

Louvain School of Management

L'impact du nucléaire sur la stabilité des prix de l'électricité et son approvisionnement dans le contexte actuel de l'industrie de l'énergie en Belgique ?

Auteur : BRAHY Quentin
Promoteur : De WOLF Daniel
Année académique 2023-2024
Travail de fin d'études (TFE) en vue d'obtenir le titre de
Master 120 en sciences de gestion à finalité spécialisée
Horaire de jour

Déclaration

Au cours de la préparation de ce travail de fin d'étude, l'auteur a utilisé ChatGPT, un assistant d'écriture piloté par l'IA.

[RAISON] : ChatGPT a été utilisé pour générer des idées initiales liées au sujet de recherche qui, dans certains cas, ont servi de point de départ pour l'approfondissement de ces recherches.

Après avoir utilisé ChatGPT, l'auteur a réécrit avec diligence le contenu produit par l'outil. J'assume l'entière responsabilité du contenu final présenté dans cette thèse.

En signant cette déclaration, j'affirme que le contenu de ce mémoire de maîtrise reflète mon travail original, augmenté par l'utilisation responsable de l'IA.

Signé par BRAHY Quentin, le 07/08/2024

Table des matières

INTRODUCTION	1
1. CADRE THEORIQUE	4
1.1 CONCEPT D'ELECTRICITE	4
1.2 NOTIONS ESSENTIELLES SUR L'ENERGIE NUCLEAIRE	5
2. LE ROLE DU NUCLEAIRE	7
2.1 DANS LE MONDE	7
2.2 DANS L'UNION EUROPEENNE	8
3. CONTEXTE DE L'INDUSTRIE DE L'ENERGIE EN BELGIQUE	11
3.1 APERÇU DE L'ENERGIE NUCLEAIRE EN BELGIQUE	12
3.2 CONTRIBUTION DE L'ENERGIE NUCLEAIRE A LA PRODUCTION D'ELECTRICITE	12
3.3 PRINCIPAUX ACTEURS DU SECTEUR ENERGETIQUE EN BELGIQUE	13
3.4 THEORIE DE LA FIXATION DES PRIX SUR LE MARCHE DE L'ELECTRICITE	14
4 L'ELECTRICITE DANS LE FUTUR.....	16
5 METHODOLOGIE	19
6 DÉFINITION DE LA PROBLÉMATIQUE	20
QUESTION 1 : LE NUCLEAIRE A-T-IL UN IMPACT SUR LES PRIX DE L'ELECTRICITE ?	21
QUESTION 2 : LE NUCLEAIRE CONTRIBUE-T-IL A LA STABILITE DE L'APPROVISIONNEMENT EN ELECTRICITE ?	26
QUESTION 3 : COMMENT LES PROJETS D'EXPANSION DE L'EOLIEN ET DU SOLAIRE EN BELGIQUE COMPENSERONT-ILS LA REDUCTION DE LA PRODUCTION NUCLEAIRE ?	31
7 CONCLUSION	35
8 BIBLIOGRAPHIE	37
9 ANNEXES	43

Remerciements

Tout d'abord, je tiens à remercier chaleureusement mon promoteur, le professeur Daniel De Wolf qui m'a accompagné et encadré tout au long de ce travail.

Je remercie aussi ma famille, mes ami.e.s et toutes autres personnes qui m'ont soutenu durant ces cinq années d'études et ont grandement aidé à ma réussite scolaire.

Je tiens également à exprimer ma gratitude au professeur Damien Ernst de l'ULiège et l'économiste Luc Vercruyssen pour avoir pris le temps de répondre à mes questions lors des deux entretiens organisés avec eux.

Finalement, un grand merci à Anne-Marie Selleslagh pour la relecture et la correction orthographique de ce travail.

Introduction

L'industrie énergétique joue un rôle crucial dans le fonctionnement économique et social de chaque pays. En effet, selon les Nations unies, "l'énergie est au cœur de presque tous les grands défis et opportunités auxquels le monde est confronté aujourd'hui" (Urizar, 2021).

En Belgique, comme dans de nombreux autres pays, la question est au cœur des débats politiques, économiques mais aussi environnementaux. L'option nucléaire, en particulier, a été un sujet de discussion majeur en raison de son importance dans le mix énergétique belge et de son impact sur plusieurs aspects, y compris le coût de l'électricité. Au cours des dernières décennies, la Belgique a dépendu fortement de l'énergie nucléaire pour répondre à ses propres besoins en électricité. Cependant, confronté à une série de défis complexes et interconnectés, notamment la transition vers des sources d'énergie plus durables, la sécurité de l'approvisionnement, la compétitivité économique et la réduction des émissions de gaz à effet de serre, notre pays a entrepris des efforts pour diversifier son approvisionnement énergétique et explorer d'autres options.

Dans ce contexte dynamique, l'impact de l'énergie nucléaire sur le prix de l'électricité revêt une importance cruciale. Comprendre comment la disponibilité et le coût de l'énergie nucléaire influent sur les prix de l'électricité en Belgique est essentiel pour éclairer les décisions et garantir une transition énergétique réussie vers un avenir plus durable.

En Belgique, dans le cadre actuel, la question de la stabilité des prix de l'électricité revêt une importance cruciale. Le pays est confronté à une série de défis énergétiques complexes, marqués par la transition vers des sources d'énergie renouvelables, la réduction indispensable des émissions de gaz à effet de serre malgré la demande sans cesse croissante en électricité. L'une des composantes majeures de cette équation énergétique est le rôle du nucléaire. Historiquement, ce dernier a joué un rôle central dans la production d'électricité en Belgique, mais cette situation est actuellement en pleine mutation. L'État belge a, néanmoins, décidé la prolongation de deux des cinq réacteurs encore en activités pour une durée de 10 ans. La réduction d'environ 3 GW

d'électricité mènera la Belgique à trouver des solutions efficaces pour combler ce manque de production.

En outre, la crise des prix dû au conflit russo-ukrainien, a impacté le modèle économique et le pouvoir d'achat des populations européennes par sa répercussion sur le prix de l'électricité et en le faisant exploser de plus de 140% (Annexe 1) ainsi que le prix du gaz d'environ +240% ayant même un pic au mois d'août 2022 de 700%. Depuis le début de cette guerre en février 2022, les prix de l'électricité en Europe et en Belgique ont fortement augmenté en raison des perturbations de l'approvisionnement en gaz naturel russe, engendrant une escalade significative des coûts énergétiques, exacerbée par plusieurs facteurs dont la demande industrielle postpandémie, les conditions météorologiques défavorables et les réductions d'investissements antérieures dans le secteur.

La problématique centrale de cette recherche est de déterminer dans quelle mesure l'énergie nucléaire influence la stabilité et les prix de l'électricité ainsi que son approvisionnement en Belgique aujourd'hui. Trois hypothèses principales seront explorées pour répondre à cette question complexe :

Hypothèse 1 : Le nucléaire a-t-il un impact sur le prix de l'électricité ?

L'énergie nucléaire a été une source d'électricité relativement stable et à bas coût en Belgique pendant de nombreuses années. En effet, les centrales, une fois construites, ont des coûts d'exploitation relativement faibles comparés aux sources d'origine fossile. Cependant, suite aux décisions politiques visant à réduire la dépendance au nucléaire et à fermer plusieurs centrales, il est essentiel d'analyser si cette source d'énergie influence les prix de l'électricité et, et si oui, dans quelle mesure. La fermeture des centrales atomiques pourrait entraîner une hausse des prix de l'électricité en raison de l'augmentation des coûts de production des énergies alternatives et des importations nécessaires pour combler le déficit de production. Cette hypothèse explore les relations entre la part du nucléaire dans le mix énergétique et les variations des prix de l'électricité.

Hypothèse 2 : Le nucléaire contribue-t-il à la stabilité de l'approvisionnement en électricité ?

La stabilité de l'approvisionnement en électricité est un enjeu crucial pour la garantie d'une alimentation continue et fiable aux consommateurs. L'énergie nucléaire, par sa nature de production constante et prévisible, joue un rôle clé dans la stabilisation de l'approvisionnement. En effet, contrairement aux sources intermittentes comme l'éolien et le solaire, les centrales nucléaires peuvent produire de l'électricité de manière continue, indépendamment des conditions météorologiques. Cette capacité à fournir une base stable de production permet de répondre efficacement aux fluctuations de la demande. Leur fermeture pure et simple pourrait ainsi poser des défis significatifs pour la stabilité du réseau électrique belge, nécessitant en réponse pour compenser cette perte des investissements dans des technologies de stockage d'énergie et des sources d'énergie pilotables.

Hypothèse 3 : Comment les projets d'expansion de l'éolien et du solaire en Belgique compenseront-ils la réduction de la production nucléaire ?

Alors que la Belgique s'oriente vers des sources d'énergies renouvelables et d'autres alternatives au nucléaire, il est nécessaire d'évaluer l'impact de ces nouvelles sources sur la production d'électricité. Les projets d'expansion de l'éolien et du solaire sont au cœur de cette transition. En 2030, près de 20 GW d'énergies renouvelables devraient être installés en Belgique, avec une augmentation notable des capacités éoliennes offshore et solaires photovoltaïques. Cependant, ces sources d'énergie sont intermittentes et leur production varie en fonction des conditions météorologiques et des cycles jour-nuit. Cette hypothèse examine dans quelle mesure l'expansion des capacités éoliennes et solaires pourra compenser la réduction de la production nucléaire, en termes de volume d'électricité produit et de fiabilité de l'approvisionnement.

En abordant ces hypothèses, cette thèse cherche à fournir une analyse approfondie de l'interaction entre l'énergie nucléaire et le marché de l'électricité en Belgique. Les conclusions de cette recherche auront des implications significatives pour les politiques énergétiques futures et pour la compréhension globale des dynamiques du secteur énergétique belge.

1. Cadre théorique

1.1 Concept d'électricité

L'électricité est à la fois une marchandise et un service public. Il s'agit d'un produit vendu à travers un réseau interconnecté au niveau européen, celui-ci sollicite une gestion particulière puisqu'à tout instant, à la seconde près, la quantité soutirée du réseau doit être exactement égale à celle injectée et vice-versa. De plus, l'électricité ne peut pas être stockée à grande échelle avec les technologies actuelles, du moins à des coûts raisonnables (Percebois, 2019). L'électricité n'échappe pas aux règles du marché mais sa gestion est beaucoup plus compliquée et dépend principalement des décisions publiques, tant au niveau des différents choix de production qu'à celui du réseautage.

L'électricité est beaucoup moins échangée que le pétrole, le gaz ou encore le charbon. En 2015, on recensait qu'environ 3% de la production mondiale était exportée à travers les frontières nationales, la majeure partie de ce commerce a eu lieu en Europe, le reste est principalement échangé entre les États-Unis et le Canada. Le transport d'électricité est compliqué et s'effectue sous une tension entre 225.000 et 400.000 volts via des lignes ou câbles (ENGIE, 2021).

La demande mondiale d'électricité n'a cessé de croître en 2023 (+2,2%). Une forte croissance a été constatée en Chine, Inde et dans de nombreux pays d'Asie du Sud-Est alors que les économies avancées (y compris l'Union européenne) ont enregistré une baisse notable de la demande d'électricité. Cette tendance est attribuable à un contexte macroéconomique morose et à une inflation élevée (International Energy Agency, 2024).

La crise énergétique actuelle en Europe, déclenchée par la guerre en cours entre la Russie et l'Ukraine, ainsi que les sanctions liées aux combustibles fossiles, met en lumière l'importance cruciale des sources d'énergie hautement disponibles, indépendantes des importations par pipeline, et capables de contribuer aux objectifs de protection du climat. En réponse à cette situation, les dirigeants de l'UE ont demandé de poursuivre la diversification des sources et des voies d'approvisionnement, d'accélérer le déploiement des énergies renouvelables, d'améliorer l'efficacité énergétique et de renforcer

l'interconnexion des réseaux de gaz et d'électricité. Ces mesures visent à garantir la sécurité énergétique tout en soutenant la transition vers une économie plus durable et résiliente. Cela accroît encore l'importance des études liées à l'analyse du rôle de l'énergie nucléaire (Conseil européen, 2024). Les importations de gaz naturel provenant de Russie ont diminué, une augmentation du prix de celui-ci a eu lieu. De plus, étant donné que le gaz naturel est souvent le **carburant marginal, c'est-à-dire le combustible utilisé par la dernière centrale activée pour équilibrer l'offre et la demande sur le marché de l'électricité, le coût de production de cette centrale marginale détermine le prix de l'électricité sur le marché de gros. Le prix de l'électricité en général en est ainsi affecté.**

Concrètement, cela veut dire que les producteurs d'énergie engrangent des surprofits en vendant l'énergie à un niveau bien plus élevé que leur coût réel de production. Plusieurs mécanismes ont été construits afin d'atténuer la pression sur les consommateurs européens, soit les subventions de l'état, la diversification de l'approvisionnement énergétique, la constitution de réserves.

En 2021, les prix de l'énergie en Europe ont connu une hausse notable. Les tarifs moyens de l'électricité et du gaz à la consommation ont augmenté respectivement de 16,2% et de 39,7% au cours de cette année. Cette augmentation a eu un impact significatif sur les ménages, avec plus d'un million de reports de paiements enregistrés pour les factures de gaz et d'électricité sur une période d'un an et demi (L'Echo, 2022).

1.2 Notions essentielles sur l'énergie nucléaire

Au cours du 20e siècle, les centrales nucléaires ont d'abord émergé dans le domaine militaire, avant de trouver leur place dans la production d'électricité, stimulées par la crise pétrolière en 1973 et la croissance des besoins énergétiques (Adar, 2020). Ces installations exploitent l'énergie nucléaire, produisant de la chaleur par la fission des atomes plutôt que par la combustion de combustibles fossiles. Le processus démarre avec le circuit primaire, où l'eau pressurisée monte jusqu'à 320°C grâce à la chaleur générée. Cette chaleur est ensuite transférée à un circuit secondaire dans un générateur de vapeur. Là, la vapeur est produite lorsque l'eau chaude du circuit primaire chauffe

l'eau du circuit secondaire, actionnant par la pression de la vapeur, une turbine qui alimente à son tour un alternateur, convertissant l'énergie mécanique en électricité. Pour faciliter le transport de l'électricité produite, un transformateur élève la tension du courant à des niveaux très élevés, jusqu'à 400 000 volts, pour une utilisation dans les lignes à haute tension (AFCN - Agence fédérale de Contrôle nucléaire, 2019).

Les réacteurs nucléaires, initialement conçus pour un usage militaire en 1942, ont progressivement trouvé des applications civiles, notamment dans la production d'énergie, de chaleur ainsi que dans la recherche scientifique, spécifiquement pour le traitement du cancer. (Adar, 2020). Cependant, cette technologie soulève également des préoccupations, particulièrement en lien avec les armes nucléaires (Boutherin & Kiffer, 2006). Le Traité sur la non-prolifération des armes nucléaires vise à encadrer leur utilisation, favorisant leur utilisation pacifique tout en imposant des contrôles stricts par des organisations telles que l'Agence internationale de l'énergie atomique (Boutherin & Kiffer, 2006). Ainsi, la technologie atomique incarne une dualité remarquable, offrant à la fois des avantages énergétiques et médicaux notables, tout en soulevant des défis en matière de sécurité et de prolifération.

L'utilisation pacifique de l'énergie nucléaire n'a jamais été une simple question économique et/ou technique (Boutherin & Kiffer, 2006). Le pouvoir politique a toujours eu un impact primordial sur cette question de la stratégie énergétique, tant de manière positive que négative. Le débat sur la politique énergétique à propos de l'énergie nucléaire s'est accéléré après les accidents graves connus, menant à un renforcement significatif des règles de sécurité nucléaire dans le monde. Cela a été le cas après les incidents de la centrale américaine de TMI en 1979, l'accident de l'unité 4 de la centrale nucléaire de Tchernobyl (Ukraine) en 1986, et le désastre de 2011 à la centrale nucléaire de Fukushima au Japon (Aszódi et al., 2023).

2. Le rôle du nucléaire

2.1 Dans le monde

En 2020, 30 pays dans le monde possédaient des centrales nucléaires pour répondre à leurs propres besoins en électricité, et cinq de ces pays (Allemagne, Suisse, Espagne, Belgique et Corée du Sud) prévoient leur fermeture. Néanmoins, depuis lors, la Belgique et la Corée du Sud sont revenues sur leur accord et envisagent l'énergie nucléaire à long terme pour des raisons de décarbonisation et de sécurité d'approvisionnement d'électricité (Rausch, 2022). La décision de prolonger la durée de vie des centrales nucléaires existantes est largement motivée par les coûts associés à la construction de nouvelles installations, ainsi que par les faibles coûts de production de ces centrales (Agence internationale de l'énergie, 2020). Cette tendance a été renforcée par l'augmentation des prix de l'énergie due à la crise énergétique, car les centrales nucléaires bénéficiant de prolongations de licence sont actuellement parmi les producteurs d'électricité les moins chers (Agence internationale de l'énergie, 2020). Une étude réalisée en 2012 par Griffith et al. indique que la quasi-totalité des centrales nucléaires en exploitation aux États-Unis ont obtenu, sollicitent ou prévoient de demander une prolongation de 20 ans de leurs licences d'exploitation.

En 2022, la part du nucléaire dans la production brute d'électricité commerciale dans le monde a enregistré une baisse de 0,6 points de pourcentage, c'est-à-dire la plus importante depuis 2012, l'année post-Fukushima, pour s'établir à 9,2 % soit près de la moitié du maximum de 17,5 % atteint en 1996 (Schneider et al., 2023). La production nette des centrales nucléaires mondiales a atteint 2 546 TWh en 2022, enregistrant une baisse de 4 % par rapport à 2021, revenant ainsi à son niveau de 2020, année marquée par la pandémie. Pour la troisième année consécutive, la Chine a produit plus d'électricité nucléaire que la France, conservant ainsi sa deuxième place derrière les États-Unis parmi les principaux producteurs d'électricité nucléaire (WNISR, 2024).

Jusqu'à présent, le marché des centrales nucléaires est largement dominé par la Chine, en tête pour le nombre de chantiers, et la Russie pour le nombre de projets mondiaux. Au cours des quatre dernières années, aucun nouveau projet de construction de

réacteur nucléaire dans le monde n'a été lancé en dehors du territoire chinois ou mis en œuvre par la Russie (Schneider et al., 2023).

En ce qui concerne les développements en 2023, neuf réacteurs étaient prévus pour entrer en service dans le monde, mais seulement cinq ont réussi à le faire, totalisant une capacité de 5 GW., respectivement en Biélorussie, en Chine, en Corée du Sud, aux États-Unis et en Slovaquie. La mise en route des quatre autres a été reportée à 2024 au plus tôt. Pendant ce temps, cinq réacteurs d'une capacité totale de 6 GW ont été fermés, comprenant les trois derniers réacteurs allemands, ainsi qu'un réacteur en Belgique et un à Taïwan. Le bilan des démarrages et des fermetures a donc affiché un solde négatif de 1 GW (Schneider et al., 2023).

À la mi-2023, la Chine se distingue avec 23 tranches de réacteurs en construction, représentant 40 % du total mondial des chantiers. Cependant, elle n'entreprend actuellement aucun projet de construction à l'étranger. En revanche, la Russie occupe une position dominante sur le marché international en tant que fournisseur de technologie, avec 24 tranches de réacteurs en construction à la mi-2023, dont cinq sur son propre territoire. Les 19 autres constructions sont réparties entre sept pays, dont la Chine (4), l'Inde (4), la Turquie (4) et l'Égypte (3). Il est toutefois difficile de déterminer dans quelle mesure ces projets pourraient être affectés par les sanctions imposées à la Russie et d'autres développements géopolitiques majeurs résultant de l'invasion de l'Ukraine (Schneider et al., 2023).

2.2 Dans l'Union européenne

L'Union européenne est le troisième plus gros consommateur au monde d'énergie en termes de volume, derrière la Chine et les États-Unis. Elle consomme environ 9,6% de l'énergie mondiale, contre 26,4% pour la Chine et 15,9% pour les États-Unis (Olivier, 2023). Ces chiffres s'expliquent par le nombre d'habitants de ces trois régions/pays, mais aussi par le niveau de développement économique et industriel. En 2022, la consommation énergétique primaire, ce qui équivaut à l'ensemble de l'énergie consommée ou utilisée pour être transformée de l'Union européenne se dresse en équivalent de tonnes de pétrole à 1,4 milliard de tonnes pour 447 millions d'habitants.

À titre de comparaison, aux États-Unis (333 millions d'habitants), elle s'élève à 2,3 milliards de tonnes pour la même année (Olivier, 2023). Au sein de l'UE, les secteurs à forte consommation d'énergie tels que la chimie, l'acier, l'aluminium et le papier ont enregistré une diminution de la demande d'électricité. Cette tendance est en partie attribuable à des fermetures d'usines permanentes ou à des délocalisations en dehors de l'Union européenne (International Energy Agency, 2024).

Initialement, dans les années 1950, les six pays fondateurs de la Communauté européenne de l'énergie atomique (Euratom : Allemagne de l'Ouest, Belgique, France, Italie, Luxembourg et Pays-Bas) ont cherché dans l'énergie nucléaire un moyen d'atteindre l'indépendance énergétique. Cette volonté a été renforcée dans les années 1970, notamment après le choc pétrolier et la flambée des prix du pétrole. Cependant, aujourd'hui, les pressions en faveur de son abandon sont bien plus fortes.

Il présente diverses contraintes. Ses partisans mettent en avant son caractère peu coûteux et son impact moindre sur les émissions de gaz à effet de serre, car les centrales n'en produisent pas directement. Cependant, ses détracteurs soulignent que l'extraction de l'uranium ainsi que la construction et le démantèlement des centrales libèrent du CO₂. De plus, les préoccupations concernent la sécurité des infrastructures nucléaires et la gestion des déchets générés indissociables de cette source d'énergie. Les catastrophes de Tchernobyl (1986) et de Fukushima (2011) ont laissé des marques indélébiles dans les esprits, alimentant les inquiétudes quant à la sûreté des installations nucléaires (Collard, 2017).

En 2022, 13 des 27 États membres de l'Union européenne (Allemagne, Belgique, Bulgarie, Espagne, Finlande, France, Hongrie, Pays-Bas, République Tchèque, Roumanie, Slovaquie, Slovénie, Suède) utilisent encore le nucléaire et ont généré un total de 609.255 gigawattheures (GWh) d'électricité nucléaire (-16,7% comparé à 2021) (Annexe 2).

En 2023, c'est tout de même 21,8% de l'électricité totale au sein de l'Union européenne qui est produite via l'énergie atomique, soit 1,1% de moins comparé à 2022 (EuroStat, 2024).

Pour la deuxième année consécutive, la demande d'électricité en Europe a diminué, enregistrant une baisse de 2,4 % en 2023 après une baisse de 3,6 % en 2022. Cette tendance est principalement attribuable à un environnement macroéconomique morose et à une activité manufacturière et industrielle en déclin dans la majorité des pays de l'Union. Cependant, des variations régionales ont été observées. Dans le sud de l'Europe, des pays comme le Portugal, la Croatie, Chypre et Malte ont connu une augmentation de leur consommation électrique. Au Portugal et à Chypre, cette hausse est partiellement due à des étés plus chauds en 2023, ce qui a accru la demande en électricité. À Malte, où l'été a été plus frais, d'autres facteurs non liés à la météo semblent avoir stimulé la demande.

Dans le nord de l'Europe, l'Irlande, le Danemark et la Norvège ont également enregistré une croissance notable de la consommation d'électricité, en grande partie à cause de l'expansion rapide des centres de données. Le Portugal et le Danemark augmentent leur production d'électricité via l'énergie éolienne, tandis que l'Irlande se tourne vers la géothermie. Malgré un hiver plus doux en Irlande et dans le reste de l'Europe, les pays nordiques ont connu des températures plus froides, entraînant une hausse des besoins en chauffage des locaux. (International Energy Agency, 2024).

Une croissance plus faible de la demande en électricité en Europe en 2023 a entraîné un déclin de la production d'électricité à partir de combustibles fossiles, avec une diminution notable de la génération à partir de gaz (-16 %) et de charbon (-19 %). Dans le même temps, la génération d'électricité renouvelable a augmenté de 9 % (International Energy Agency, 2024).

Cette diminution de la production d'électricité est largement assignable à la maintenance et aux réparations des réacteurs du plus gros producteur d'énergie nucléaire dans l'Union européenne, la France. En 2022, la France a produit 22% en moins d'électricité nucléaire par rapport à 2021. Ajoutons à cela, la fermeture définitive de trois réacteurs allemands, réduisant de moitié sa production (de 69.130 GWh en 2021 à 34.709 GWh en 2022). La Belgique a aussi arrêté définitivement un de ses réacteurs en septembre 2022. La Finlande est le seul pays européen à avoir démarré un tout nouveau.

Ce qui porte le nombre de réacteurs nucléaires opérationnels en UE à 103 en décembre 2022 (trois de moins qu'en 2021) (Gaudiaut, 2024).

Concernant la production, la France produit presque la moitié du total d'électricité nucléaire européen (48,4% ; 294.731 GWh), suivie par l'Espagne (9,6% ; 58.590 GWh), la Suède (8,5% ; 51.944 GWh) et la Belgique (7,2% ; 43.879 GWh). Ces quatre pays produisent à eux seuls 73,3% du montant total d'électricité venant du nucléaire en UE en ce qui concerne l'année 2022 (Eurostat, 2024).

3. Contexte de l'industrie de l'énergie en Belgique

La consommation d'énergie en Belgique ne se limite pas uniquement à l'électricité, comme l'a souligné Danielle Devogelaer, senior manager chez Sia Partners et experte en énergie. (L'Echo, 2023). En effet, **l'électricité ne représente qu'un cinquième de l'utilisation finale d'énergie dans le pays** (Annexe 3). Les secteurs tels que l'industrie, le transport, les bâtiments et l'agriculture dépendent principalement du gaz naturel et du pétrole. Plus de trois quarts de la consommation énergétique totale proviennent donc de sources fossiles (L'Echo, 2023).

En 1988, deux ans après avoir lancé l'Acte unique européen en ouvrant la voie au marché unique, la Commission européenne s'est intéressée à l'échange dans le secteur énergétique et en particulier à l'approvisionnement en électricité et en gaz. Un long processus d'ouverture au commerce et à la concurrence des marchés nationaux de détail de l'électricité et du gaz a eu lieu dans l'ensemble de la zone.

Depuis le 1^{er} juillet 2007, le marché belge de l'électricité s'est ouvert à la concurrence, permettant aux particuliers et aux professionnels de choisir leur propre fournisseur d'énergie. Cette ouverture du marché de l'électricité correspond à sa libéralisation (Annexe 4). Celle-ci s'inscrit dans le cadre de l'objectif de l'Union européenne de création d'un vaste marché commun européen dans le secteur de l'énergie, garantissant un approvisionnement adapté à tous les ménages. Les principales ambitions de cette libéralisation sont la réduction des prix de l'énergie en favorisant la concurrence et l'amélioration de la qualité des services offerts aux consommateurs (SPF économie, n.d.).

3.1 Aperçu de l'énergie nucléaire en Belgique

Pour ce qui est de la Belgique, elle compte cinq réacteurs nucléaires, avec une capacité totale combinée de 3.916 mégawatts (SPF Économie, 2024). Ils sont situés dans deux centrales électriques, l'une à Doel (près d'Anvers) et l'autre à Tihange (près de Liège). Tous ont été construits dans les années 1970 et 1980 (Annexe 5) (Laleman & Albrecht, 2016).

Un accord de principe de la part du gouvernement avait prévu un l'arrêt de la production électrique via le nucléaire en 2025, soutenu par les écologistes. Cependant, en mars 2022, un accord a été trouvé pour la prolongation de deux réacteurs (Doel 4 et Tihange 3) pour une durée de 10 ans et l'application du scénario dit « Flex-LTO » (Flexible Long-Term Operations). Avec une capacité actuelle de production de 2 GW, elles représentent 35% de la production belge d'énergie nucléaire (International Energy Agency, 2024), et cet investissement est estimé de 1,6 à 2 milliards d'euros (ENGIE, 2023).

3.2 Contribution de l'énergie nucléaire à la production d'électricité

La Belgique a opté pour un modèle dit de dissociation des structures de propriété, dans lequel les gestionnaires de réseaux de transport (GRT) et de distribution (GRD) sont complètement séparés des secteurs de la production et de la vente au détail au moyen d'exigences d'indépendance mises en œuvre dans la législation belge.

Le secteur de la production belge est composé de plusieurs entreprises qui produisent de l'électricité. L'électricité peut y être produite de différentes manières. Il existe le système traditionnel où l'énergie nucléaire et les combustibles fossiles sont les moyens de production, mais d'autres compagnies produisent via les sources d'énergies renouvelables telles que les énergies solaire, l'énergie éolienne ou l'énergie hydroélectrique.

L'énergie atomique reste la première source de production d'électricité, même si sa part diminue au fil du temps. En effet, le bouquet électrique¹ ou mix électrique belge pour

¹ Fait référence à la combinaison des différentes sources d'énergies utilisées dans une zone géographique donnée.

l'année 2023 se dévoile comme suit : l'électricité belge est produite à partir de 41,3% d'énergie nucléaire malgré la fermeture de deux centrales, suivi par les énergies renouvelables avec 28,3% (18,8% venant de l'éolien et 9,5% du solaire), les énergies fossiles dont le gaz (25,1%), le biogaz (2,6%) et les autres, une catégorie résiduelle dont il n'existe pas de données détaillées (2,7%). Bien que la part des énergies renouvelables ait triplé au cours de la dernière décennie (2,3% en 2005 et 8,7% en 2016) (Collard, 2019), elles ne représentent encore que 28,3% de la demande énergétique totale en 2023.

En matière d'émissions de CO₂, le contraste entre le nucléaire et les énergies fossiles est saisissant. Alors que le nucléaire contribue à peine à 3% des émissions de CO₂ dans le bouquet électrique, les énergies fossiles exacerbent ces émissions, représentant près de 90% du total (Annexe 6) (Elia & Unece, 2024). Entre février et juillet 2022, les émissions de CO₂ en Belgique s'élevaient à 168 grammes par kilowattheure (kWh). En comparaison, les émissions de la production énergétique des pays voisins étaient de 349 grammes par kWh aux Pays-Bas, 486 grammes par kWh en Allemagne et 72 grammes par kWh en France. Cette différence est en partie due à l'utilisation de centrales au charbon aux Pays-Bas et en Allemagne (Bonnemé & Mathot, 2023).

3.3 Principaux acteurs du secteur énergétique en Belgique

Jusqu'à la libéralisation du marché de l'énergie en 2007 en Belgique, Engie Electrabel ne comptait qu'un seul concurrent direct sur le marché de la production de l'électricité : la Société coopérative de production d'électricité (SPE). Cette dernière regroupait à l'origine des entreprises publiques dans le domaine de la production d'électricité mais est devenue, finalement un acteur majoritairement privé en 2019, sous le nom de Luminus. Ces deux sociétés concentrent aujourd'hui 81% des capacités de production d'électricité en Belgique et représentent jusqu'à 90% de l'électricité produite dans le pays.

Les fournisseurs vendent l'électricité aux utilisateurs finaux et facturent leur consommation d'énergie. Les détaillants en énergie, quant à eux, achètent l'énergie à un producteur d'électricité présent sur les marchés. Cependant, les producteurs et les détaillants peuvent également être contrôlés par la même entreprise.

3.4 Théorie de la fixation des prix sur le marché de l'électricité

Sur le marché, un seul et unique prix est fixé et tous les échanges s'effectuent à ce tarif. Celui-ci est déterminé par le générateur d'électricité dit « marginal », c'est-à-dire le prix d'une unité d'énergie supplémentaire produite. Régulièrement, mais pas systématiquement, cet équilibre se situe là où **le générateur marginal utilise des sources telles que le gaz ou le charbon pour la production d'électricité, influençant ainsi le prix du marché en fonction de leur coût marginal. L'augmentation du coût marginal d'une technologie donnée n'a d'impact sur le prix que si cette technologie devient le générateur marginal sur le marché.** Étant donné que les centrales à gaz sont souvent sollicitées après les énergies renouvelables et les centrales nucléaires, elles ont plus de chances d'impacter le marché et d'entraîner une hausse des prix de l'électricité en Europe (Adar, 2020). La récente augmentation significative du prix du gaz, attribuable à la situation en Ukraine et à la diminution des importations de gaz russe en Europe, a eu des répercussions sur le prix de l'électricité dans la région, conformément au mécanisme précédemment expliqué. En effet, l'augmentation du coût du combustible pour les centrales à gaz se traduit par une augmentation du coût marginal, modifiant ainsi la courbe d'offre d'électricité.

Cependant, l'accroissement du coût marginal ne mène pas à l'éviction des centrales à gaz sur le territoire européen par des mécanismes relativement moins coûteux et peu impactés par la crise ukrainienne et ce pour deux raisons principales. Premièrement, la demande d'électricité est relativement peu sensible aux variations de prix, limitant ainsi l'impact des hausses tarifaires sur la quantité demandée (Gautier, 2022). Deuxièmement, les moyens alternatifs à la production d'électricité au gaz ne sont pas toujours disponibles dans tous les pays européens (Annexe 7).

La figure 1, ci-dessous, montre comment la hausse du coût marginal se répercute sur le prix du marché.

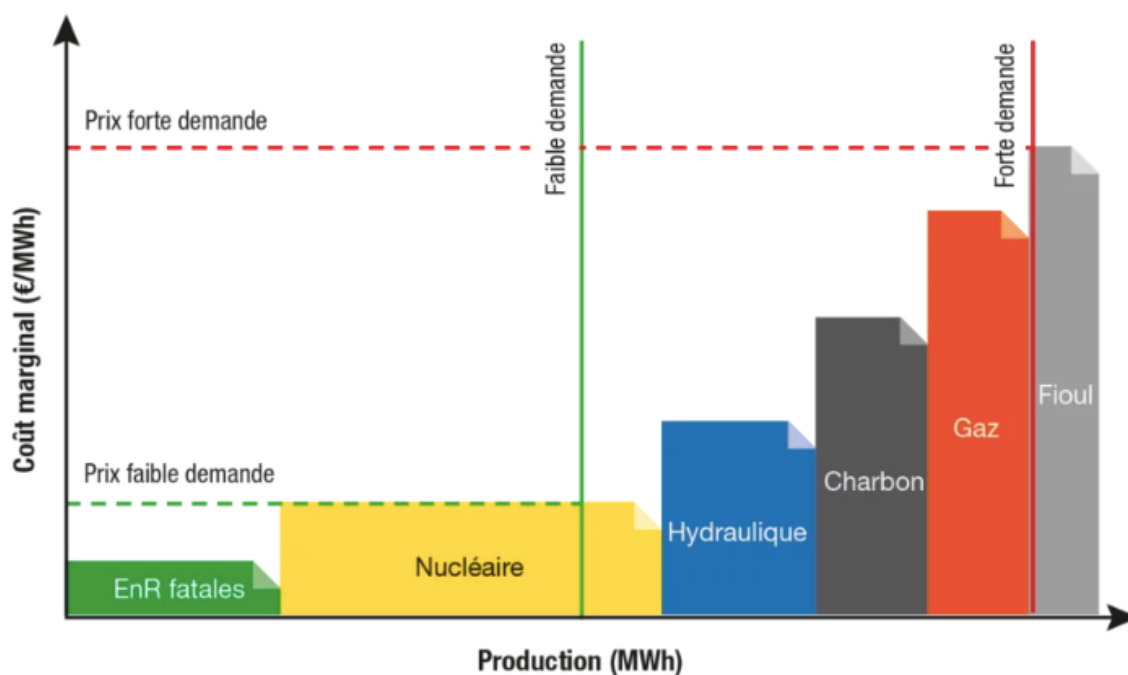


Figure 1 : Principe de la fixation du coûts marginal (autrement dit : merit order) sur le marché de l'électricité (Source : Dartois & Suderie, 2022)

Malgré une forte augmentation du prix de l'électricité sur le marché, le coût de production du MWh² électrique n'a pas évolué de façon proportionnelle. Le coût de production des autres systèmes, c'est-à-dire, d'une centrale qu'elle soit nucléaire, hydraulique, éolienne ou encore de l'énergie solaire, n'a pas essentiellement évolué depuis l'invasion russe en Ukraine. En conséquence, la marge des producteurs (l'écart entre le prix et le coût marginal) s'est amplifiée pour les générateurs infra-marginaux.

De ce fait, une hausse du prix de l'électricité est survenue mais pas une véritable augmentation du coût de production. Le mécanisme de marché (prix fixé en fonction du coût marginal) a ainsi entraîné des profits additionnels (ou surprofits) pour les producteurs infra-marginaux.

En Belgique, le prix de l'électricité repose sur un modèle à deux volets : des frais fixes indépendants de la consommation et un tarif par kilowattheure (kWh) consommé. La majorité des contrats adoptent des tarifs à taux fixe, où le prix par kWh reste constant,

² Un mégawattheure (MWh) équivaut à 1 000 kilowatts d'électricité produits par heure et est utilisé pour mesurer la production d'électricité.

bien que des variations puissent exister selon les profils de consommation. Environ 17% à 20% de la facture moyenne couvrent les coûts énergétiques, rémunérant les producteurs et les fournisseurs. Pour se protéger contre les fluctuations, les consommateurs choisissent les contrats à prix fixe (65%) où le tarif unitaire (exprimé en centimes d'euro par kWh) d'électricité consommée reste fixe pendant toute la durée du contrat, bien que d'autres composants puissent varier, tels que les coûts de distribution, de transmission et les taxes mais le coût marginal ne varie pas durant toute la durée du contrat. Dans un contrat à prix variable, en revanche, le tarif unitaire de l'électricité est ajusté à intervalles réguliers, généralement trimestriels, selon une formule d'indexation durant toute la durée du contrat (Hindriks & Serse, 2022).

4 L'électricité dans le futur

La politique climatique est devenue un pilier central de la politique économique de l'Union européenne et, par extension, de celle de la Belgique. Depuis la ratification du protocole de Kyoto³ en 1997, l'UE a progressivement adopté des objectifs de réduction des émissions de plus en plus contraignants. En 2018, l'UE et ses États membres se sont engagés à atteindre une décarbonation complète d'ici à 2050 (Wunsch et al., 2023).

La génération d'électricité renouvelable sur le continent européen devrait croître de 14% en 2024, principalement en raison de la reprise prévue de la production d'hydroélectricité en Turquie, suivi d'un taux de croissance moyen de 6,6 % sur la période 2025-2026 alors que les capacités éoliennes et solaires photovoltaïques continuent de s'étendre. La production d'électricité à partir de charbon en Europe devrait continuer son déclin de 10 % par an en moyenne et celle du gaz de 6 %. Les émissions du secteur de l'électricité devraient, quant à elles, baisser en moyenne de 9 % par an, avec une intensité en CO₂ de la génération électrique qui devrait également diminuer à un taux moyen de 11 %, passant d'environ 223 g CO₂/kWh en 2023 à 157 g CO₂/kWh en 2026.

³ Le protocole de Kyoto est un accord international signé en 1997 à Kyoto (Japon) et entré en vigueur en 2005, visant à lutter contre le changement climatique en réduisant les émissions de gaz à effet de serre de 5%. Il impose des objectifs de réduction spécifiques et contraignants aux pays industrialisés. Cet accord marque la première fois que des pays s'engagent légalement à réduire leurs émissions de gaz à effet de serre. Depuis, il a été remplacé par l'Accord de Paris en 2021 (Tsukada, N., & Matsumoto, M., 2024).

L'Europe restera parmi les régions présentant l'intensité en CO₂ de la génération électrique la plus faible (International Energy Agency, 2024).

Il ne faut pas oublier que la production d'électricité participe aux émissions de dioxyde de carbone (CO₂) à l'échelle mondiale. Malgré cela, la production d'électricité mondiale reste basée sur les énergies fossiles, environ 81% de l'énergie consommée dans le monde provient de ces dernières (Ministère de la transition énergétique français, 2022). Leur remplacement par les énergies dites renouvelables (solaire et éolienne), ce qui est le choix préférentiel du public et des politiciens comparé au nucléaire, soulève des problèmes technologiques en raison de la nécessité d'assurer un approvisionnement énergétique continu et fiable. Contrairement aux centrales nucléaires ou aux centrales thermiques classiques qui peuvent produire de l'électricité de manière constante, les sources d'énergie renouvelable sont, en effet, par nature intermittentes. (Aszódi et al., 2021)

Les centrales nucléaires peuvent jouer un rôle significatif dans la lutte contre le réchauffement climatique en raison de leur capacité à produire de l'électricité de manière indépendante des conditions météorologiques sans émission directe de CO₂ (Agence Internationale de l'Énergie Atomique, 2015). En examinant les émissions du cycle de vie des centrales électriques, les nucléaires sont plus avantageuses d'un point de vue de la protection du climat qu'une thermique à base de combustibles fossiles (Sovacool, 2008). La question du déclassement des centrales nucléaires fait partie du débat actuel sur la politique énergétique, non seulement pour la protection du climat, mais aussi pour la sécurité d'approvisionnement. La raison en est la guerre russo-ukrainienne qui a commencé en février 2022, et qui a remis fondamentalement en question l'ampleur et la durabilité des importations européennes de combustibles fossiles, alors même que pendant longtemps plus de 40 % de l'approvisionnement en gaz européen reposait sur des importations de Russie (Commission européenne, 2024).

En tenant compte de la diminution des quantités et de l'augmentation des prix du pétrole et du gaz naturel, ainsi que des pressions environnementales croissantes concernant l'utilisation du charbon, l'énergie nucléaire est parfois évoquée comme une alternative potentielle pour le développement durable. Elle est souvent considérée pour

sa capacité à contribuer à une transition énergétique à faible émission de dioxyde de carbone (CO₂) tout en assurant une certaine sécurité énergétique. En effet, l'énergie nucléaire n'émet pas de gaz à effet de serre lors de la production d'électricité et pourrait réduire la dépendance aux combustibles fossiles.

Cependant, elle présente aussi des défis significatifs puisque la gestion des déchets radioactifs demeure une préoccupation majeure, en raison de leur longévité et de leur dangerosité. En outre, les risques liés à la sécurité des centrales atomiques et à la prolifération nucléaire doivent être soigneusement gérés.

À titre de comparaison, le fonctionnement d'une centrale nucléaire d'une puissance de 1 000 MW nécessite environ 190 tonnes d'uranium naturel par an pour fonctionner, alors que celui d'une centrale à charbon de puissance équivalente brûle environ 2 millions de tonnes de minerai par an. (Sadiq et al., 2023). L'énergie nucléaire répond aux besoins énergétiques mondiaux dans des régions du monde où une croissance accélérée de la demande énergétique est perçue.

L'investissement dans l'énergie nucléaire et les énergies renouvelables a conduit à une diminution des émissions de CO₂ dans plusieurs pays, dont la Belgique, le Canada, la France, l'Allemagne, la Suède, le Royaume-Uni, les États-Unis, le Japon, la Suisse, la Finlande et la République tchèque. La nécessité de réduire ces émissions, notamment celles provenant de la production d'énergie et d'autres activités industrielles, est devenue une préoccupation mondiale majeure ces dernières années.

La Belgique évolue d'ailleurs en termes de production d'énergies renouvelables. En 1997, leur part en Belgique figurait parmi les plus faibles de l'Union européenne. Cependant, depuis l'introduction de politiques ambitieuses en matière d'énergies renouvelables au sein du pays en 2005-2006, la production d'électricité à partir d'énergies renouvelables s'est intensifiée (Laleman & Albrecht, 2016). La part des RES (sources d'énergie renouvelables) dans le mix électrique belge est passée de 1,7% en 2004 à 28,2% en 2023 (Elia, 2024).

5 Méthodologie

Pour la méthodologie de ce travail, j'ai d'abord effectué plusieurs recherches scientifiques, essentiellement sur l'outil Google Scholar mais également sur la bibliothèque consacrée aux étudiants de l'UCLouvain dans le but de trouver des articles et des recherches parlant de mon sujet de façon approfondie et détaillée. Les articles choisis sont principalement parus après 2020 pour être le plus possible à jour. La totalité des informations essentielles de nature à permettre à toutes personnes de comprendre le sujet de ce mémoire ont été récoltées avant d'être synthétisées et remises en forme afin d'écrire ma revue de littérature. Une fois la partie littéraire terminée, je me suis consacré à mes trois sous-questions, à savoir :

- Le nucléaire a-t-il un impact sur les prix de l'électricité ? ;
- Le nucléaire contribue-t-il à la stabilité de l'approvisionnement en électricité ? ;
- Comment les projets d'expansion de l'éolien et du solaire en Belgique compenseront-ils la réduction de la production nucléaire ? »

Pour y répondre, j'ai mené une recherche qualitative via deux entretiens structurels d'une durée totale de 63 minutes (1h03) qui m'ont apporté des réponses détaillées et spécifiques à mes questionnements.

Le premier fut avec le professeur Damien Ernst, professeur ordinaire à la Faculté des Sciences Appliquées, au sein du département d'électricité, électronique et informatique à l'ULiège et chercheur au sein de l'Unité de recherches Montefiore Institute of Electrical and Engineering and Computer Science. Il a été enregistré vocalement d'une durée de 17 minutes et son enregistrement n'a été enclenché qu'après ma présentation et l'explication de l'étude du mémoire. L'entretien a principalement concerné le nucléaire, sa capacité de production, son impact à l'heure actuelle et pour le futur. Le professeur Ernst m'a également envoyé son PowerPoint de cours afin que ses explications soient plus claires visuellement parlant pour moi.

Le deuxième entretien a été réalisé avec Luc Vercruyssen, Chief Economist chez ENGIE Belgique qui avait auparavant fait carrière comme consultant dans le domaine de l'énergie autour des prix. Il a duré 46 minutes et, contrairement au premier, était basé sur le prix de l'électricité belge mais également sur les possibles investissements d'ENGIE concernant les sources d'énergies renouvelables.

Tous deux se sont déroulés en visioconférence via l'application Microsoft Teams.

Quant aux données récoltées pour calculer les possibles quantités d'électricité et l'approvisionnement nécessaire pour le futur, plusieurs rapports et études concernant les perspectives sur l'approvisionnement en électricité en Belgique ont été croisés afin de tirer des conclusions venant de plusieurs acteurs (SPF économie, Elia, conseil européen, plan national de l'énergie et du climat, ENGIE). En outre, certaines données proviennent directement de centres de données publics comme Eurostat ou la CREG et ont été mises en tableau Excel pour faciliter la création des graphiques que vous retrouvez dans ce travail. La fourchette de dates choisies couvre les 16 dernières années (2008 – 2023) et peut s'étendre jusqu'à 2035 pour les projections futures, date à laquelle les centrales nucléaires devraient théoriquement disparaître du mix électrique belge. Les données concernant le prix de l'électricité et du gaz proviennent d'Elia et d'Eurostat. Des filtres identiques ont été sélectionnés pour faciliter la comparaison par la suite. Pour chaque catégorie, le prix est indiqué pour un client résidentiel avec les taxes et les prélèvements compris, et calculé en kilowattheure (kWh). Pour l'électricité, les données choisies correspondent pour un foyer utilisant de 2500 kWh à 4999 kWh et pour le gaz, une consommation variant de 20 GJ à 199 GJ.

6 Définition de la problématique

Comme exposé dans cette première partie de ce travail, le prix de l'électricité n'a cessé d'accroître dans les pays membres de l'Union européenne et tout particulièrement en Belgique, pays sur lequel ce rapport va se concentrer.

Malgré la production d'électricité par des centrales nucléaires en Belgique, le prix de l'électricité continue d'augmenter. Cette situation soulève des questions importantes sur les facteurs déterminants de la tarification de l'électricité dans le contexte belge, ainsi que sur l'efficacité des politiques énergétiques et des réglementations en vigueur. De plus, l'État belge a décidé de prolonger deux des cinq centrales toujours en activité afin d'assurer l'approvisionnement en électricité à ses habitants et son indépendance par rapport à ses voisins.

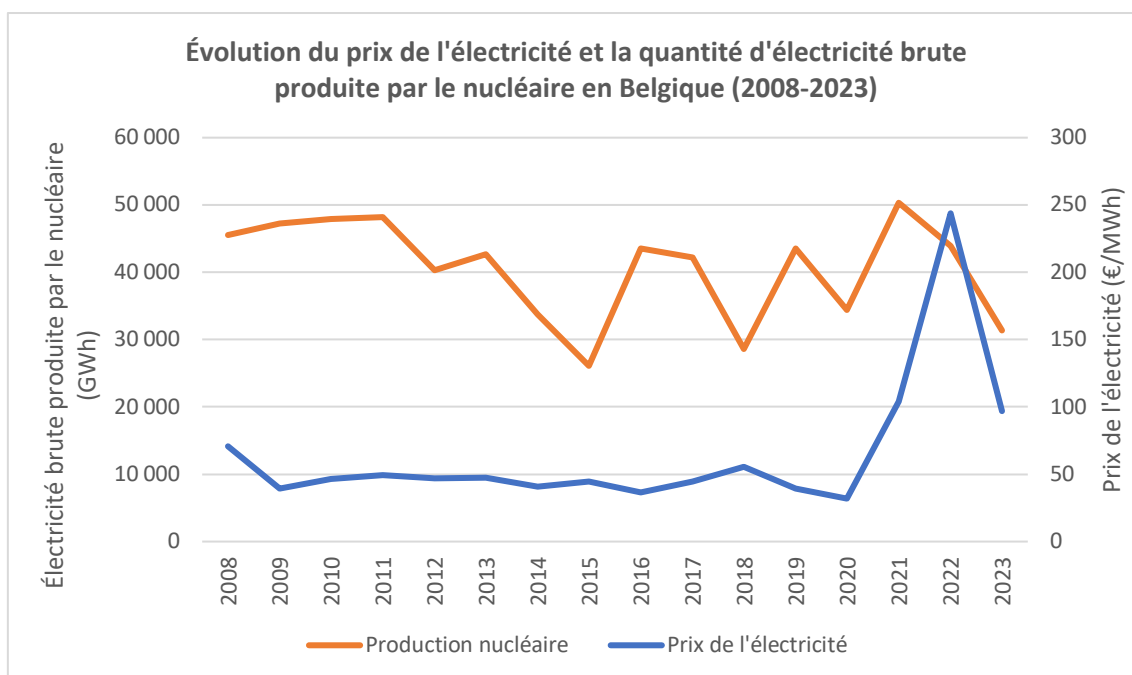
Question 1 : Le nucléaire a-t-il un impact sur les prix de l'électricité ?

Concernant la Belgique, la disponibilité des centrales nucléaires belges en 2023 (89%) était tout aussi élevée que les 91% en 2021 et 83% en 2022. En ce qui concerne la France, d'importants travaux de maintenance ont eu lieu dans le parc nucléaire, ce qui a réduit considérablement l'utilisation des centrales. De plus, des conditions météorologiques défavorables ont affecté la production éolienne, entraînant une dépendance accrue à l'électricité produite par les centrales à gaz (Gautier, 2022).

Un ménage belge moyen a payé 39,6 centimes d'euros/kWh pour son électricité en 2022, soit 39,2% de plus que l'année précédente. Le coût de l'énergie représentait 57,9% du total de la facture d'électricité. Les tarifs concernant les réseaux sont restés stables et représentent 23,1%. La part des taxes atteint 19,1% du montant (Annexe 8).

En 2022, le prix de l'électricité a connu une augmentation, notamment en raison de l'impact du prix du gaz naturel, qui a été influencé par l'invasion de l'Ukraine par la Russie. Pour atténuer cette hausse et alléger la charge financière des consommateurs, diverses mesures compensatoires ont été mises en place. Parmi celles-ci, on compte la réduction du taux de TVA de 21 % à 6 % à partir de mars 2022. De plus, des initiatives telles que le forfait fédéral de base pour l'électricité, ainsi que l'extension du tarif social, ont été introduites pour soutenir les ménages face à cette augmentation des coûts de l'électricité.

En 2023, la consommation d'électricité en Belgique a atteint un taux historiquement bas de 78,9 TWh (Elia, 2024). Le prix de l'électricité a fortement diminué durant cette année mais reste élevé par rapport à avant 2021 en raison du contexte international toujours d'actualité. Ce contexte force la consommation vers le bas mais cette tendance est un phénomène temporaire et une augmentation de la consommation électrique est à prévoir dans les prochaines années. Elia, le réseau distributeur belge et allemand, estime une augmentation de la consommation électrique de 50% d'ici à 2032, ayant pour cause l'électrification rapide des processus industriels ainsi qu'à la croissance marquée du nombre de voitures électriques et de pompes à chaleur (Elia, 2024).



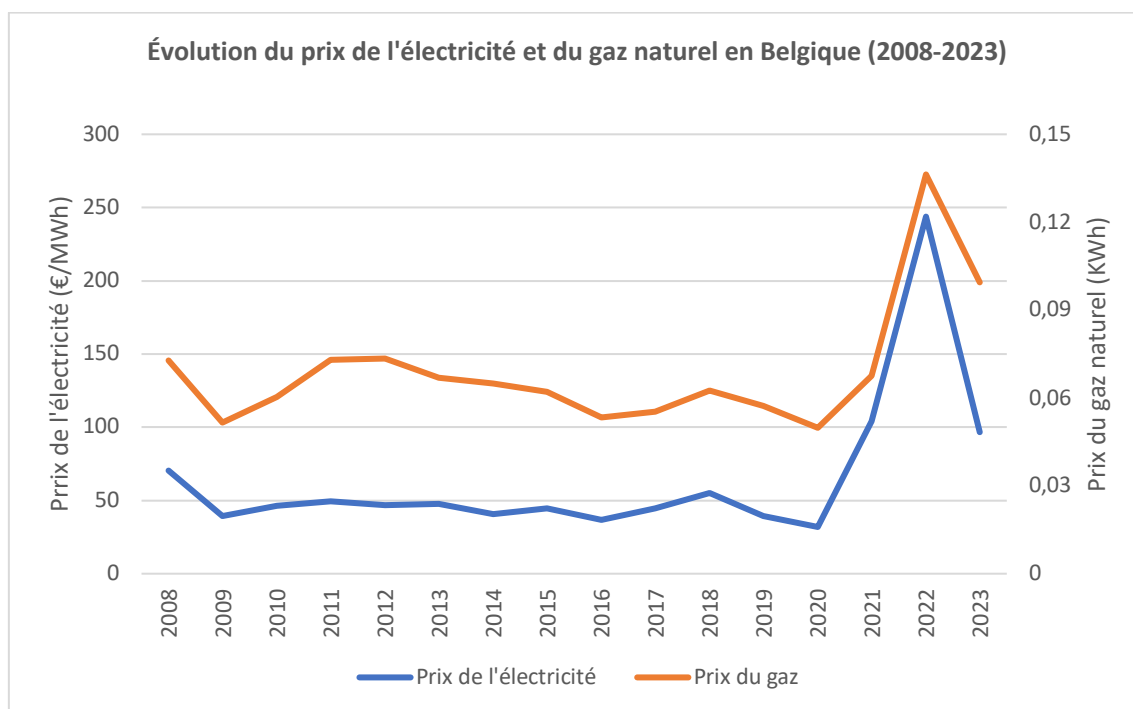
Graphique 1 : Évolution du prix de l'électricité et la quantité d'électricité brute produite par le nucléaire en Belgique (2008-2023) (Source : Eurostat & Elia, 2024)

Ce graphique montre l'évolution du prix de l'électricité (en €/MWh) et la quantité d'électricité brute produite par le nucléaire (en GWh) en Belgique de 2008 à 2023. La production d'électricité nucléaire a connu des fluctuations importantes au cours de cette période. Elle a atteint des pics en 2016, 2019, et 2021, mais a diminué de manière significative en 2015, 2018 et 2023. En parallèle, le prix de l'électricité est resté relativement stable entre 2008 et 2021, malgré quelques variations mineures. Toutefois, on observe une augmentation marquée en 2022, suivie d'une baisse en 2023.

Il est intéressant de noter que malgré les fluctuations importantes de la production nucléaire, le prix de l'électricité n'a pas montré de corrélation directe avec ces variations pendant la majeure partie de la période. Par exemple, la production nucléaire a été élevée en 2016, 2019, et 2021, sans que cela se traduise par des baisses significatives du prix de l'électricité. De même, la diminution de la production nucléaire en 2022 coïncide avec une forte augmentation des prix, mais cette hausse semble plutôt exceptionnelle et liée à des facteurs extérieurs, comme les crises énergétiques internationales.

Pour démontrer mathématiquement qu'il n'existe aucun lien entre la quantité de nucléaire et le prix de l'électricité, le coefficient de corrélation a été calculé. Il est égal à

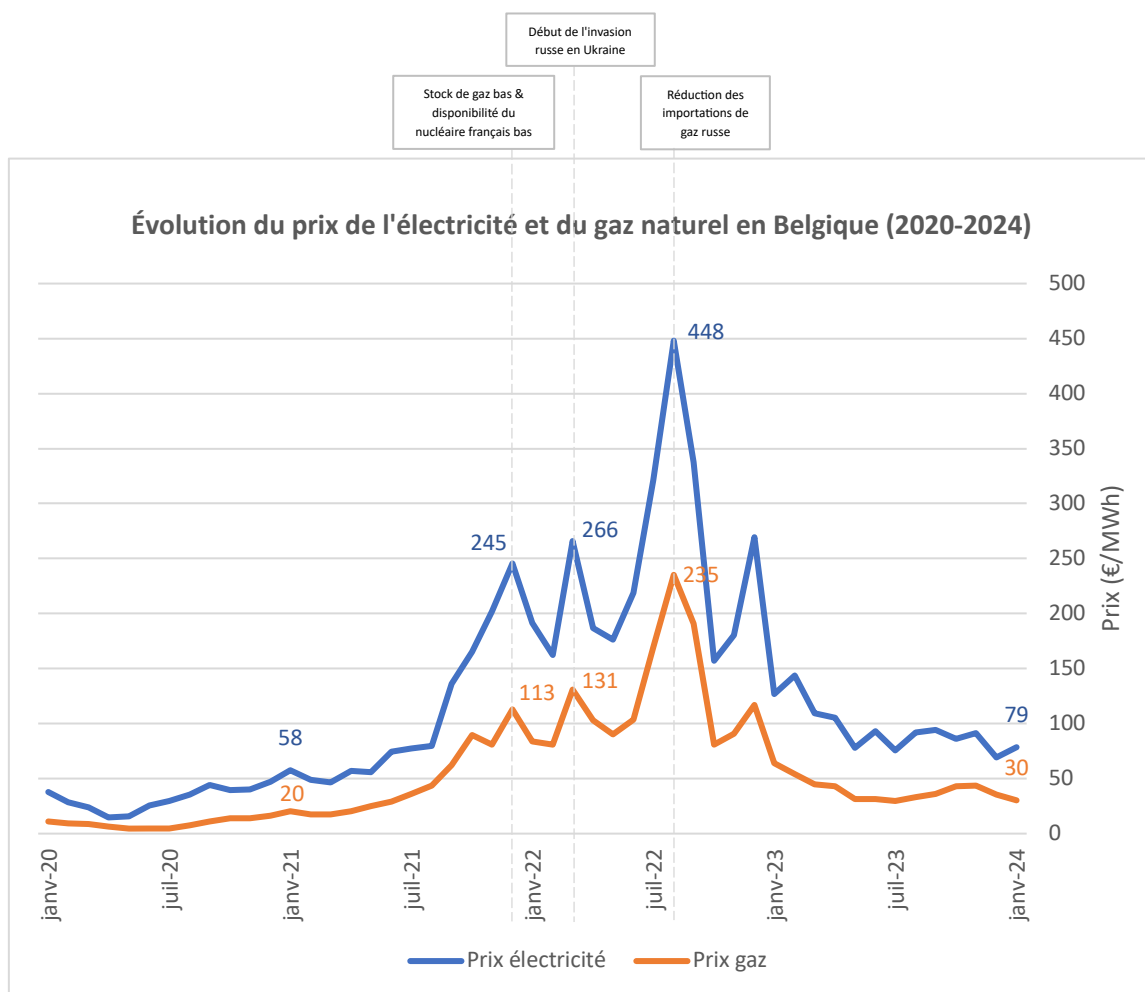
-0,058, ce qui indique une très faible corrélation négative. La variation de la part de l'énergie nucléaire n'a pratiquement aucun impact sur le prix de l'électricité.



Graphique 2 : Évolution du prix de l'électricité et du gaz naturel en Belgique (2008-2023) (Source : Eurostat & CREG, 2024)

Ce second graphique compare l'évolution du prix de l'électricité et du prix du gaz naturel en Belgique sur la même période. Le prix de l'électricité a été relativement stable avec quelques fluctuations mineures, similaires au premier graphique, jusqu'à une hausse marquée en 2022. Le prix du gaz naturel, en revanche, montre une tendance plus volatile tout en restant généralement dans la même fourchette de prix, excepté l'augmentation considérable à partir de 2021, coïncidant avec l'explosion du prix de l'électricité.

La forte corrélation observée entre les prix du gaz naturel et de l'électricité en 2022 suggère que l'augmentation des prix de l'électricité cette année-là est principalement due à l'augmentation des prix du gaz naturel, plutôt qu'à la diminution de la production nucléaire. Cette observation est renforcée par le fait que, historiquement, les variations du prix du gaz semblent avoir eu un impact plus direct sur le prix de l'électricité que les variations de la production nucléaire.



Graphique 3 : Évolution du prix de l'électricité et du gaz naturel en Belgique (2020-2024) (Source : Eurostat & CREG, 2024)

Ce graphique montre l'évolution des prix mensuels moyens de l'électricité et du gaz en Belgique de janvier 2020 à janvier 2024, révélant une forte corrélation entre les deux. En janvier 2021, les prix sont relativement stables et bas, avec 58 €/MWh pour l'électricité et 20 €/MWh pour le gaz. Une hausse notable commence mi-2021, marquée par une augmentation du prix du gaz à 113 €/MWh en décembre 2021, attribuée à un faible stockage de gaz et à une réduction de la disponibilité nucléaire en France, influençant également le prix de l'électricité qui atteint 131 €/MWh. Les prix continuent de grimper, atteignant un sommet en mars 2022, où le prix de l'électricité atteint 266 €/MWh, à la suite de l'invasion de l'Ukraine par la Russie, entraînant une hausse parallèle du prix du gaz. Le pic le plus élevé survient en août 2022, avec l'électricité à 448 €/MWh, causé par une réduction drastique des importations de gaz russes, avec le gaz à 235 €/MWh. Après ce sommet, les prix diminuent progressivement, retrouvant des niveaux plus bas en janvier 2024, avec 79 €/MWh pour l'électricité et 30 €/MWh pour le gaz, indiquant une

stabilisation post-crise. Cette évolution montre une forte corrélation entre les prix du gaz et de l'électricité, où les fluctuations du marché gazier influencent directement les coûts de l'électricité, particulièrement en période de crise énergétique. En effet, le coefficient de corrélation entre le prix du gaz et le prix de l'électricité s'élève à 0,8175 pour l'année 2023, atteignant même 0,9809 en 2022 lorsque les prix se sont envolés. Étant très proche de 1, nous pouvons affirmer qu'il existe bien une forte corrélation entre le prix du gaz et le prix de l'électricité.

	Prix du gaz		
	2021	2022	2023
Prix de l'électricité	0,9786	0,9809	0,8175

Tableau 1 : Coefficient de corrélation entre le prix du gaz et le prix de l'électricité (2021 – 2023)

L'analyse comparative des trois graphiques indique que **le prix de l'électricité en Belgique ne dépend pas principalement de la part de l'énergie nucléaire dans le mix énergétique**. Bien que la production nucléaire ait fluctué au cours des années, ces variations ne montrent pas une corrélation claire avec les prix de l'électricité. En revanche, **le prix de l'électricité est plus étroitement lié à celui du gaz naturel**, particulièrement en période de crises énergétiques internationales. Cela suggère que d'autres facteurs, comme le prix des combustibles fossiles et les dynamiques du marché international, ont un impact plus significatif sur les prix de l'électricité que seule la production nucléaire.

Le Comité économique et social européen (CESE) observe que dans le marché de gros de l'électricité actuel, les prix sont déterminés selon un ordre de priorité. Cela signifie que, à moins qu'une part importante des sources d'énergie ne soit constituée de sources à faibles émissions, **l'énergie nucléaire n'a pas d'impact direct sur les prix de l'énergie sur les marchés au comptant**. Cependant, il existe bien une corrélation notable entre la réduction de l'offre et l'augmentation de la demande, entraînant ainsi une hausse des prix de l'énergie. Un approvisionnement plus fiable en énergie, provenant de sources stables et à faible intensité de carbone, pourrait contribuer à réduire la volatilité des prix de l'énergie sur les marchés.

Cette observation met en évidence l'importance d'une diversification du bouquet énergétique vers des sources plus stables et à faible intensité de carbone pour stabiliser les prix de l'énergie.

Question 2 : Le nucléaire contribue-t-il à la stabilité de l'approvisionnement en électricité ?

La question de savoir si le nucléaire contribue à la stabilité de l'approvisionnement en électricité en Belgique est complexe et multifacette. En l'absence d'une définition satisfaisante de la sécurité d'approvisionnement en électricité, une définition plus large de la sécurité d'approvisionnement en énergie, proposée par la Commission européenne, peut être adaptée. Selon elle, la sécurité énergétique vise à garantir, pour le bien-être des citoyens et le bon fonctionnement de l'économie, la disponibilité physique et continue des produits énergétiques sur le marché à un prix abordable pour tous les consommateurs (privés et industriels), dans une perspective de développement durable conforme aux objectifs fixés par le traité d'Amsterdam⁴ (FEBEG, n.d.).

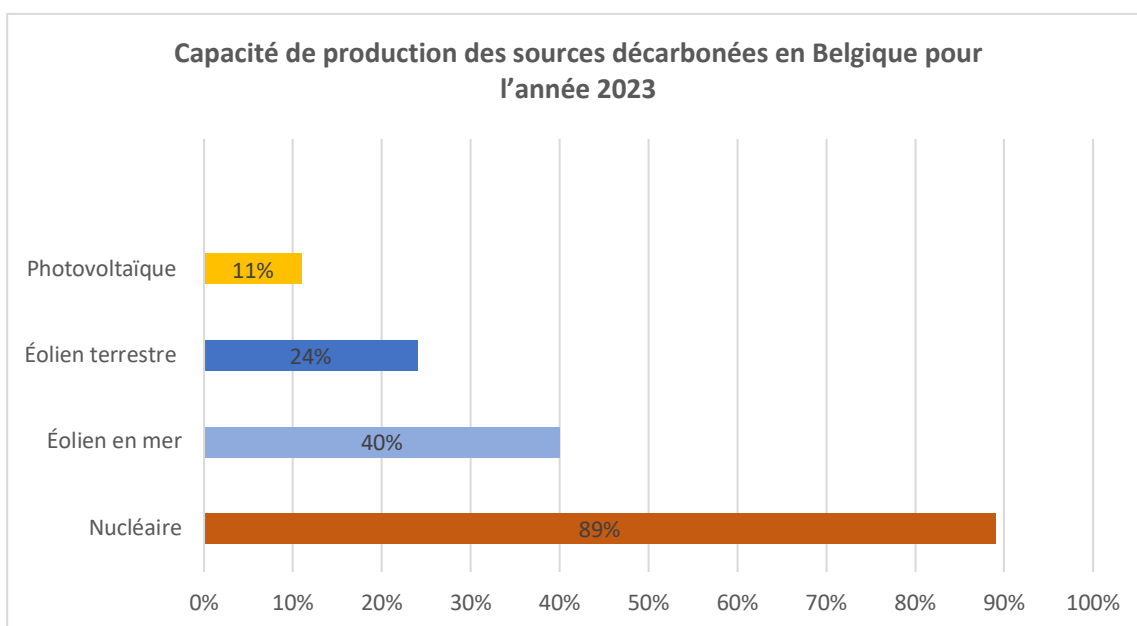
La stabilité du réseau électrique sollicite un équilibre permanent de la demande et la production d'électricité. En cas de conditions météorologiques défavorables ayant un impact sur la production solaire et éolienne, il est important de disposer d'unités commandables pouvant continuer à assurer la production à l'instar des centrales à gaz.

L'intensité énergétique de la Belgique figure parmi les plus élevées au niveau international (Annexe 9). Ainsi les ménages belges bénéficient d'un haut niveau de confort électrique et de nombreuses industries à forte valeur ajoutée (industrie

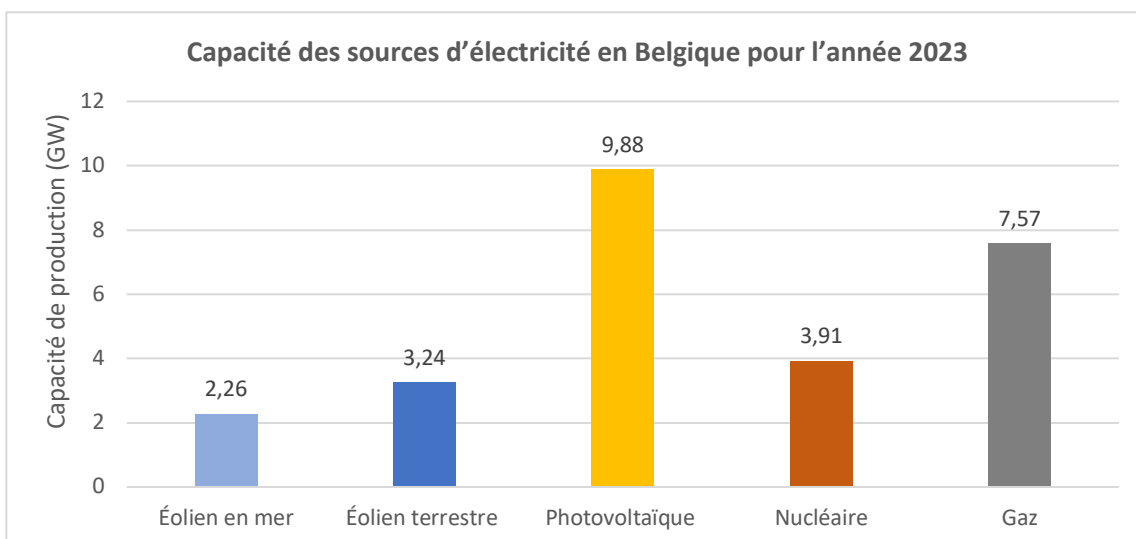
⁴ Le traité d'Amsterdam, signé en 1997 et entré en vigueur en 1999, est un accord révisant le traité de Maastricht (1992) et les traités antérieurs de l'Union européenne. Il a introduit plusieurs modifications importantes visant à améliorer l'efficacité, la transparence et la démocratisation de l'UE. Parmi ses principales dispositions, le traité d'Amsterdam a renforcé les politiques sociales et d'emploi, intégré l'accord de Schengen dans le cadre juridique de l'UE. Le traité a également mis l'accent sur le développement durable, contribuant ainsi aux objectifs de sécurité énergétique et environnementale de l'Union (EUR-Lex, 2018).

pharmaceutique, chimie, pétrochimie, etc.) ont trouvé chez nous des conditions favorables à leur développement.

En 2023, la consommation d'électricité en Belgique s'élève à 78,9 TWh, un niveau historiquement bas. Bien que les prix de l'électricité aient fortement diminué cette année (96,7€/MWh comparé à 243,8€/MWh en 2022), ils restent particulièrement élevés en raison du contexte international, ce qui contribue également à la baisse de la consommation (Elia, 2024). Cette tendance est considérée comme temporaire par Elia, qui prévoit pour les années à venir, une forte augmentation de la consommation électrique. Cette hausse future est attribuée à l'électrification rapide des processus industriels ainsi qu'à la croissance significative du nombre de voitures électriques et de pompes à chaleur. Elia envisage une augmentation de la consommation de 50 % d'ici à 2032 (Elia, 2024). La fermeture définitive du réacteur Doel 3 fin septembre 2022 et celle de Tihange 2 en février 2023 ont entraîné une diminution de l'énergie produite par nos centrales nucléaires. Toutefois, le taux de disponibilité des réacteurs résiduels reste élevé. L'énergie nucléaire représente encore 41,3 % (31,4 TWh) du mix électrique, contre 47,3 % l'année précédente (Elia, 2024). En comparant les sources renouvelables servant à la production d'électricité en Belgique, celles-ci atteignent un record de 21,5 TWh de production, soit 28,2% du mix électrique belge (Elia, 2024).

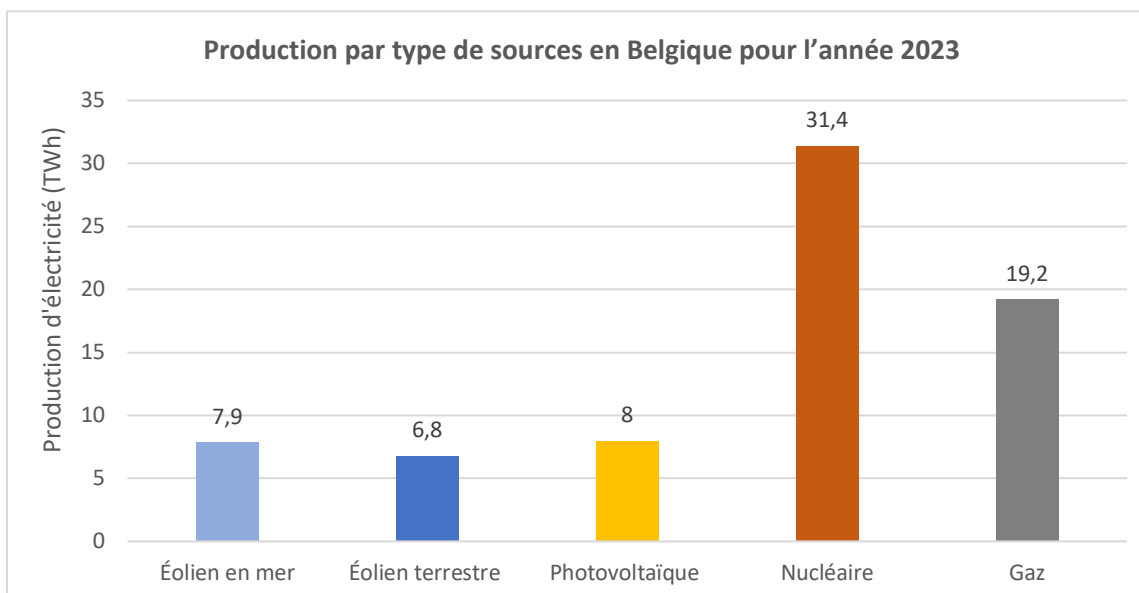


Graphique 4 : Capacité de production des sources décarbonées en Belgique pour l'année 2023 (Source : FEBEG, 2024)



Graphique 5 : Capacité des sources d'électricité en Belgique pour l'année 2023 (Source : FEBEG, 2024)

Les graphiques fournissent des informations importantes sur la capacité de production disponible et la production réelle des sources d'électricité en Belgique pour l'année 2023. La capacité de production disponible des sources décarbonées montre que le nucléaire détient la plus grande capacité de production disponible parmi les sources d'électricité décarbonées en Belgique, représentant 89%. En comparaison, les énergies renouvelables comme l'éolien en mer et l'éolien terrestre représentent respectivement 40% et 24%, tandis que le photovoltaïque ne représente que 11%.



Graphique 6 : Production par type de sources en Belgique pour l'année 2023 (Source : Eurostat, 2024)

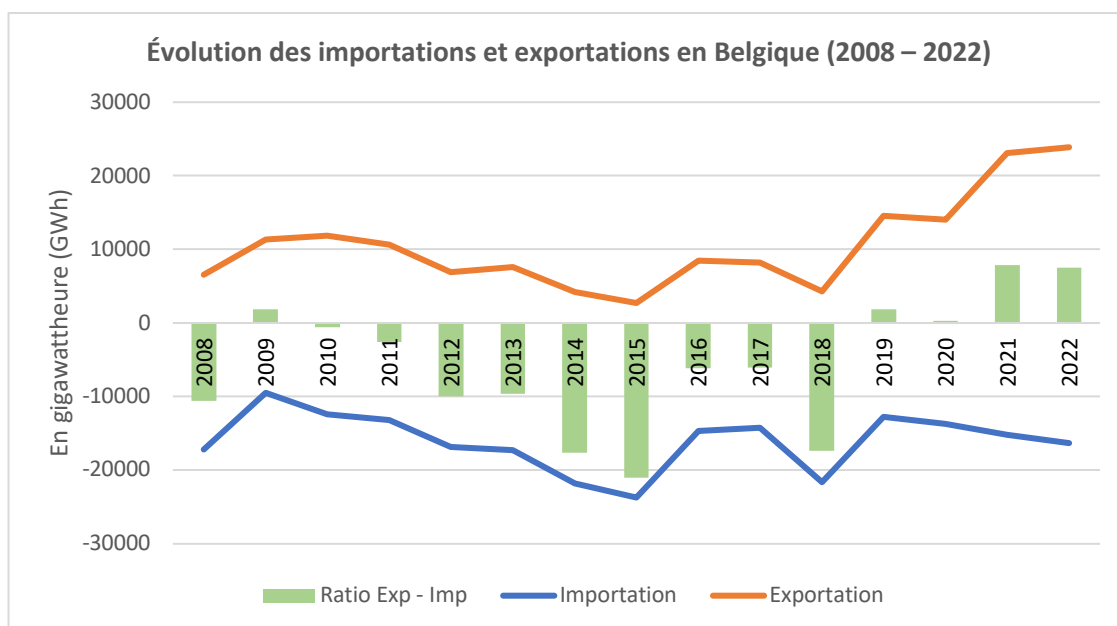
Concernant la production des sources décarbonées et en incluant le gaz, le nucléaire produit la plus grande quantité d'électricité avec 31,4 TWh, surpassant largement les

autres sources. Le photovoltaïque, l'éolien en mer, et l'éolien terrestre produisent respectivement 8 TWh, 7,9 TWh, et 6,8 TWh. Le gaz, quant à lui, a produit un quart de la totalité de la production d'électricité en 2023 en Belgique (19,2 TWh). En termes de capacité installée en gigawatts (GW), c'est le photovoltaïque qui possède la plus grande capacité avec 8,33 GW, suivi par le gaz (7,57 GW) nucléaire (3,929 GW), l'éolien terrestre (3,247 GW), et l'éolien en mer (2,261 GW).

Cependant, malgré une capacité installée inférieure au photovoltaïque, le nucléaire produit de loin la plus grande quantité d'électricité, ce qui indique une fiabilité et une constance élevées, importantes pour la stabilité de l'approvisionnement en électricité. Le nucléaire permet donc de produire plus grâce à son facteur de charge⁵ plus élevé. Les énergies renouvelables, bien qu'ayant une capacité installée significative, produisent beaucoup moins d'électricité, ce qui peut être dû à des facteurs intermittents comme les conditions météorologiques. Le rapport entre la capacité installée et la production d'électricité est très élevé pour le nucléaire, soulignant son efficacité et sa constance. Les sources renouvelables, en particulier le photovoltaïque, ont un volume installé supérieur, mais leur production est beaucoup plus faible en comparaison, reflétant leur intermittence et leur variabilité. À titre de comparaison, le facteur de charge du solaire est de 8,4, tandis que celui de l'éolien onshore est de 23,6 et l'offshore de 40,4.

Le nucléaire, avec ses 31,4 TWh produits, reste crucial pour répondre à la demande électrique en Belgique. La haute disponibilité des réacteurs restants après la fermeture de Doel 3 et Tihange 2 continue de jouer un rôle dans l'approvisionnement stable en électricité. Bien que la part de l'énergie nucléaire dans le mix électrique ait diminué de 47,3% à 41,3%, elle reste la source principale de production d'électricité décarbonée.

⁵ Le facteur de charge est le rapport entre la production maximale techniquement possible sur la base de la capacité installée et la quantité d'électricité effectivement produite. Un facteur de charge élevé représente une meilleure utilisation de la capacité installée de production d'énergie.



Graphique 7 : Évolution des importations et exportations en Belgique (2008 – 2022) (Source : Eurostat, 2024)

Ce graphique présentant l'évolution des importations et des exportations d'électricité en Belgique, montre le changement de tendance passant de la balance importatrice nette depuis 2010 à une balance positive et donc exportatrice en 2019. Cela indique une surproduction de 7,876 TWh en 2021 et de 7,527 TWh en 2022 due à l'augmentation de la production via les énergies renouvelables mais aussi du nucléaire.

La fermeture de toutes nos centrales nucléaires belges diminuerait l'approvisionnement d'environ 31 TWh. Actuellement, il y a une surproduction d'environ 7,5 TWh. La Belgique se retrouvera à importer 23,5 TWh en plus pour combler ce manque. Ce qui équivaut aux importations de 2015, l'année où le taux de disponibilité du nucléaire a été au plus bas en Belgique (Annexe 10). **Cette importation est techniquement possible grâce à la position géographique du pays et de ses connexions avec les réseaux électriques voisins mais cela augmenterait considérablement notre dépendance énergétique vis-à-vis de nos voisins**, notamment la France. Cependant, le parc nucléaire français a montré des signes de fragilité ces dernières années en raison de problèmes de maintenance et de disponibilité des réacteurs, ce qui pourrait poser des risques de fiabilité pour la Belgique. En période de crise énergétique, la capacité de produire de l'électricité de manière indépendante reste un atout stratégique important. Pour compenser la fermeture des centrales nucléaires et réduire la dépendance aux

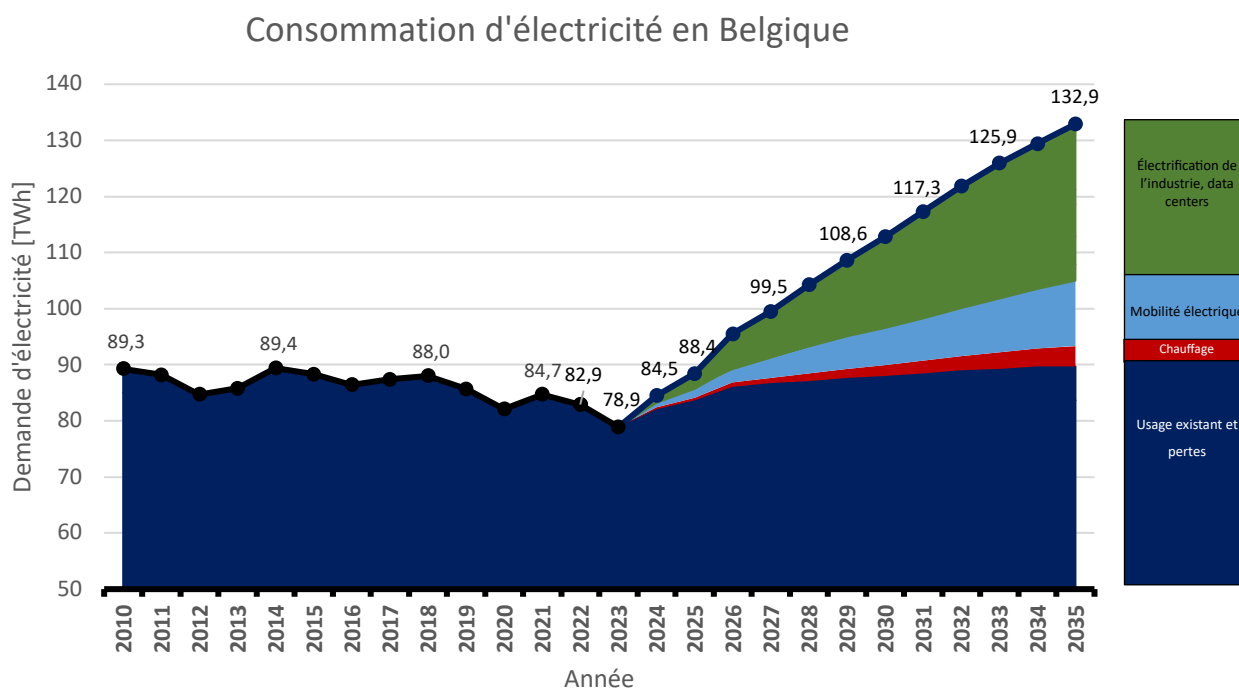
importations, il est nécessaire de développer les énergies renouvelables, d'investir dans des technologies de stockage d'énergie, d'améliorer l'efficacité énergétique et de diversifier les sources de production d'électricité. Ces investissements contribueraient de manière significative à l'approvisionnement en électricité.

Question 3 : Comment les projets d'expansion de l'éolien et du solaire en Belgique compenseront-ils la réduction de la production nucléaire ?

La capacité de production installée en Belgique est d'environ 29 GW, tandis que la demande maximale en électricité se situe en moyenne entre 13 et 14 GWh au cœur de l'hiver (FEBEG, n.d.). Comment expliquer qu'il existe un risque de sécurité d'approvisionnement alors que la capacité installée semble suffisante pour couvrir la demande ? Ce paradoxe s'explique par la disponibilité variable des différentes technologies de production d'électricité. Elle fluctue en raison de facteurs techniques (pannes, périodes de maintenance, etc.) et de facteurs météorologiques et saisonniers. Ces sources d'énergie, qualifiées d'intermittentes, ne sont donc pas toujours disponibles pour répondre aux pics de demande.

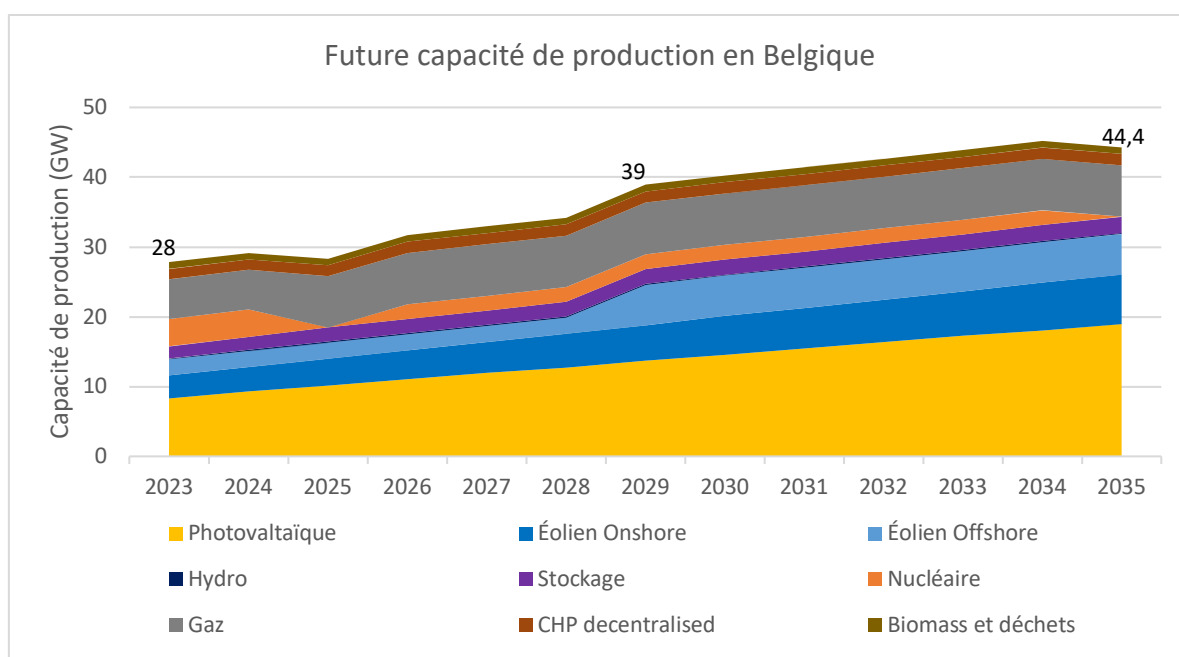
Lorsque c'est le cas, des unités de production pilotables, comme les centrales au gaz, doivent prendre le relais. Cependant, il faut également considérer le risque industriel et les pannes qui peuvent affecter toutes les unités de production, quelles qu'elles soient.

Alors que la transition énergétique et la décarbonation l'obligent, la consommation électrique est incitée à bondir en Europe et en Belgique. La consommation belge pourrait passer de 78,9 TWh annuels en 2023 à 112,8 TWh en 2030 (+36,6%) et même atteindre 132,9 TWh en 2035 (+60,9%) (Elia, 2023). Cela sera principalement dû à une reprise graduelle de l'activité industrielle, à une électrification accrue des secteurs du chauffage et du transport, ainsi qu'à l'expansion du secteur des centres de données (Elia, 2023).



Graphique 8 : Consommation d'électricité en Belgique depuis 2010 et projection jusqu'en 2035
(Source : Elia, 2023)

Dans le cadre de leurs différentes transitions énergétiques, les pays du continent européen se sont fixés des objectifs ambitieux de développement de l'éolien (terrestre et maritime) ainsi que du solaire photovoltaïque. Ainsi, en 2030, près de 20 GW d'énergies renouvelables devraient être installés en Belgique (Beeker & Dégremont, 2021).



Graphique 9 : Projection de la capacité de production du mix électrique en Belgique (2023 – 2035)
(Source : PRIMES & Eurostat, 2023)

Le graphique sur l'évolution du mix de la production brute d'électricité en Belgique montre une diminution progressive et significative de la part de l'énergie nucléaire entre 2020 et 2035. À noter, la fermeture de toutes les centrales en 2025 avant la remise en route d'uniquement deux centrales (Doel 4 et Tihange 3) d'une capacité de 2 GW. Le déclin de la production via le nucléaire doit être compensé par une augmentation des énergies renouvelables telles que l'éolien et le solaire. Cette transition reflète des décisions politiques visant à réduire la dépendance nucléaire et à promouvoir les énergies renouvelables.

La production via l'énergie éolienne offshore atteint 2,261 GW jusqu'en 2025 avant de doubler pour atteindre 5,76 GW en 2030 grâce au nouveau projet d'éoliennes offshore en mer du Nord avec le développement de parcs éoliens dans la zone Princesse Élisabeth (Annexe 11).

Concernant les éoliennes onshore et le photovoltaïque, leur développement devrait continuer de manière linéaire comme illustré sur le graphique.

D'ici à 2035, les énergies renouvelables devraient assurer plus de 60% de la production, inversant ainsi la tendance observée en 2020 quand les centrales nucléaires et au gaz dominaient. Cependant, malgré cette stabilité globale de la production d'électricité, l'intermittence des énergies renouvelables pose des défis majeurs. Il s'en déduit que des investissements importants dans les technologies de stockage d'énergie, les infrastructures de réseau sophistiquées et des sources d'énergie flexibles comme les centrales au gaz naturel seront nécessaires. Ainsi, deux nouvelles centrales à gaz vont être construites à Flémalle et Seraing afin de gérer une capacité totale de production de 1,7 GW (Engie, 2024).

Au cours des premières années, la production nucléaire sera remplacée par des importations et de la production au gaz, conformément au mix de capacité prévu. Cependant, après 2030, la contribution de la production au gaz diminuera progressivement. Ce déclin sera principalement compensé par une augmentation des importations.

À long terme, la part des sources d'énergie renouvelable (SER) s'élèvera sur notre territoire, bien qu'elle restera inférieure au volume total de consommation. En

conséquence, **la part des SER dans le volume total de la consommation électrique augmentera de manière significative, atteignant 60% du volume total de production d'ici à 2035. La part des importations représentera environ 40 % du volume total de la consommation électrique**, Ce taux d'importation sera possible grâce à la mise en service des interconnexions Nautilus et Triton-Link, qui permettront l'importation de davantage de SER en Belgique (Annexe 12).

7 Conclusion

Pour conclure ce travail et répondre à la question de recherche « L'impact du nucléaire sur la stabilité des prix de l'électricité et son approvisionnement dans le contexte actuel de l'industrie de l'énergie en Belgique ? », il est essentiel de synthétiser les principales découvertes et implications de l'étude.

Tout d'abord, nous pouvons dire que **la part du nucléaire n'affecte pas le prix de l'électricité, ni en Belgique ni à l'échelle européenne**, étant donné que le marché électrique est commun à toute l'Europe. Avec un coefficient de corrélation proche de zéro, cela signifie que les deux variables sont presque indépendantes l'une de l'autre, **confirmant ainsi que l'augmentation ou la diminution de la production nucléaire n'affectent pas de manière significative les prix de l'électricité**. Cependant, nous pouvons conclure que la part de gaz a un réel impact sur le prix de l'électricité, influençant ainsi les factures. Avec un coefficient de corrélation proche de 1 lors des trois dernières années, cela prouve le lien fort entre le prix du gaz et celui de l'électricité. De plus, le principe du coût marginal entre en action et c'est très souvent une centrale au gaz ou au charbon qui est activée après le nucléaire. La mise en route de ce type de centrales est beaucoup plus simple à actionner et à arrêter que les centrales nucléaires, c'est l'une des raisons de son activation en dernier recours.

De plus, concernant la sécurité d'approvisionnement en électricité en Belgique, **la fermeture des différentes centrales nucléaires belges n'impactera pas directement l'approvisionnement** en électricité des consommateurs. La Belgique étant parfaitement située géographiquement, elle peut compter sur ses nombreuses connexions avec ses pays voisins pour subvenir à ses besoins électriques. Restera le seul problème de sa forte dépendance par rapport à ses voisins au niveau énergétique. Pour compenser la fermeture des centrales nucléaires et réduire la dépendance aux importations, il est nécessaire de développer les énergies renouvelables, d'investir dans des technologies de stockage d'énergie, d'améliorer l'efficacité énergétique et de diversifier les sources de production d'électricité.

L'arrêt total des centrales nucléaires belges décrétées en 2035 et dans le cadre des transitions énergétiques, les pays européens dont la Belgique se sont fixés des objectifs très ambitieux de développement du renouvelable. Ainsi en 2030, près de 20 GW d'énergies renouvelables devraient être installés en Belgique, et cela, en partie grâce au projet offshore dans la zone Princesse Élisabeth. Ajoutons à cela, l'augmentation de 1,7 GW avec deux nouvelles centrales à gaz. Cependant, l'augmentation de notre consommation électrique devrait continuer à évoluer constamment à la hausse et donc, sauf à moins de restreindre radicalement notre appétit énergétique, l'importation d'électricité sera obligatoire pour compléter le manque de production. **On estime en 2035 une production renouvelable atteignant 60% de notre consommation.** Les 40 autres pourcents seront importés.

A noter que dans ce milieu complexe et vaste, il reste énormément d'incertitudes concernant les projections sur la capacité de production ainsi que sur la consommation d'électricité par les habitants belges. Le nouveau gouvernement réfléchit à une possible prolongation du nucléaire non sur 10 ans mais sur 20 ans. Une prolongation modifierait la quantité de production et donc les résultats obtenus à la troisième question.

8 Bibliographie

Adar, E. (2020). "The State of the Art of Nuclear Energy: Pros and Cons." EurAsia Waste Management Symposium, 2020, pp. 26–28 https://www.eurasiasymposium.com/EWMS/files/Hall2/Session-4/045_Adar.pdf

Adar, E. (2021). The state of the art of nuclear energy and its bibliometric analysis. *Environmental Research & Technology (Online)*, 4(2), 102–107. <https://doi.org/10.35208/ert.840369>

AFCN. (2019). *Fonctionnement d'une centrale nucléaire | AFCN - Agence fédérale de Contrôle nucléaire*. <https://afcn.fgov.be/fr/dossiers-dinformation/centrales-nucleaires-en-belgique/fonctionnement-dune-centrale-nucleaire>

Agence Internationale de l'Énergie Atomique. (2015). *CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET ÉNERGIE NUCLEAIRE*. https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/ccnfp_web.pdf

Alternà Energie. (2023, août 16). *Mix énergétique : définition, enjeux et exemples*. Alternà Énergie. <https://www.alterna-energie.fr/blog-article/mix-energetique-definition-enjeux-et-exemples>

Aoki, M., & Rothwell, G. (2013). A comparative institutional analysis of the Fukushima nuclear disaster: Lessons and policy implications. *Energy Policy*, 53, 240–247. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.10.058>

Aszódi, A., Biró, B., Adorján, L., Dobos, Á. C., Illés, G., Tóth, N., Zagyi, D., & Zsiborás, Z. T. (2021). Comparative analysis of national energy strategies of 19 European countries in light of the green deal's objectives. *Energy Conversion and Management: X*, 12, 100136. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2021.100136>

Aszódi, A., Biró, B., Adorján, L., Dobos, Á. C., Illés, G., Tóth, N., Zagyi, D., & Zsiborás, Z. T. (2023). The effect of the future of nuclear energy on the decarbonization pathways and continuous supply of electricity in the European Union. *Nuclear Engineering and Design*, 415, 112688. <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2023.112688>

Bacq, C., Verboogen, B., & Baudoux, N. (2022, août 30). Évolution des prix de l'énergie en Belgique jour par jour : gaz, électricité, mazout. . *L'Echo*. <https://www.lecho.be/dossiers/crise-energetique/evolution-des-prix-de-l-energie-en-belgique-jour-par-jour-gaz-electricite-mazout/10410704.html>

Beeker, É., Dégremont, M. (2021). Quelle sécurité d'approvisionnement électrique en Europe à horizon 2030 ? *Note D'analyse*, n° 99(1), 1–12. <https://doi.org/10.3917/lna.099.0001>

Belgian Offshore Platform. (2021, 3 janvier). *Première zone d'énergie éolienne en mer du Nord belge entièrement opérationnelle dans les délais prévus - Belgian Offshore Platform*. <https://www.belgianoffshoreplatform.be/fr/news/premiere-zone-denergie-eolienne-en-mer-du-nord-belge-entierement-operationnelle-dans-les-delaix-prevus/>

- BNB. (2023). Productivité, compétitivité et durabilité de l'économie belge. Dans *Banque Nationale de Belgique* (p. 167-169). https://www.nbb.be/doc/ts/publications/nbbreport/2023/fr/tl/rapport2023_tii_h6.pdf
- Bonnemé, R., & Mathot, M.-L. (2023, 3 juillet). *Trop d'électricité, prix négatifs : notre réseau est-il à la hauteur de la transition énergétique ? Une série en cinq épisodes*. RTBF. <https://www.rtbf.be/article/trop-d-electricite-prix-negatifs-notre-reseau-est-il-a-la-hauteur-de-la-transition-energetique-une-serie-en-cinq-episodes-11217335>
- Boutherin, G. & Kiffer, D. (2006). L'usage pacifique du nucléaire et la non-prolifération. *Politique étrangère*, 609-621. <https://doi.org/10.3917/pe.063.0609>
- Burssens, S., Fernández, G. S., Helsen, S., Lenaerts, P., Van Den Eynde, R., Severijns, N., & Ceulemans, G. (2017). Electricity Production Plan for Belgium post-2025. *Transdisciplinary Insights*, 1(1), 1–8. <https://doi.org/10.11116/tidi2017.1.1>
- Çakar, N. D., Erdoğan, S., Gedikli, A., & Öncü, M. A. (2022). Nuclear energy consumption, nuclear fusion reactors and environmental quality: The case of G7 countries. *Nuclear Engineering and Technology*, 54(4), 1301–1311. <https://doi.org/10.1016/j.net.2021.10.015>
- Collard, F. (2017). La transition énergétique. *Courrier Hebdomadaire - Centre De Recherche Et D'information Socio-politiques/Courrier Hebdomadaire*, n° 2321(36), 5–44. <https://doi.org/10.3917/cris.2321.0005>
- Collard, F. (2019). La politique énergétique en Europe. *Courrier Hebdomadaire - Centre De Recherche Et D'information Socio-politiques/Courrier Hebdomadaire*, n° 2403-2404(38), 5–66. <https://doi.org/10.3917/cris.2403.0005>
- Collard, F. (2023). Les producteurs d'énergie en Belgique : Electrabel et les autres opérateurs historiques. *Courrier hebdomadaire du CRISP*, 2581-2582, 5-101. <https://www.cairn.info/revue--2023-16-page-5.htm>.
- Commission européenne. (2024, 16 mai). *L'Europe peut-elle se passer du gaz russe ?* Commission Européenne. https://france.representation.ec.europa.eu/informations/leurope-peut-elle-se-passer-du-gaz-russe-2024-05-16_fr#
- Commission wallonne pour l'Energie (CWaPE). (2024). ANALYSE DES PRIX DE L'ELECTRICITE ET DU GAZ NATUREL EN WALLONIE (CLIENTS RESIDENTIELS) SUR LA PERIODE DE JANVIER 2007 a DECEMBRE 2023. In *CWaPE – Analyse Des Prix De L'électricité Et Du Gaz Naturel En Wallonie (Clients Résidentiels)*. <https://www.cwape.be/sites/default/files/cwape-documents/Rapport-Observatoire%20des%20prix%20aux%20clients%20r%C3%A9sidentiels%20janvier%202007%20%C3%A0%20d%C3%A9cembre%202023.pdf>

[presse/2024/01/20240108_electricity-mix-2023-belgian-renewable-generation-reaches-all-time-high-while-consumption](https://www.presse.be/2024/01/20240108_electricity-mix-2023-belgian-renewable-generation-reaches-all-time-high-while-consumption)

Elia. (2024a). *Memorandum 2024 : Powering Belgian society for a clean and competitive future*. https://issuu.com/eliagroup/docs/2024_memorandum_elia_fr?fr=sOWY0ZDY5MTUzODY

Engie. (2021, 8 novembre). *Les lignes à Haute Tension, ça sert à quoi ?* ENGIE. <https://particuliers.engie.fr/electricite/conseils-electricite/conseils-installation-electrique/lignes-haute-tension.html#>

ENGIE. (2023, 13 décembre). *ENGIE signe un accord final avec le gouvernement belge sur la prolongation des*. Newsletter Engie. <https://newsroom.engie.com/actualites/engie-signe-un-accord-final-avec-le-gouvernement-belge-sur-la-prolongation-des-reacteurs-nucleaires-tihange-3-et-doei-4-594b-ff316.html>

EUR-Lex. (2018, April 4). *Traité d'Amsterdam* | EUR-Lex. <https://eur-lex.europa.eu/FR/legal-content/summary/the-amsterdam-treaty.html>

FEPEG. (n.d.). *Sécurité d'approvisionnement*. FEPEG Fédération Belge Des Entreprises Électriques Et Gazières. <https://www.fepeg.be/fr/domein/securite-dapprovisionnement#>

Gaudiaut, T. (2024, 18 juillet). *Combien y a-t-il de réacteurs nucléaires en Europe ?* Statista Daily Data. <https://fr.statista.com/infographie/29251/nombre-de-reacteurs-nucleaires-operationnels-et-en-construction-en-europe/>

Gautier, A. (2022). *Électricité : est-il possible de contenir la hausse des prix ? Regards économiques*, Numéro 174.

Hindriks, J., Serse, V. (2022). The incidence of VAT reforms in electricity markets: Evidence from Belgium. *International Journal of Industrial Organization*, 80, 102809. <https://doi.org/10.1016/j.ijindorg.2021.102809>

International Energy Agency. (2020), *World Energy Outlook 2020*, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020>, Licence: CC BY 4.0

International Energy Agency. (2022). *Energy policy review*. https://iea.blob.core.windows.net/assets/638cb377-ca57-4c16-847d-ea4d96218d35/Belgium2022_EnergyPolicyReview.pdf

International Energy Agency. (2024), *Electricity 2024*, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/electricity-2024>, Licence: CC BY 4.0

L'Echo. (2023, July 8). *Le nucléaire a-t-il encore sa place dans le futur énergétique de la Belgique?* L'Echo. <https://www.lecho.be/dossiers/nucleaire/le-nucleaire-a-t-il-encore-sa-place-dans-le-futur-energetique-de-la-belgique/10479582.html>

Laleman, R., & Albrecht, J. (2016). Belgian blackout? Estimations of the reserve margin during the nuclear phase-out. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 81, 416–426. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2016.02.048>

Ministère de la transition énergétique français. (2022). *International | Chiffres clés de l'énergie - Édition 2022*. Chiffres Clés de L'énergie - Édition 2022. <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/edition-numerique/chiffres-cles-energie-2022/12-international#>

Nucleair Forum. (2021, 9 juillet). *Mix électrique belge 2023 : chiffres de l'année*. <https://www.forumnucleaire.be/actus/mix-electrique-belge-2023-chiffres-de-lannee#>

Olivier, A. (3 octobre 2023). *L'énergie dans l'Union européenne*. Toute L'Europe.eu. <https://www.touteleurope.eu/environnement/l-energie-dans-l-union-europeenne/>

Percebois, J. (2019). *Prix de l'électricité : entre marché, régulation et subvention* (Fondation pour l'innovation politique). https://www.fondapol.org/app/uploads/2020/05/146_ELECTRICITE_III_PERCEBOIS_2019-01-24-w-3.pdf

Rausch, S. (2022). Assessing nuclear phase-out. *Nature Climate Change*, 12(4), 314-315.
Ritchie, H., & Rosado, P. (2020). *Nuclear energy*. Our World In Data. https://ourworldindata.org/nuclear-energy?trk=public_post_comment-text

RTBF. (2023, August 14). *La production électrique belge a émis plus de CO2 au cours du dernier semestre*. <https://www.rtf.be/article/la-production-electrique-belge-a-emis-plus-de-co2-au-cours-du-dernier-semestre-11240388>

Sadiq, M., Shinwari, R., Wen, F., Usman, M., Hassan, S. T., & Taghizadeh-Hesary, F. (2023). Do globalization and nuclear energy intensify the environmental costs in top nuclear energy-consuming countries? *Progress in Nuclear Energy*, 156, 104533. <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2022.104533>

Saidi, K., & Mbarek, M. B. (2016). Nuclear energy, renewable energy, CO 2 emissions, and economic growth for nine developed countries: Evidence from panel Granger causality tests. *Progress in Nuclear Energy*, 88, 364–374. <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2016.01.018>

Saidi, K., & Omri, A. (2020). Reducing CO2 emissions in OECD countries: Do renewable and nuclear energy matter? *Progress in Nuclear Energy*, 126, 103425. <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2020.103425>

Schneider, M., Froggatt, A., Stephanie Cooke, Julie Hazemann, Judson, T., Koplow, D., Ramana, M. V., Suzuki, T., Von Hirschhausen, C., Winkler, H., Wimmers, A. J., Nina Schneider, Agnès Stienne, & Friedhelm Meinass. (2023). *The World Nuclear Industry*

Status Report 2023. <https://fr.boell.org/sites/default/files/2024-03/wnisr2023-fr-online-v2.pdf>

Sovacool, B. K. (2008). Valuing the greenhouse gas emissions from nuclear power : A critical survey. *Energy Policy*, 36(8), 2950-2963. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.04.017>

SPF Économie, P.M.E., Classes moyennes et Energie. (2022). Analyse de la flambée récente des prix à la consommation du gaz et de l'électricité en Belgique et dans les pays voisins. Dans *Rapport Annuel 2022 de L'institut des Comptes Nationaux*. Institut des comptes nationaux. <https://economie.fgov.be>

SPF Économie, P.M.E., Classes moyennes et Energie. (2023). MONITORING REPORT : Belgian electricity market Implementation plan. Dans *SPF Economie*. <https://economie.fgov.be/sites/default/files/Files/Energy/CRM-Monitoring-Report-Belgian-electricity-market-Implementation-plan-2023.pdf>

SPF Économie, P.M.E., Classes moyennes et Energie. (2024). ETUDE PROSPECTIVE ELECTRICITE : Rapport de monitoring de la sécurité d'approvisionnement. Dans *SPF Economie*. <https://economie.fgov.be/sites/default/files/Files/Energy/epe-2023-version-finale.pdf>

SPF Economie. (2024). *Parc de production de centrales nucléaires en Belgique*. <https://economie.fgov.be/fr/themes/energie/sources-et-vecteurs-denergie/nucleaire/parc-de-production-de>

Toute l'Europe. (2024, 5 juin). L'énergie dans l'Union européenne. *Touteleurope.eu*. <https://www.touteleurope.eu/environnement/l-energie-dans-l-union-europeenne/>

Tsukada, N., & Matsumoto, M. (2024). Forest carbon accounting to leverage mitigation actions: implications for the Paris Agreement based on the analysis of countries' decision under the Kyoto Protocol. *Journal of Forest Research*, 1–10. <https://doi.org/10.1080/13416979.2024.2302303>

Urizar, M. (2021, 7 septembre). *HERSILL inaugure son installation photovoltaïque dans ses premises*. HERSILL. <https://www.hersill.com/fr/hersill-inaugure-son-installation-photovoltaïque-dans-ses-premises/>

Van Steenberghe, A., Labar, C., & De Radiguès, P. (2024). Perspectives énergétiques de la Belgique à politique annoncée. In *Bureau Fédéral Du Plan* [Report]. https://www.plan.be/uploaded/documents/202405210852140.FOR_ENE_RGY2024_13004_F.pdf

World Nuclear News. (2023, 13 décembre). *Final accord reached on Belgian reactor operations*. <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Final-accord-reached-on-Belgian-reactor-operations>

Wunsch, P., Stoerk, T., & Swartenbroeck, C. (2023, 6 juin). *The macroeconomic aspects of climate neutrality – a European perspective*.

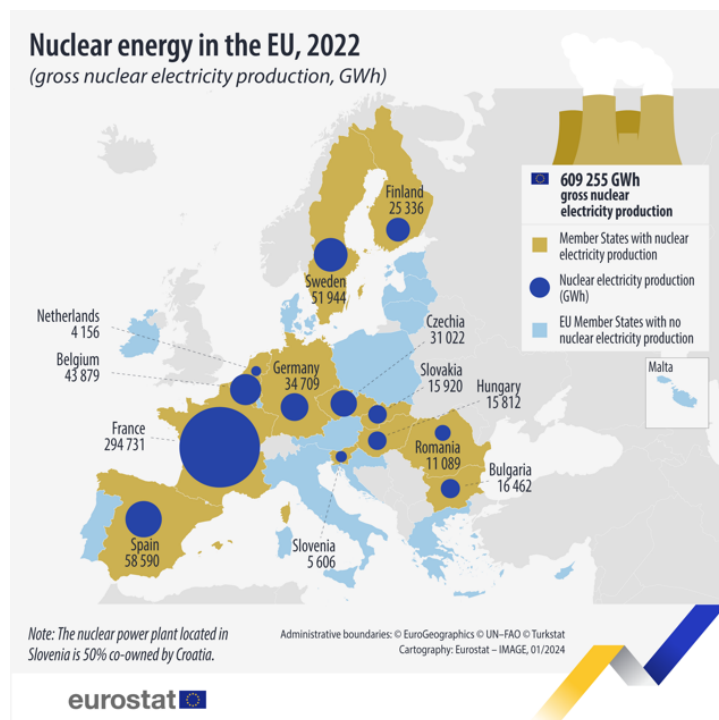
nbb.be. <https://www.nbb.be/en/blog/macroeconomic-aspects-climate-neutrality-european-perspective>

9 Annexes

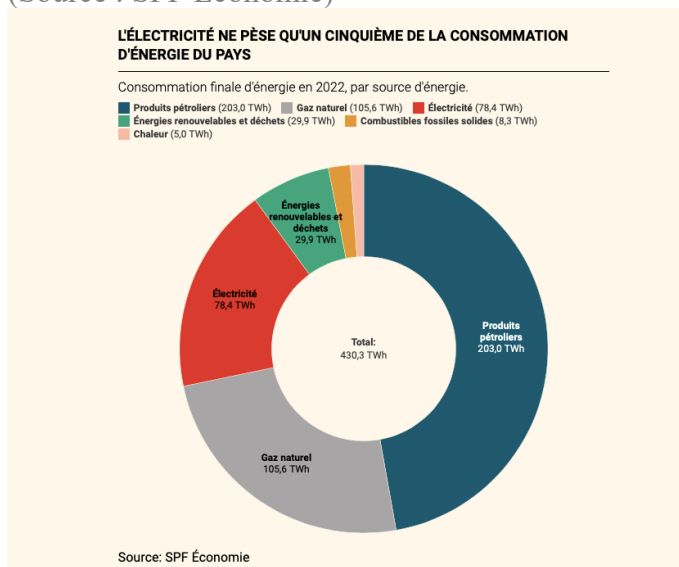
Annexe 1 : Prix de l'électricité en Belgique en €/MWh (2014 – 2023) (Source : Elia)

Month	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
January	39,7	42,9	32,6	72,6	36,8	60,5	37,9	57,5	191,4	126,6
February	38,7	50,5	25,4	47,6	47,4	47,6	28,4	48,6	162,6	143,5
March	37,4	47,1	27,1	34,5	50,7	37,6	24,0	46,6	265,7	109,6
April	41,9	47,7	25,4	37,3	37,8	37,9	14,7	57,0	186,6	105,5
May	38,7	37,6	25,4	37,2	44,5	38,0	15,4	55,6	176,6	78,1
June	36,8	39,0	30,7	32,7	50,0	27,5	25,6	74,4	219,1	93,1
July	33,8	42,6	31,3	33,6	52,9	37,7	29,8	77,4	321,3	75,4
August	37,4	42,4	28,9	31,8	60,7	33,7	35,5	79,5	448,1	92,0
September	46,2	52,5	37,7	37,2	68,8	33,6	44,2	136,2	337,4	94,3
October	46,2	55,4	57,2	49,0	76,0	37,6	39,4	165,2	157,4	86,4
November	45,1	43,1	62,3	66,6	77,8	44,4	39,9	202,2	180,4	91,5
December	47,7	35,9	55,0	55,1	59,7	36,4	47,4	245,4	269,3	69,4
Grand Total	40,8	44,7	36,6	44,6	55,3	39,3	31,9	104,1	243,8	96,7

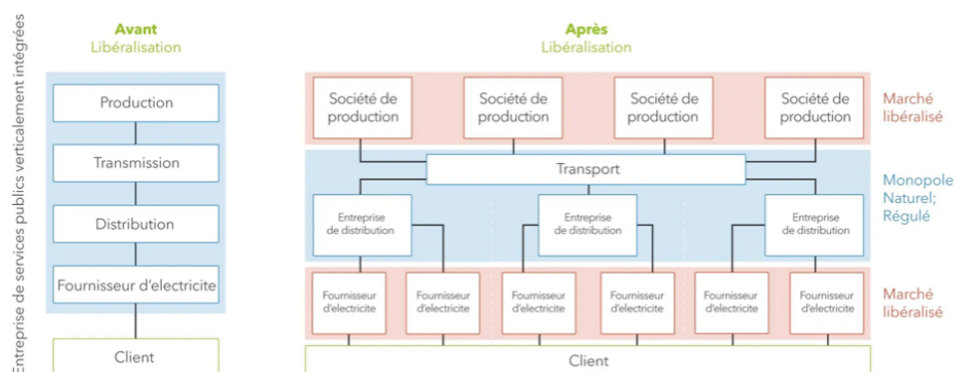
Annexe 2 : L'énergie nucléaire dans l'Union Européenne en 2022 (Source : EuroStat)



Annexe 3 : Part de l'électricité dans la consommation énergétique de la Belgique en 2022
(Source : SPF Économie)



Annexe 4 : Principe de la libéralisation du marché énergétique (Source : Next Kraftwerke)

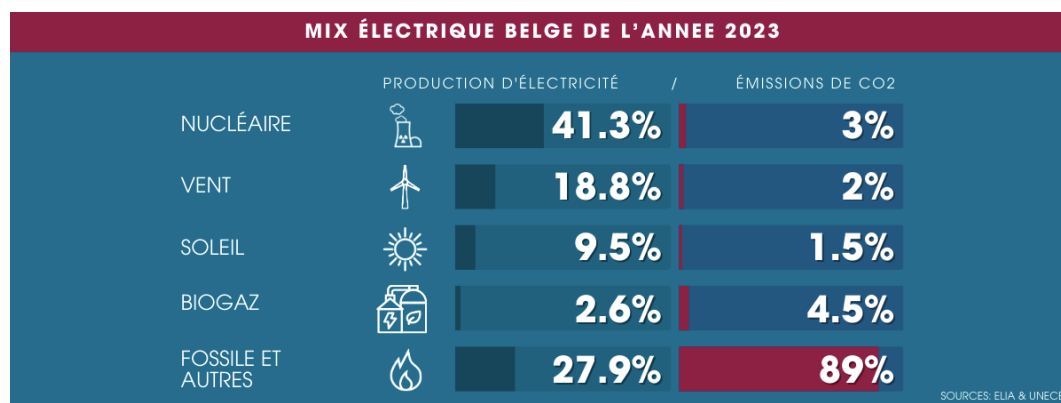


Annexe 5 : Centrales nucléaires belges (Source : AFCN)

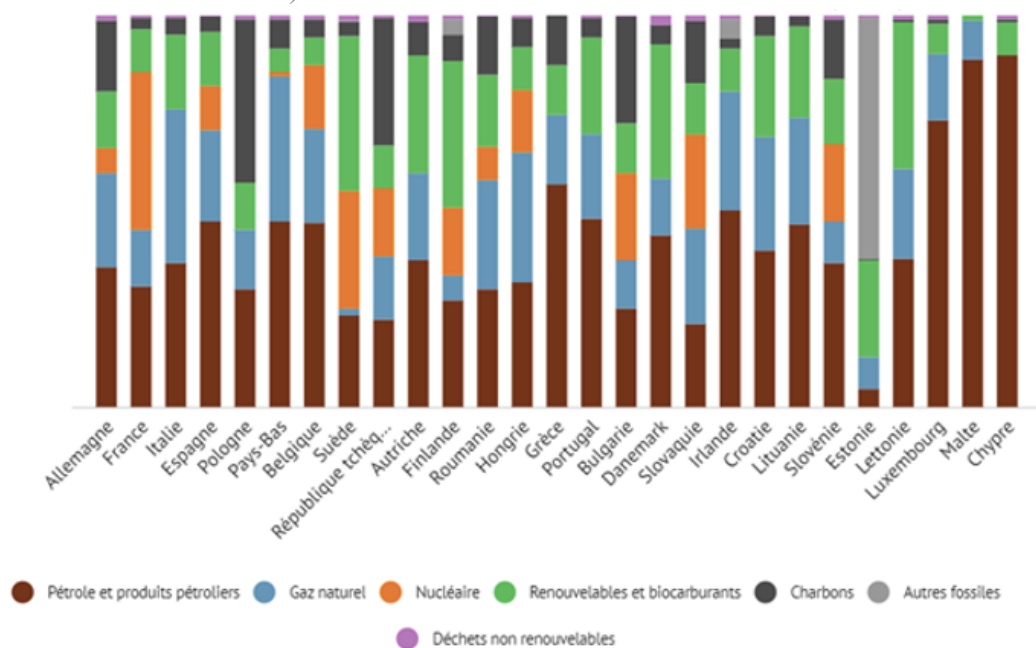
Nom	Puissance (MWe)	Mise en service	Fermeture légale
Doel 1	445	15 février 1975	15 février 2025
Doel 2	433	1 ^{er} décembre 1975	1 ^{er} décembre 2025
Doel 3	Déconnectée du réseau le 23 septembre 2022		
Doel 4	1039	1 ^{er} juillet 1985	1 ^{er} juillet 2025

Nom	Puissance (MWe)	Mise en service	Fermeture légale
Tihange 1	962	1 ^{er} octobre 1975	1 ^{er} octobre 2025
Tihange 2	Déconnectée du réseau le 31 janvier 2023		
Tihange 3	1038	1 ^{er} septembre 1985	1 ^{er} septembre 2025

Annexe 6 : Mix électrique belge en 2023 (Source : Belgian Nuclear Forum)

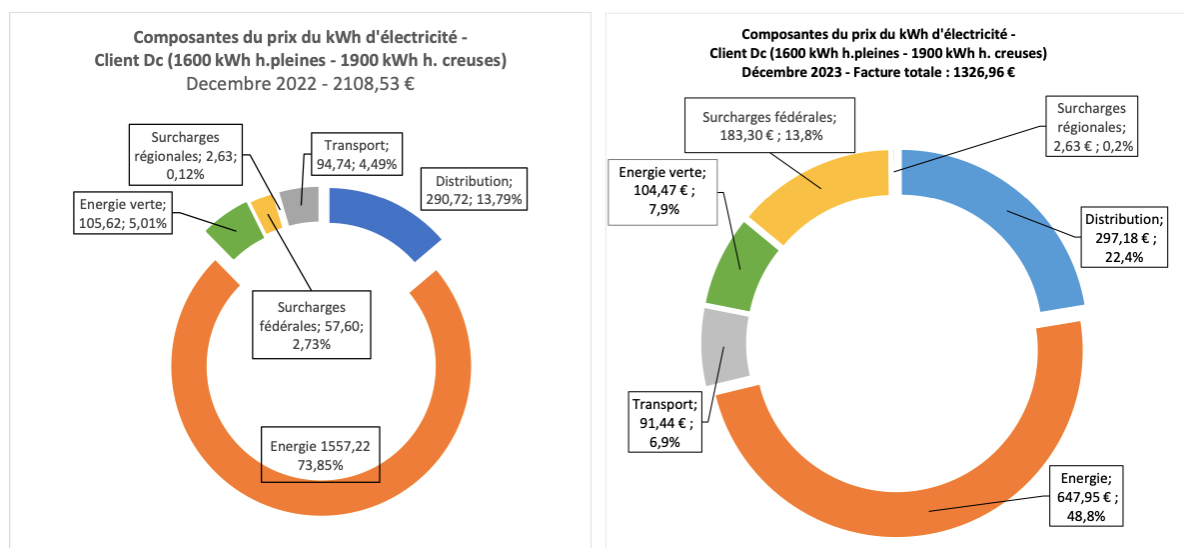


Annexe 7 : Énergie brute disponible des États membres de l'UE (2019) (Source : Newsletter N°52 - RISE)



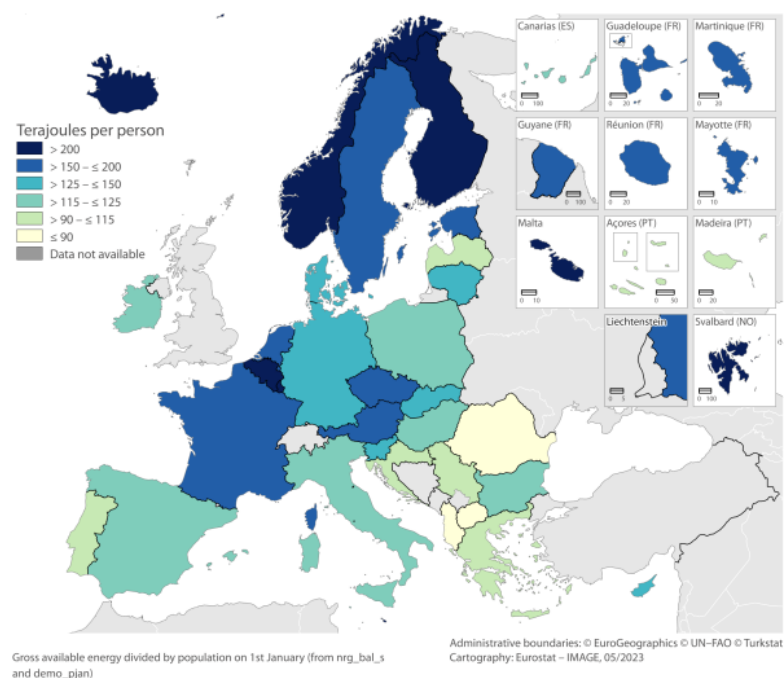
Annexe 8 : Différents composants du prix de l'électricité (Source : l'Echo)

La facture moyenne annuelle pondérée calculée en décembre 2023 (1326,96 €) est en nette baisse par rapport à celle de décembre 2022 (2108,5 €).

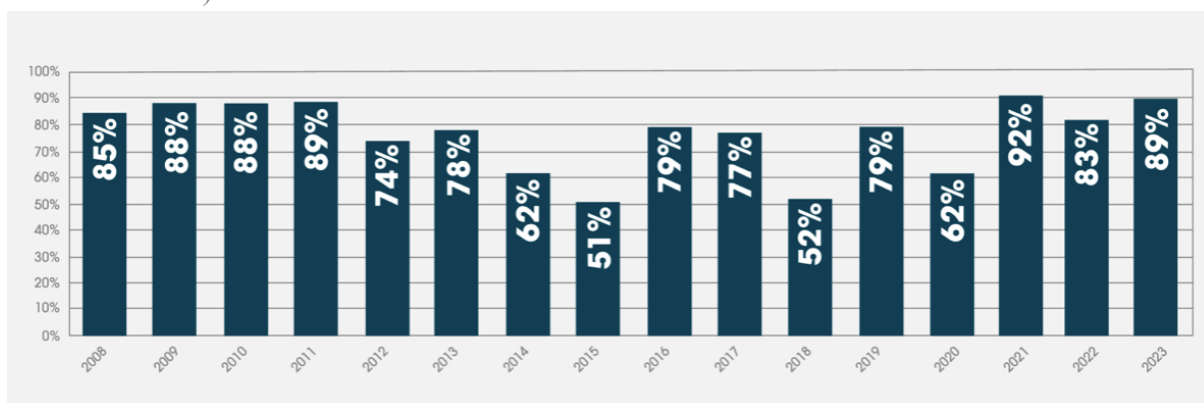


Annexe 9 : Consommation d'énergie par habitant en 2021 (Source : EuroStat)

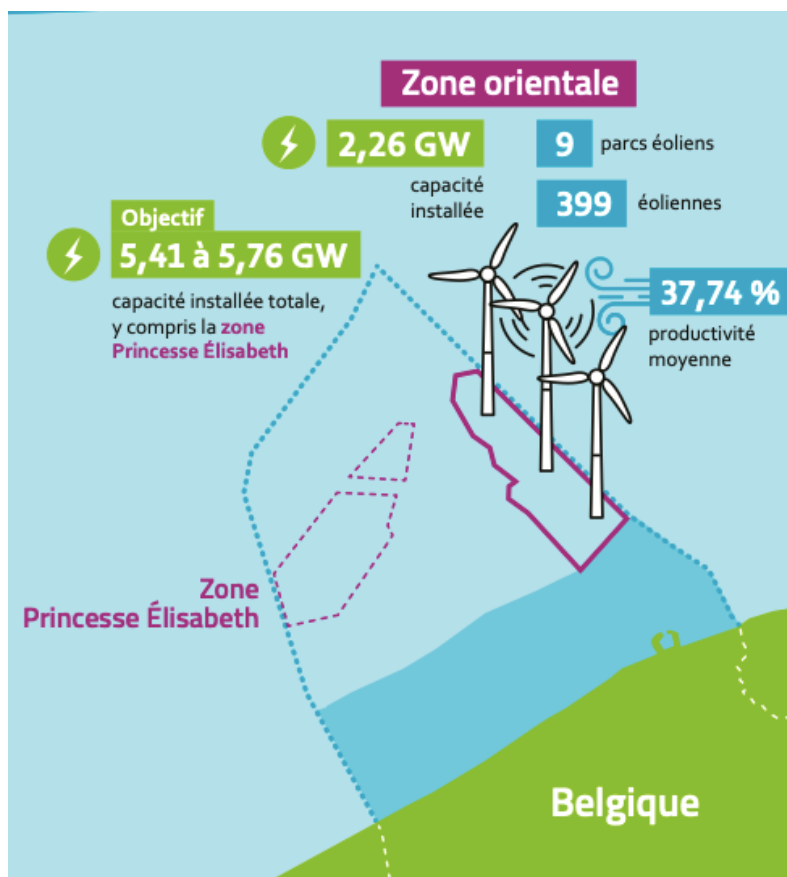
Energy consumption per capita, 2021



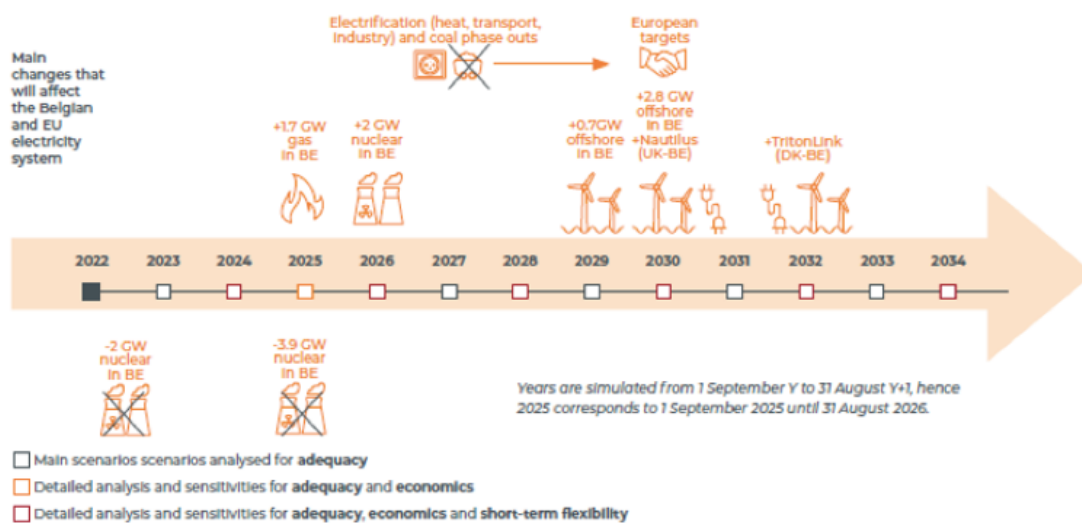
Annexe 10 : Taux de disponibilité des centrales nucléaires belges (2008 – 2023) (Belgian Nuclear Forum)



Annexe 11 : Projet de parc éolien offshore dans la zone Princesse Elisabeth (Source : Belgian offshore platform)



Annexe 12 : Aperçu des horizons temporels des prochains investissements belges (2022-2034) (Source : Elia)



Résumé :

Au cours des dernières décennies, la Belgique a dépendu fortement de l'énergie nucléaire pour répondre à ses propres besoins en électricité. Cependant, confronté à une série de défis complexes et interconnectés, notamment la transition vers des sources d'énergies plus durables, la sécurité de l'approvisionnement, la compétitivité économique et la réduction des émissions de gaz à effet de serre, notre pays a entrepris des efforts pour diversifier son approvisionnement énergétique et explorer d'autres options.

Dans ce travail de fin d'étude, nous analysons l'impact du nucléaire sur la stabilité des prix de l'électricité ainsi que son approvisionnement dans le secteur de l'énergie en Belgique. Pour cela, une recherche qualitative a été effectuée via deux entretiens avec Damien Ersnt, professeur à l'ULiège et Luc Vercruyssen, Chief Economist chez ENGIE Belgique. Parallèlement, une analyse documentaire a été effectuée à partir de rapports et d'études de sources crédibles telles que le SPF Économie, Elia, le Conseil Européen, et le Plan National de l'Énergie et du Climat.

Les résultats de cette étude ne montrent aucune corrélation entre la part de nucléaire utilisée dans le mix énergétique belge et le prix de l'électricité. Cependant, il existe bien une corrélation entre le prix du gaz et celui de l'électricité.

Concernant la sécurité de l'approvisionnement de l'énergie électrique en Belgique, celle-ci ne devrait pas être impactée directement via la fermeture des réacteurs nucléaires belges grâce aux futurs projets de production d'électricité des sources durables et aux importations qui pourront répondre à cette demande.

UNIVERSITÉ CATHOLIQUE DE LOUVAIN
Louvain School of Management

Place des Doyens, 1 bte L2.01.01, 1348 Louvain-la-Neuve
Boulevard Emile Devreux 6, 6000 Charleroi, Belgique
Chaussée de Binche 151, 7000 Mons, Belgique
www.uclouvain.be/lsm