole, gaz, charbon). Le texte a aussi appelé à « accélérer » le développement du nucléaire, en tant que source d'électricité bas-carbone. Pour Rafael Mariano GROSSI, « **l'inclusion de l'énergie nucléaire** » dans le texte « **démontre qu'il existe désormais un consensus mondial sur la nécessité de développer cette technologie propre et fiable pour atteindre nos objectifs vitaux en matière de changement climatique et de développement durable** ».

23 pays dans le monde s'engagent pour le nucléaire

Vingt-trois pays ont appelé à tripler les capacités nucléaires installées dans le monde d'ici à 2050 : USA, Emirats Arabes Unis, France, Bulgarie, Canada, Finlande, Ghana, Hongrie, Japon, Corée du Sud, Moldavie, Mongolie, Maroc, Pays-Bas, Pologne, Roumanie, Slovaquie, Slovénie, Suède, Ukraine, République tchèque et Royaume-Uni. Depuis le 18 février 2025, par décision de notre nouveau ministre fédéral de l'Énergie, Mathieu Bihet, la Belgique est devenue, à part entière, le 24^{ème} membre de ce groupe de pays.

Espoir de changement radical dans le développement du nucléaire ? On vient de loin ! Il est manifeste que, dans une première étape, ce sont les technologies actuelles (Génération III) qui seront sollicitées. En effet après 30 ans de « nuclear bashing », il faut relancer la machine, commencer par prolonger la durée de vie des réacteurs actuels et préparer la construction de nouveaux réacteurs pour remplacer la flotte actuelle qui arrivera en fin de vie dans les prochaines décennies – le tout, bien entendu, sous le contrôle des Autorités de Sûreté compétentes.

Le nucléaire durable : Génération IV

Si on se projette au-delà de quelques années (horizon 2040), on développera à l'échelle industrielle des technologies de Génération IV, c.-à-d. des systèmes (réacteurs de puissance – traitement du combustible) basés sur des neutrons rapides (également appelés « réacteurs rapides ») et des nouveaux caloporteurs permettant de monter très haut en température⁽³⁾. Les SMRs (Small Modular Reactors), réacteurs de petite puissance (< 300 MW) qui peuvent répondre à des besoins spécifiques industriels ou résidentiels en électricité et chaleur, pourront aussi tirer parti de ces technologies avancées.

Pour être classé dans la catégorie Génération IV, un réacteur doit répondre à cinq critères fondamentaux tels que définis par le GIF (« Generation IV International Forum »), à savoir:

- Meilleure utilisation des ressources naturelles (en particulier, l'uranium-238 très abondant) et réutilisation de l'uranium et du plutonium retirés des réacteurs existants
- Minimisation de la production de déchets : recyclage intégral par transmutation des actinides mineurs (les plus radioactifs, tels que americium, neptunium et curium)
- Amélioration de la sûreté en conditions opérationnelles et accidentelles (en particulier, par une approche globale de type système et par des technologies dites passives)
- Économie : minimisation des coûts d'investissement et de fonctionnement sur toute la durée de vie (compétitivité par rapport aux autres sources d'énergie bas-carbone)
- Résistance accrue à la prolifération : élimination du plutonium, fermeture complète du cycle du combustible nucléaire par des nouvelles technologies de retraitement.

Optimiser l'utilisation de la ressource uranium

Les réacteurs de Génération IV à neutrons rapides sont capables d'utiliser les différents isotopes de l'uranium (en particulier par la conversion ou transmutation de l'U238 fertile en Pu239 fissile) permettant de **gagner un facteur de 50 sur la production d'énergie** à partir de la même quantité d'uranium naturel que celle utilisée dans les Générations II et III à neutrons lents. Ils permettent aussi de réduire les déchets ultimes au strict minimum puisque les transuraniens (americium, neptunium et curium) sont transmutés ne laissant que des produits de fission avec une durée de vie 1.000 fois plus courte que dans les réacteurs actuels : **environ 300 ans au lieu de 300.000**. Les réacteurs à neutrons rapides peuvent en outre être alimentés par les combustibles usés des réacteurs des premières générations après retraitement adéquat.

C'est ainsi qu'en France l'alimentation de réacteurs de Génération IV par les stocks actuels des matières énergétiques issues des premières années de son histoire nucléaire, scientifique et industrielle permettrait **d'assurer l'autonomie énergétique du pays pour plusieurs millénaires** en étant capables de produire quelques 10 millions de TWh. La Belgique se trouve dans une position plus ou moins similaire avec son stock de combustible usé résultant de plus de quarante ans de fonctionnement de son parc de 6 GW nucléaire... pour autant que le moratoire de 2000 sur le retraitement soit levé et que l'on abroge la loi du 31 janvier 2003 sur la sortie progressive de l'énergie nucléaire.

La sûreté encore accrue

En termes de sûreté et de fiabilité, les réacteurs de Génération IV excellent, notamment grâce à un grand nombre de systèmes dits « passifs ». Ceux-ci ne nécessitent pas d'intervention active de l'opérateur, ni de source d'énergie électrique : ils contrôlent le déroulement de l'accident de manière « passive ». Cela s'opère généralement en utilisant la force de gravité, les différences de

pression, la conduction ou la convection naturelle,... sans recours à une source d'énergie extérieure. Le but est de **minimiser les conséquences d'un accident sans avoir à solliciter d'intervention extérieure**. Une avancée significative !

Les réacteurs à neutrons rapides, une technologie déjà bien maîtrisée

Environ 20 réacteurs à neutrons rapides (RNR) refroidis au sodium ont été construits, cumulant plus de 400 années-réacteurs de fonctionnement à l'échelle mondiale. Le plus grand était le réacteur rapide refroidi au sodium Superphénix (mis en service en 1986) en France, conçu pour fournir 1.200 MWe⁽⁴⁾. Celui-ci a produit 3,4 TWh pendant environ 8 mois durant la dernière année de son fonctionnement (1996) avant d'être définitivement arrêté en 1997 sur décision politique. Il lui manquait toutefois quelques caractéristiques attendues d'un réacteur de 4^{ième} génération. Le projet du CEA « Astrid » (« Advanced Sodium Technological Reactor for Industrial Demonstration ») devait y pourvoir. Il fut malheureusement également interrompu en 2019 pour des raisons politiques contre l'avis des scientifiques et des ingénieurs.

En réalité, les réacteurs rapides sont étudiés depuis les années 1950, car ils offrent de nombreux avantages par rapport au parc existant de réacteurs à neutrons lents refroidis et modérés à l'eau. La France fut pionnière dans ce domaine: Rapsodie (1967), Phénix (raccordé au réseau de 1973 à 2009), Superphénix (1986). D'autres grands pays ont également développé des prototypes de RNR : États-Unis, Russie, Royaume-Uni, Japon, Inde et Chine.

La Belgique a aussi eu son programme de réacteur rapide, en consortium avec les Allemands et les Pays-Bas : le réacteur SNR300 ("Schneller Natrium Reaktor" / 300 MWe /), refroidi au sodium à Kalkar en Rhénanie-du-Nord-Westphalie (Allemagne). Ce réacteur a été construit à 90% en 1986 : deux cœurs de réacteur ont été fabriqués en Belgique par la société Belgonucléaire à la pointe de la technologie MoX (mélange d'oxydes d'uranium et de plutonium). C'est pour pouvoir fabriquer ces cœurs MoX que la Belgique retirait son combustible PWR usé à La Hague pour en extraire le Plutonium nécessaire dans les réacteurs rapides tels que SNR300. Mais le chantier SNR300 a été arrêté pour des raisons politiques et au final le chantier abandonné et converti en parc de loisirs avec nombreuses activités sportives. Les deux cœurs de SNR300 ont été reconvertis en combustible MoX adapté pour les réacteurs PWR.

La Russie et la Chine sont à la pointe

En revanche **plusieurs réacteurs de type « avancé » sont opérationnels** sous d'autres cieux.

En Russie, il y a une longue expérience en RNRs refroidi au sodium : le BN-350 au Kazakhstan (réacteur rapide achevé en 1973 et en fonctionnement durant 27 ans) servant moitié pour l'électricité et moitié pour le dessalement de l'eau de mer ; le prototype BN-600 à Beloyarsk qui a été mis en opération en 1981 ; le BN-800 également à Beloyarsk a été mis au réseau en 2016.

En Chine, il y a la centrale Shidao Bay constituée de deux réacteurs de 250 MWth chacun qui sont de type « avancé », à savoir : HTR (« High Temperature Reactor ») à neutrons lents, modéré au graphite et refroidi à l'Helium (température de sortie du cœur : 750 °C). Cette technologie HTR a été développée, testée puis abandonnée en Allemagne : il s'agit d'un des premiers SMRs au monde – ce premier module de deux petits réacteurs a été connecté au réseau tout récemment – quatre autres modules semblables vont suivre (chacun avec une turbine à vapeur de 210 MWe).

Le Japon dispose lui aussi d'un prototype de réacteur HTR à très haute température (900°C sortie cœur). On peut également citer le réacteur rapide CFR-600 chinois en construction qui s'inscrit

dans l'ambitieux programme électronucléaire de la Chine qui vise d'atteindre 100 GW en 2025 et 200 GW en 2035, faisant de ce pays le premier producteur nucléaire au monde devant les États-Unis et la France. Aux États-Unis, TerraPower (fondée par Bill Gates en 2016 en partenariat avec GE Hitachi Nuclear Energy) vient de lancer la construction du réacteur rapide « Natrium » de 345 MWe qui devrait être opérationnel aux alentours de 2030.

Le projet MYRRHA en Belgique, un réacteur rapide pour gérer les déchets radioactifs

Dans notre pays, **MYRRHA** (« Multi-purpose hYbrid Research Reactor for High-tech Applications ») du Centre de Recherche Nucléaire SCK/CEN à Mol sera le **premier réacteur nucléaire de recherche à grande échelle au monde**, piloté par un **accélérateur de particules**. Il s'agit d'un réacteur nucléaire sous-critique à neutrons rapides, refroidi au Plomb-Bismuth, et piloté par un accélérateur linéaire de particules qui alimente le cœur du réacteur en protons générant un flux de neutrons rapides par réaction de spallation. En raison de la concentration sous-critique de la matière fissile dans le réacteur, **la réaction nucléaire ne peut être maintenue en fonctionnement que par l'accélérateur de particules extérieur couplé au réacteur**. Si le faisceau de protons émis par l'accélérateur est interrompu, la réaction nucléaire s'arrête instantanément et en toute sûreté.

L'objectif de MYRRHA est de faire la démonstration technique du système piloté par accélérateur et de prouver la faisabilité de la transmutation des actinides mineurs à l'échelle industrielle. En réduisant la radiotoxicité, on pourrait réduire le volume des déchets radioactifs de haute activité de 95 % et ramener la durée d'entreposage nécessaire à seulement 300 ans. Le cœur du réacteur, conçu de manière flexible, peut en effet être chargé avec du combustible à mélange d'oxydes (MoX), des actinides mineurs mais également des cibles pour la production d'isotopes médicaux. Des dispositifs permettront de réaliser des tests d'irradiation et de corrosion sur les futurs matériaux structurels des réacteurs à fission rapide et même des futurs réacteurs de fusion.

Le gouvernement belge avait investi quelque 200 millions d'euros dans le projet, avec un supplément de 558 millions d'euros en 2018 pour la période 2019-2038 sur la base d'un budget global estimé à environ 1,6 milliard d'euros. En 2022, le gouvernement a aussi doté le SCK/CEN de Mol d'un montant de 100 millions d'euros pour contribuer au développement international d'un prototype de réacteur à neutrons rapides SMR critique refroidi au plomb – profitant de l'expérience acquise dans MYRRHA qui développe une technologie très proche.

7. Que veulent les citoyens ?

Que ce soit via des enquêtes d'opinions ou lorsqu'elle s'exprime par voie démocratique, la majorité de la population opte pour le renouveau du nucléaire que ce soit en Belgique ou en Europe.

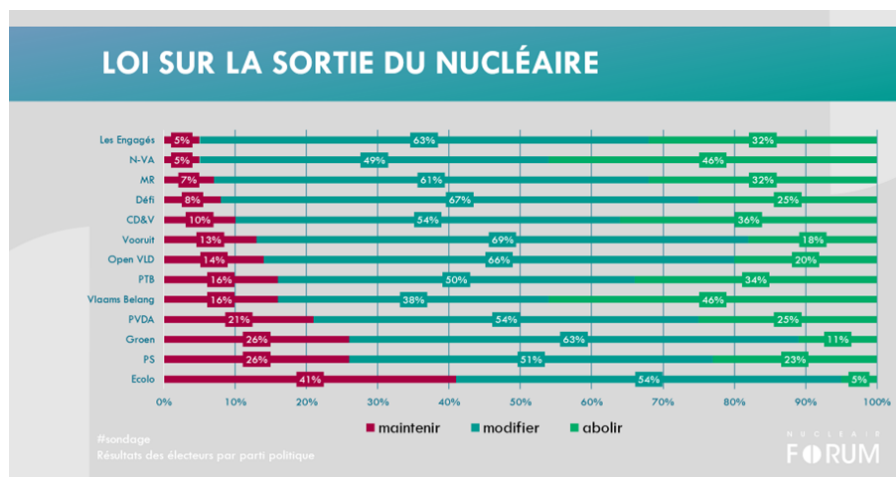
A la demande du Forum Nucléaire belge, une étude réalisée par la société indépendante AQrate a été réalisée en mars 2024⁽⁵⁾. Celle-ci a porté sur un échantillon représentatif constitué de 2.400

personnes (1.000 en Flandre, 1.000 en Wallonie, 400 à Bruxelles) identifiant les opinions exprimées en fonction des partis auxquels ces personnes ont indiqué marquer leur préférence.

Une large majorité de Belges favorable au nucléaire

La conclusion est sans appel : **les électeurs de tous les partis sont partisans du nucléaire en abrogeant la loi 2003 de sortie progressive du nucléaire – il s’agit de prolonger la durée de vie des réacteurs existants et de permettre la construction de nouvelles centrales.**

- 7 Belges sur 10 veulent prolonger la durée de vie de plus de deux réacteurs pendant plus de 10 ans : 84% d’électeurs MR, 78 % pour le PS, 77% pour le PTB, 73% pour les Engagés, 26% pour les Ecolos.
- Les avis vont dans le même sens pour ce qui concerne le prolongement de Doel 4 et de Tihange 3 pour 20 ans au lieu de 10 ans : 86% MR, 80% Engagés, 75% PTB, 72% PS et même 33% Ecolo.
- Seuls 16% de la population belge souhaitent le maintien de la loi sur la sortie du nucléaire : 10% maximum pour les Engagés, la N-VA, le MR, Défi et CD&V ; 26% pour Groen et le PS ; à peine 41% pour Ecolo.



La vérité du vote démocratique

Certains opposants au nucléaire contestent l’objectivité de cette enquête. Comme toute enquête, elle a certes ses limites. Les élections législatives fédérales belges du 9 juin 2024 ont également démontré une nette volonté pour un changement radical de politique. Rappelons qu’en Wallonie, **MR et Engagés ont vu leur score électoral augmenter de 17,9 %** par rapport au total des votes (totalisant à eux deux 50,3% des votes), alors que les Écologistes voyaient le leur passer de 14,5 à 7% ; en Flandre Groen est passé de 10,1 à 7,3%. À eux deux, Groen et Ecolo sont ainsi passés de 21 à 9 sièges (sur 150) au niveau fédéral. Les membres de la coalition Arizona, qui s’est formée le 31 janvier 2025 avec Les Engagés, MR, Vooruit, CD&V et N-VA, ont convergé vers un accord qui met la relance du nucléaire au centre de ses préoccupations majeures.

En France, aux élections européennes de juin 2024, EELV (Europe Écologie Les Verts) a récolté un maigre 5,5% ! En Allemagne « Die Grünen » a récolté un maigre 11,9 % ! Au total, au Parlement Européen, les Verts, opposés farouches au nucléaire et promoteurs des 100% EnRI, sont passés de 72 à 53 sièges soit 7,22% du nombre de représentants.

8. La vision de 100TWh pour une transition durable ⁽⁶⁾

Pour que la transition vers le mix énergétique nécessaire à assurer la production d'électricité décarbonée soit socialement durable, 100TWh estime que 7 conditions sont nécessaires et qu'il faudra satisfaire à 3 exigences.

Pour notre association 100TWh, l'objectif premier de la transition énergétique est **d'arriver à ce que toute l'électricité consommée en Belgique soit produite de manière socialement durable**. Cela s'applique bien entendu à la production d'électricité (rappel : 79,3 TWh en 2023), mais devrait être étendu plus tard à toute l'énergie primaire consommée (rappel : 571 TWh en 2023 - qui sont essentiellement fournis par des combustibles fossiles / 71 % /). L'électrification croissante de notre économie dans un but de décarbonation impliquera **d'au moins doubler** notre production d'électricité d'ici 2040, même si on s'inscrit dans une logique d'efficacité énergétique et d'économie circulaire et qu'une certaine sobriété énergétique est mise en œuvre.

Les 7 conditions nécessaires pour atteindre cet objectif :

Ces dernières décennies ont été marquées dans notre pays par une politique énergétique dominée par une idéologie (l'électricité dite « verte ») qui a conduit en 2003 à planifier l'arrêt de la production et de toute activité de recherche dans le nucléaire, à l'exception de la production de radio-isotopes à destination médicale et de petits réacteurs pilotables. Notre association 100TWh est convaincue qu'une remise en cause radicale de cette politique est indispensable en tenant compte des 7 conditions suivantes :

- i. **Le secteur de production – transport - distribution de l'électricité doit être capable de satisfaire la demande des entreprises et des ménages – il doit également être résilient.** Il devra à tout moment disposer de la capacité nécessaire pour répondre aux besoins, résister aux aléas et participer à la solidarité « énergétique » entre les États membres de l'UE. Compter jusqu'à 38% d'importations d'électricité par an, comme le préconise Elia, nous paraît irréaliste.
- ii. **Le secteur électrique doit viser la souveraineté et l'indépendance par rapport aux fournisseurs hors espace économique européen.** Nous devons avoir la maîtrise de notre approvisionnement non seulement en électricité mais également en ressources naturelles, technologies et équipements énergétiques. Pour ce qui concerne le nucléaire, la fermeture du cycle du combustible et le recours à la Génération IV (réacteurs à neutrons rapides) nous assurera à l'horizon 2040 une très grande indépendance en matière de combustible pour des siècles.
- iii. **Dans un mix optimisé, le nucléaire de puissance doit assurer la charge de base du réseau électrique.** Que ce soit pour des raisons de stabilité du réseau électrique, de résiliences techniques ou de retour sur investissements financiers, ce sont les réacteurs nucléaires de puissance qui sont les plus indiqués pour assurer la base dans un mix optimisé visant à garantir la sécurité de notre approvisionnement électrique 24/7/365.

- iv. **Les surcoûts pour stabiliser le réseau électrique en cas d'injection massive de renouvelables non pilotables doivent leur être imputés.** La production d'électricité doit équilibrer la demande à tout moment (loi physique fondamentale). Il faut donc que les producteurs d'EnRI, présents sur le réseau, s'engagent à pallier les intermittences en supportant les coûts qui y sont associés : batteries, centrales de pompage-turbinage, interconnexions, importations de l'étranger. Il faut donc calculer et appliquer les coûts actualisés complets, c.-à-d. LFSCOE (Levelized Full System Cost of Electricity).
- v. **Dans le mix énergétique, les proportions de nucléaire pilotable et de EnRI non pilotable doivent être optimisées** afin de rendre le réseau et le prix de l'électricité stable, prévisible et le moins cher possible. Une étude de l'OCDE (Agence de l'Energie Nucléaire AEN – 2019) démontre que le coût d'un mix électrique très décarboné est acceptable tant que l'injection d'électricité dans le réseau en provenance de sources intermittentes non-pilotables reste inférieure à environ 40 %. Ce pourcentage dépend de beaucoup de facteurs, par exemple les conditions géographiques des sites d'installation des sources intermittentes. Assurer à l'échelle d'un pays 100% de la production électrique (a fortiori énergétique) par des EnRI, nécessairement associées à des mesures de compensation de leur intermittence, est un non-sens : c'est intenable physiquement pour le réseau et économiquement pour la société.
- vi. **Certains systèmes de production d'électricité devraient travailler hors réseau ou en mode hybride.** Il faudrait encourager certains producteurs (notamment les propriétaires de panneaux solaires et de petites éoliennes) à utiliser et à stocker eux-mêmes ou via des pools, cette électricité « verte » produite localement. Rappelons que l'injection intempestive et/ou massive d'électricité « verte » dans le réseau perturbe son fonctionnement et peut mener à des instabilités aux conséquences graves (black-out). De plus, les investissements phénoménaux qui sont faits pour garantir la stabilité du réseau dans ces cas, sont, bien entendu, à charge de l'ensemble de la communauté.
- vii. **Les subsides à la production décarbonée doivent être supprimés ainsi que toutes les mesures qui faussent le marché.** Le mécanisme de fixation des prix doit être le reflet des coûts réels moyens totaux (et non des coûts variables marginaux, c-à-d ceux de la dernière centrale électrique mise sur le réseau). Il faut attirer les investisseurs sur des bases saines, plutôt que des subsides. On pourrait employer les mécanismes de financement tels que « Contract for Difference » et « Regulated Asset Base », déjà utilisés avec succès par de nombreux pays pour des grosses installations énergétiques ⁽⁷⁾ Ils permettent en effet une répartition plus juste des risques et des bénéfices encourus par les producteurs (les industriels) et les consommateurs (représentés en général par l'État) lorsque les capitaux engagés et la durée des installations sont assez importants.

Les exigences pour un nucléaire socialement durable

Comme la production d'électricité fera appel au nucléaire pour une partie importante de la demande, son exploitation devra se faire dans des conditions de sûreté adéquates et intégrer les coûts de la gestion des combustibles usés et du démantèlement (dans une logique de LFSCOE).

- **La sûreté nucléaire doit être maintenue au plus haut niveau** dans le respect strict des normes et contraintes imposées par les organismes de contrôle compétents.

- **La gestion des combustibles usés doit être optimisée.** Dans une première étape en les stockant de manière sûre en attente de leur enfouissement en couches géologiques profondes et, à plus long terme, de leur retraitement et réutilisation pour alimenter les réacteurs de 4^{ème} génération à neutrons rapides (comme dans le projet MYRRHA).
- **La formation et la recherche doivent être relancées.** La Belgique a été un pionnier en la matière depuis les années 1950 - elle doit le redevenir. C'est dans cette optique qu'a été créé en 2001 le BNEN (« Belgian Nuclear higher Education Network ») dans lequel collaborent le SCK/CEN et six de nos universités (francophones et néerlandophones) pour la réalisation d'un « master after master program ». Celui-ci fait partie, au niveau européen, de ENEN (« European Nuclear Education Network ») dont le secrétariat est à Bruxelles (69 instituts de recherche-enseignement nucléaire dans l'UE et 31 en dehors).

9. Pour un renouveau énergétique belge et européen

C'est sur le socle de l'énergie et de l'industrie que l'Union Européenne a été bâtie : le charbon et l'acier en 1951 (Traité CECA) et le nucléaire en 1957 (Traité Euratom).

Aujourd'hui un nouveau souffle est nécessaire. Il faudra prendre des décisions ambitieuses en matière d'énergie pour maintenir sur notre continent une économie basée sur des activités industrielles, prémices du bien-être de la population.

De nombreux pays réinvestissent – en particulier ceux qui ont subi les accidents

Three-Mile Island (1979), Tchernobyl (1986) et Fukushima (2011) ont créé parmi la population un sentiment de crainte concernant la fission nucléaire. Aujourd'hui, la Russie et la Chine sont à la pointe dans le développement du nucléaire durable au sens du GIF (Generation IV International Forum). Le Japon, pays de Fukushima, a relancé son programme de redémarrage et de développement nucléaire : 14 réacteurs (sur un total de 33) ont redémarré et 11 réacteurs sont actuellement en cours d'autorisation de redémarrage.

Aux États-Unis le besoin croissant en électricité des Data Centers va remettre en opération le réacteur numéro 1 sur le site même de Three-Mile Island où le premier accident nucléaire dans un réacteur de puissance s'est produit en 1979 (impact économique mais sans rejet radioactif significatif). À noter que ce réacteur numéro 1 avait été arrêté en 2019 pour raisons économiques...le « vent » a donc tourné après cinq ans d'arrêt - preuve que l'on peut économiquement et techniquement redémarrer des réacteurs après plusieurs années d'arrêt !

L'incompréhensible politique énergétique européenne (un échec)

Dans l'UE, force est de constater que les **milliards d'euros dépensés ces dernières décennies en faveur d'une injection massive des EnRI ont conduit à un échec**. Les résultats escomptés ne sont pas au rendez-vous (rapport Draghi en septembre 2024). En 2024, en Europe, les prix de

gros du gaz ont été en moyenne cinq fois plus élevés qu'aux États-Unis, et ceux de l'électricité deux à trois fois plus élevés.

La dépendance énergétique de l'UE vis-à-vis du monde extérieur reste très forte, en particulier à l'égard des États-Unis et du Moyen-Orient en ce qui concerne le gaz et le pétrole. En 2022, l'UE dépendait à plus de 62 % des importations énergétiques, selon Eurostat, en hausse de 12 %. De plus, le bilan de l'action européenne contre le réchauffement climatique est décevant : en 2023, les émissions de GES dans l'UE étaient inférieures de 37 % au niveau de 1990, à mettre en perspective avec l'objectif climatique pour 2030, à savoir une réduction d'au moins 55 %. D'autre part, de nombreuses industries énergivores s'expatrient, les dettes des États explosent bien au-delà des « normes » européennes, le niveau de vie moyen des citoyens est à la baisse...Et il faut continuer à financer beaucoup de politiques essentielles : l'école, la santé, la défense, la justice, la police, la solidarité ...

L'incertitude règne quant à la sécurité de l'approvisionnement électrique dans le futur. En particulier en Belgique, on peut citer le rapport ELIA de 2021 rédigé à la demande de la Ministre de l'énergie (2020 – 2024) : « passons-nous de nucléaire... on construira 4 GWe de centrales à gaz et on importera 30% de nos besoins !!! ». En essayant de nous rendre indépendants de l'étranger pour les sources d'énergie fossiles traditionnelles, nous nous rendons dépendants des matériaux de base nécessaires au déploiement des EnRIs (en particulier les terres rares provenant de Chine) et du gaz naturel liquéfié (en particulier le gaz de schiste provenant des États-Unis).

Ces échecs de la politique énergétique européenne en matière de coûts de l'énergie, de nouvelles dépendances de l'extérieur et d'émissions de GES appellent aujourd'hui un changement radical de priorités, remettant le nucléaire en haut de l'agenda.

Une vision d'avenir

Nous devons développer une vision qui va jusqu'à l'horizon 2050 et qui apporte une solution aux défis évoqués plus haut.

A l'instar de beaucoup d'autres pays, la Belgique doit retrouver la place qu'elle occupait jadis dans le déploiement du nucléaire pour réaliser avec succès la transition énergétique, qui soit:

- la plus **sûre** en termes d'approvisionnement car elle ne dépend pas des aléas climatiques
- la plus **fiable** en termes de stabilité du réseau de transport électrique car, pilotable, elle s'adapte à la demande des consommateurs (particuliers et industries)
- la plus **économique** car elle ne nécessite pas des investissements gigantesques dans le développement du réseau électrique, dans la construction de centrales à gaz, de parcs de batteries ou toute autre solution pour faire face aux intermittences. De plus investir aujourd'hui dans une centrale nucléaire est un investissement pour 60 ans, remboursé en quelques décennies... donc un cadeau pour les générations futures.
- la plus **respectueuse de l'environnement** car, totalement décarbonée au cours de son cycle de vie, elle utilise au mieux les matières premières, occupe un minimum de surface au sol, peut recycler les combustibles usés (voir MOX et/ou Génération IV)

- la plus **sociale** car elle procure du travail hautement qualifié chez nous à différents niveaux bien rémunérés (tels que ouvriers, techniciens, ingénieurs, scientifiques...)
- celle qui peut nous permettre de retrouver un **haut niveau d'indépendance et de souveraineté énergétique** dont nous avons bénéficié dans le passé en ce qui concerne notre alimentation électrique dont le volume est appelé à doubler. Si l'on passe aux réacteurs de 4^{ème} génération, nous pourrions même recycler le combustible utilisé que nous avons en stock et atteindre ainsi une très grande autonomie en électricité pour des siècles.

Atteindre le bon équilibre entre nucléaire et EnRI

Quelle proportion faut-il respectivement accorder au nucléaire et aux EnRI ? Rappelons qu'une étude de l'OCDE (Agence de l'Energie Nucléaire AEN – 2019) démontre que le coût d'un mix électrique très décarboné est acceptable tant que l'injection d'électricité dans le réseau en provenance de sources intermittentes non-pilotables reste inférieure à environ 40 %. D'autres études (comme celles de EDF et RTE en France) arrivent à la même conclusion. Rappelons également qu'il faut garantir la fiabilité et la stabilité du réseau électrique pour équilibrer à tout moment 7/24/365 l'offre et la demande : cela exige des centrales électriques dites de base qui fonctionnent de manière continue et efficace – le nucléaire représente idéalement cette charge de base robuste nécessaire dans un mix décarboné contenant des EnRI non pilotables

Il faut agir maintenant

Dans la vision de 100TWh pour une transition énergétique socialement durable, des décisions urgentes sont nécessaires :

- **abrogation de la loi de 2003** de sortie progressive du nucléaire, faute de quoi aucun investisseur privé ne va s'impliquer ; le peu qui sera fait le sera au prix fort, à charge du citoyen et des entreprises
- **prolongation** de la durée de vie de tous les réacteurs existants en tenant compte des normes de sûreté; cela implique que des mesures conservatoires soient prises dès à présent sur les réacteurs déjà à l'arrêt ou en passe de l'être
- décision rapide quant au **stockage en toute sécurité** des combustibles usés en attente de leur enfouissement géologique profond et/ou retraitement et recyclage (Génération IV)
- mise en chantier de **nouveaux réacteurs** utilisant les technologies bien connues
- développement industriel des réacteurs rapides **Génération IV** à l'horizon 2040
- intensification de la formation et de la recherche dans le domaine du nucléaire.

L'enquête réalisée récemment et les dernières élections législatives de 2024 ont montré que le **citoyen se prononce en faveur de la relance du nucléaire.**

Aux autorités politiques de ne pas le décevoir.

Références

- (1) "Comment marche vraiment le monde: le guide scientifique du passé, du présent et du futur", par Vaclav Smil, 1 juillet 2024" (368 pages - ISBN 978-2-84225-290-8)
<https://store.cassini.fr/fr/documents-essais-culture-scientifique/150-comment-marche-vraiment-le-monde.html>
- (2) SEII Série Digest#14 Fission nucléaire : stratégie pour un nucléaire durable en Belgique et en Europe (du 18 septembre au 6 novembre 2024) par Marc Deffrennes et Yves Ronsse
<https://seii.org/serie-digest/serie-digest14-fission-nucleaire-strategie-pour-un-nucleaire-durable-en-belgique-et-en-europe-serie-en-cours/>
- (3) "Handbook of Generation IV Nuclear Reactors", 2nd Edition - December 7, 2022, editor: I.L. Piro and co-authors (including Georges Van Goethem), Elsevier - Woodhead Publishing, Kidlington, UK, (1079 pages - ISBN: 9780128205884) -
<https://shop.elsevier.com/books/handbook-of-generation-iv-nuclear-reactors/pioro/978-0-12-820588-4>
- (4) "L'urgence du nucléaire durable" par Claire Kerboul, mars 2023 (176 pages – ISBN: 9782807357488) - <https://www.deboecksuperieur.com/ouvrage/9782807357488-l-urgence-du-nucleaire-durable>
- (5) "Sondage nucléaire mars 2024 - Les électeurs de tous les partis sont de fervents partisans des réacteurs nucléaires existants et nouveaux" par le Forum Nucléaire belge, 5 juin 2024 -
<https://www.forumnucleaire.be/sondage-nucl%C3%A9aire-politique-2024>
- (6) "100TWh Conference-debate on the prolongation of Tihange1", Gembloux, 23 January 2025 by Energy Transition platform of the FABI and citizens association 100TWh (chairman Henri Marenne) - <https://100twh.be/MEMBERS/invitation-to-the-fabi-100twh-conference-debate/>
- (7) "Économie de l'énergie nucléaire – 2 volumes / 1 - Analyse économique du cycle électronucléaire / 2 - Enjeux dans la transition énergétique /" Novembre 2022 - sous la direction de Jacques Percebois, Université de Montpellier, France -
<https://www.connaissancedesenergies.org/parution-de-louvrage-economie-de-lenergie-nucleaire-extraits-221219> et <https://www.connaissancedesenergies.org/tribune-actualite-energies/quelles-solutions-pour-financer-le-nouveau-nucleaire-et-les-renouvelables>

Pour une société durable

La fission nucléaire : une partie de la solution pour une énergie économique, fiable et respectueuse de l'environnement

Table des matières

1. Le nucléaire est-il dangereux ?
2. Comment encore améliorer la sûreté de nos réacteurs ?
3. Le nucléaire est-il plus cher ?
4. Les Énergies Renouvelables Intermittentes sont-elles fiables ?
5. Les EnRI et la capture de CO₂ tiennent-ils leurs promesses de décarbonation ?
6. Le nucléaire durable : la Génération IV à l'horizon 2040
7. Que veulent les citoyens ?
8. La vision de 100TWh pour une transition durable
9. Pour un renouveau énergétique belge et européen

.....

Qui est 100TWh ?

100TWh est une ASBL – VZW créée en septembre 2022. Nous sommes un groupe de citoyens belges (francophones et néerlandophones) actifs dans le débat sur l'avenir énergétique de la Belgique, en particulier dans le contexte de la loi 2003 de sortie progressive du nucléaire (avec l'échéance politique de 2025). Nous fournissons des informations sur le rôle central de l'énergie nucléaire dans le mix électrique belge décarboné. Nous plaidons en faveur d'une proportion d'environ 50 % d'énergie nucléaire dans ce mix électrique afin d'assurer la sécurité de notre approvisionnement et la stabilité des prix de l'électricité. Nous sommes indépendants du secteur de l'énergie. Contact : info@100TWh.be.

Mentionnons également la collaboration étroite avec « weCARE », une alliance européenne d'ONGs, basée à Bruxelles et inscrite au registre de transparence de l'UE sous le numéro 473723535459-78. Il s'agit d'une dizaine d'associations de citoyens en Europe partageant la même vision que 100TWh. Voici la liste actuelle des membres de « weCARE » : 100TWh BE, Jihocesti TatKove CZ, Ekomodernist FI, Sauvons le Climat FR, Patrimoine Nucléaire et Climat FR, 18for0 IE, Stichting EnergieTransitie en Kernenergie NL, Institute for Sustainable Energy PL, European Association for Energy Security SK, Terrapraaxis UK (<https://www.wecareeu.org>).