

## **Au-delà du Nucléaire : Stratégies et Analyses pour une Chaine d'Approvisionnement Électrique Durable en Belgique**

**Auteur** : Geraerds, Léo

**Promoteur(s)** : De Boeck, Jérôme

**Faculté** : HEC-Ecole de gestion de l'Université de Liège

**Diplôme** : Master en ingénieur de gestion, à finalité spécialisée en Supply Chain Management and Business Analytics

**Année académique** : 2024-2025

**URI/URL** : <http://hdl.handle.net/2268.2/24412>

---

### *Avertissement à l'attention des usagers :*

*Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.*

*Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.*

---

# Au-delà du Nucléaire : Stratégie et Analyses pour une Chaine d'Approvisionnement Électrique Durable en Belgique

Jury :  
Promoteur :  
**J. De Boeck**  
Lecteur(s) :  
Bernard FORTZ

Mémoire présenté par  
**Léo GERAERDS**  
En vue de l'obtention du diplôme de  
INGÉNIEUR DE GESTION  
à finalité spécialisée en  
Supply Chain Management and  
Business Analytics  
Année académique 2024/2025





## Remerciements

Je tiens tout d'abord à exprimer ma profonde gratitude à Monsieur De Boeck, mon promoteur de travail de fin d'études et maître de stage, pour ses conseils avisés, son accompagnement bienveillant et son soutien précieux aux moments opportuns.

Je souhaite également remercier chaleureusement Monsieur Fortz, professeur particulièrement engagé tout au long de mon master, qui a accepté d'endosser le rôle de lecteur pour ce mémoire.

Mes remerciements vont ensuite tout particulièrement à Messieurs Théo Jacques et Pierre Letawe, qui m'ont accordé de leur temps pour répondre à mes interviews, partageant avec générosité leur expertise et leurs conseils pertinents, contribuant ainsi de manière significative à la richesse de cette recherche.

Je voudrais aussi adresser ma profonde reconnaissance à ma famille, qui m'a constamment soutenu tout au long de la réalisation de ce mémoire. Une mention spéciale revient à ma maman et à ma sœur, dont l'aide précieuse pour la relecture a été un véritable atout.

Je n'oublie pas non plus mes amis et connaissances, qui, de près ou de loin, ont participé à des échanges constructifs ou suggéré des pistes de réflexion qui ont nourri mon travail.

Enfin, je tiens à remercier chaleureusement toutes les personnes qui ont pris le temps de répondre à mon sondage, permettant d'atteindre plus de 400 réponses. Sans leur participation, l'analyse menée dans le cadre de ce mémoire n'aurait pas été possible.

## Table des matières

<i>Liste des figures</i> .....	4
<i>Liste des tableaux</i> .....	5
<i>Liste des abréviations</i> .....	6
<b>0. Introduction .....</b>	7
<b>1. Revue de littérature.....</b>	9
<b>1.1 Contexte général concernant l'électricité en Belgique.....</b>	9
1.1.1 Présentation du marché de l'électricité.....	9
1.1.1.1 Demande mondiale en électricité .....	10
1.1.1.2 Marché européen.....	12
1.1.1.3 Mix énergétique belge .....	14
1.1.2 L'importance stratégique de l'électricité.....	14
1.1.3 La sécurité énergétique .....	15
1.1.4 La dépendance énergétique .....	16
1.1.4.1 Cas généraux .....	16
1.1.4.2 Cas des petites nations.....	17
1.1.4.3 Cas de la Belgique .....	18
1.1.5 Les facteurs influençant le prix de l'électricité .....	19
1.1.5.1 Le principe du « merit order » dans la formation du prix de l'électricité.....	20
1.1.6 Impacts du secteur de l'énergie sur l'environnement.....	22
<b>1.2. Le nucléaire : entre rejet populaire et défense de l'énergie de demain .....</b>	22
1.2.1 L'avènement du nucléaire en Belgique.....	22
1.2.2 L'impact des incidents majeurs (Fukushima, Tchernobyl, Three Mile Island) sur la perception du nucléaire.....	23
1.2.3 Perception et acceptation du nucléaire en Belgique.....	24
1.2.4 Avantages et inconvénients de l'énergie nucléaire .....	24
1.2.4.1 Avantages .....	24
1.2.4.2 Inconvénients .....	25
<b>1.3. Énergies renouvelables : sélection, avantages, inconvénients.....</b>	26
1.3.1 Sélection des sources d'énergies renouvelables .....	26
1.3.2 Impacts des gouvernements sur leurs déploiements.....	26
1.3.3 Avantages .....	27
1.3.3.1 Le solaire photovoltaïque.....	27
1.3.3.2 L'éolien .....	28
1.3.4 Inconvénients .....	28
1.3.4.1 Le solaire photovoltaïque.....	29
1.3.4.2 L'éolien .....	30
<b>2. Méthodologie.....</b>	32
<b>2.1 Justification du choix de la thèse .....</b>	32
<b>2.2 Question de recherche .....</b>	32
<b>2.3 Objectifs de cette thèse .....</b>	33
<b>2.4 Méthode de collection de données.....</b>	33
<b>2.5 Types de données nécessaires.....</b>	34

<b>2.6 Sondage .....</b>	<b>34</b>
<b>2.7 Interviews .....</b>	<b>35</b>
<b>2.8 Outils utilisés.....</b>	<b>36</b>
<b>2.9 Hypothèses.....</b>	<b>36</b>
2.9.1 Hypothèses concernant la situation énergétique belge en général.....	36
2.9.2 Hypothèses concernant le sondage .....	37
<b>2.10 Biais .....</b>	<b>38</b>
2.10.1 Biais - sondage .....	38
2.10.2 Biais - interviews .....	39
<b>3. Résultats .....</b>	<b>40</b>
<b>3.1 Approche légale .....</b>	<b>40</b>
3.1.1 Hypothèse 1 : La sortie progressive du nucléaire en Belgique .....	40
3.1.2 Hypothèse 2 : Inexistence d'une véritable stratégie centralisée pour la Belgique .....	41
3.1.3 Hypothèse 8 : Nécessité d'investissements massifs des autorités dans les énergies renouvelables ..	42
3.1.4 Hypothèse 5 : Impact majeur de l'évolution des certificats verts sur l'intérêt des énergies renouvelables.....	44
3.1.4.1 Fonctionnement des certificats verts sur le terrain.....	45
3.1.5 Hypothèse 7 : Intérêts décroissants pour le renouvelable en raison de règlementations moins favorables.....	46
<b>3.2 La dépendance énergétique belge.....</b>	<b>49</b>
3.2.1 Hypothèse 6 : La provenance étrangère d'une part importante des énergies renouvelables .....	49
<b>3.3 Approche populaire.....</b>	<b>50</b>
3.3.1 Hypothèse 3 : Désinformations relatives aux limites du renouvelable .....	50
3.3.1.1 Avantages concrets de l'utilisation du renouvelable .....	50
3.3.1.2 Limite de la nature et de l'utilisation du renouvelable .....	51
3.3.1.3 Évaluation du niveau d'information de la population belge .....	53
3.3.2 Hypothèse 9 : Acceptation des nuisances visuelles dans l'opinion publique .....	54
3.3.2.1 Projections chiffrées d'infrastructures renouvelables en Belgique pour limiter le déficit énergétique .....	55
3.3.3 Hypothèse 10 : Engagement du secteur professionnel dans la transition énergétique .....	56
3.3.3.1 Analyse de la situation en Belgique .....	57
3.3.3.2 Analyse de la situation en France .....	57
<b>3.4 Approche pratique .....</b>	<b>58</b>
3.4.1 Hypothèse 4 : Difficultés rencontrées pour l'augmentation significative de la part des énergies renouvelables dans le mix énergétique belge .....	58
<b>4. Discussion.....</b>	<b>61</b>
<b>4.1 Contexte et délimitation de la recherche.....</b>	<b>61</b>
<b>4.2 Incitants à la transition vers davantage de renouvelable .....</b>	<b>61</b>
4.2.1 Risques limités et bénéfices environnementaux .....	61
4.2.2 Renforcement de l'adhésion croissante de l'opinion publique .....	62
4.2.3 Progrès technologiques et montée en compétences à l'échelle mondiale .....	62
4.2.4 Potentiel territorial et ambitions de la Belgique .....	63
4.2.5 Réduction de la dépendance énergétique et diminution des importations .....	63
4.2.6 Défis de la relance d'infrastructures nucléaires nouvelles et opportunités du renouvelable à petite et grande échelle.....	64
<b>4.3 Limites et inconvénients à la transition vers davantage de renouvelable.....</b>	<b>64</b>
4.3.1 Vulnérabilité et risques liés à la dépendance aux équipements renouvelables .....	64
4.3.2 Défis financiers et techniques liés à l'adaptation du réseau électrique belge .....	65

4.3.3 Nécessité d'une adaptation des comportements face aux enjeux de la consommation électrique : la sobriété .....	65
4.3.4 Intermittence et climat .....	65
4.3.5 Performance énergétique des renouvelables vs nucléaire : un défi de taille .....	66
4.3.6 Contraintes d'implantations et de délais pour les nouvelles installations renouvelables .....	66
4.3.7 Impacts environnementaux et sanitaires .....	66
<b>4.4 Cas concrets d'analyse : l'Allemagne .....</b>	<b>66</b>
4.4.1 Introduction .....	66
4.4.2 Description de la situation en Allemagne .....	67
4.4.3 Analyse des résultats de la politique énergétique allemande.....	68
4.4.5 Futurs objectifs.....	69
4.4.6 Belgique et Allemagne : points communs et divergences dans la transition énergétique .....	69
<b>5. Conclusion .....</b>	<b>71</b>
5.1 Limites rencontrées.....	72
5.2 Émergence de potentielles futures recherches .....	73
<b>6. Annexes.....</b>	<b>74</b>
Annexe 1 – Questionnaire du sondage réalisé .....	74
Annexe 2 – Préparation de l'interview semi-structurée avec T. Jacques .....	78
Annexe 3 – Retranscription de l'interview avec T. Jacques .....	80
Annexe 4 – Préparation de l'interview semi-structurée avec P. Letawe .....	90
Annexe 5 – Retranscription de l'interview avec P. Letawe.....	91
<b>7. Bibliographie .....</b>	<b>97</b>

## Liste des figures

Figure 1: Parts de marché des principaux producteurs d'électricité en Belgique, en termes de capacité de production (2022) - (Collard, 2023 : 9) ; Figure 2: Parts de marché des principaux producteurs d'électricité en Belgique, en termes d'énergie produite (2022) - (Collard, 2023 : 10).....	10
Figure 3: Parts de marché des fournisseurs d'énergie en Wallonie (électricité) - (CREG, s. d. : 1) ;	
Figure 4: Parts de marché des fournisseurs d'énergie à Bruxelles (électricité) - (CREG, s. d. : 1).....	10
Figure 5: Share of global electricity demand growth attributed (percentage points) - (Oxford Institute for Energy Studies, 2025: 2) .....	11
Figure 6: Net electricity consumption worldwide in select years from 1980 to 2023 (in terawatt-hours) - (Statista, 2025: 1).....	12
Figure 7: Production nette d'électricité dans l'UE par type de combustible (2023) - (Conseil européen, 2025: 2) .....	12
Figure 8: Parts des énergies renouvelables dans la production d'électricité dans l'UE (2004-2023) - (Conseil européen, 2025: 3) .....	13
Figure 9: Bouquet électrique dans les pays de l'UE (2023) - (Conseil européen, 2025: 4).....	13
Figure 10: Electricité produite et consommée en Belgique (2024) - (World Nuclear Association, 2024: 4).....	14
Figure 11: Share of global final energy consumption by fuel - (International Energy Agency, 2020: 10) .....	15
Figure 12: Dimensions of energy security - (Winzer, 2012: 37).....	16
Figure 13: The current perception of energy security expressed through dimensions - (Siksnelyte-Butkiene, 2023: 12) .....	16
Figure 14: Parts des importations énergétiques dans l'énergie brute disponible des pays européens - (SPF Economie, 2025 : 2).....	18
Figure 15: Facteurs influençant le prix de l'électricité sur les marchés concurrentiels de l'énergie - (G. P. & S., 2013: 73) .....	19
Figure 16: Generation technologies marginal production cost 2022 (simplified example) - (Gasparella et al., 2023: 2).....	20
Figure 17: Simplified merit order supply demand stack - (Gasparella et al., 2023: 3) .....	21
Figure 18: EU electricity market bidding zones - (Gasparella et al., 2023 : 3) .....	21
Figure 19: Overall share of energy from renewable sources in 2023 - (Eurostat, 2024: 1).....	27
Figure 20: The adjusted Yamane's formula in equation - (Adam, 2020: 92) .....	35
Figure 21: Perceptions des répondants sur un potentiel investissement massif des autorités .....	42
Figure 22: Connaissances des répondants sur les certificats verts.....	44
Figure 23: Perceptions de l'évolution des lois qui concernent le photovoltaïque des personnes renseignées sur les certificats verts .....	45
Figure 24: Attractivité financière des énergies renouvelables selon les non-utilisateurs, dans le contexte réglementaire actuel.....	48
Figure 25: Évolution de la capacité installée de panneaux photovoltaïques en Belgique à la fin de chaque année - (CREG, 2024: 6).....	48
Figure 26: Évolution de la capacité installée d'éolien Onshore et Offshore en Belgique à la fin de chaque année - (CREG, 2024: 8).....	48
Figure 27: Load factor : percentage of total number of hours per year when production assets are in operation in Belgium - (La FEBEG, s. d. : 7) .....	52

Figure 28: Les énergies renouvelables sont-elles respectueuses de l'environnement sur l'ensemble de leur cycle de vie ? .....	53
Figure 29: Impact des nuisances visuelles sur la décision d'investir .....	54
Figure 30: Impact des nuisances visuelles en fonction de la tranche d'âge .....	55
Figure 31: Présence des énergies renouvelables sur les lieux de travail .....	56
Figure 32: Opinion publique sur la probabilité d'une part significative des énergies renouvelables dans le mix énergétique .....	58
Figure 33: Production brute d'électricité en Allemagne en 2024 - (Lauer, 2025 : 8) .....	67
Figure 34: Émissions de gaz à effet de serre dans l'UE en 2023 - (Olivier, 2024 : 3) .....	68

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Historique des constructions de réacteurs nucléaires - (Ramana, 2009 : 7) .....	25
Tableau 2 : Récapitulatif du parc nucléaire belge .....	40
Tableau 3 : Environmental Impacts of 1 kWh AC Electricity - (Stucki et al., 2024 : 7) .....	52
Tableau 4 : Impact des nuisances visuelles par tranche d'âge .....	54

## Liste des abréviations

- ACEC : Ateliers de Constructions Électriques de Charleroi
- AIE : Agence Internationale de l'Énergie
- BR3 : Belgian Reactor 3
- CCGT : Combined Combustion Gas Turbine
- CO<sub>2</sub> : Dioxyde de carbone
- CREG : Commission de Régulation de l'Électricité et du Gaz
- EPR : European Pressurized Reactor
- gCO<sub>2</sub>eq : grammes d'équivalent CO<sub>2</sub>
- GIEC : Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'évolution du Climat
- GWh : Gigawattheure
- IEA : International Energy Agency
- IRENA : International Renewable Energy Agency
- kWc : kilowatt-crête
- kWh : kilowattheure
- Loi APER : Loi d'Accélération de la Production des Énergies Renouvelables
- Loi LOM : Loi d'Orientation des Mobilités
- MMN : Métallurgie et Mécanique Nucléaire
- MW : Mégawatt
- OCDE : Organisation de Coopération et de Développement Économiques
- OCGT : Open Combustion Gas Turbine
- PEM : Prix Équilibre du Marché
- PIB : Produit Intérieur Brut
- SEQE-UE : Système d'Échange de Quotas d'Émissions de l'Union Européenne
- SPF : Service Public Fédéral
- SPW : Service Public de Wallonie
- TVA : Taxe sur la Valeur Ajoutée
- TWh : Térawattheure
- UE : Union Européenne

## 0. Introduction

L'approvisionnement en électricité et la sécurité énergétique sont des enjeux majeurs qui concernent non seulement le présent, mais aussi l'avenir de chaque nation. C'est pourquoi les autorités et les gouvernements des différents pays cherchent à anticiper l'évolution de la situation sur leur territoire, en engageant des discussions et des négociations sur leur mix énergétique et plus précisément sur leur futur mix de production électrique.

Nous avons pu l'observer dans plusieurs nations telles que l'Allemagne, le Danemark ou encore le Royaume-Uni, où d'importants investissements ont été réalisés et sont toujours réalisés pour développer leur production et assurer l'approvisionnement en électricité.

La production nucléaire doit également faire partie intégrante de cette réflexion, compte tenu de son importance pour la Belgique mais aussi pour de nombreux autres pays. Comme nous le verrons ultérieurement dans ce mémoire, des incidents nucléaires majeurs tels que ceux survenus à Fukushima, Tchernobyl ou encore Three Mile Island ont profondément marqué l'histoire de l'énergie et ont influencé les politiques énergétiques de nombreux États, pouvant même constituer des éléments décisifs dans certaines prises de position.

Il convient toutefois de rappeler que l'Union européenne a mis en place un marché intégré dont bénéficient l'ensemble de ses États membres ainsi que certains pays voisins. Grâce à ses interconnexions physiques, ce marché permet d'importer et d'exporter de l'électricité, mais aussi de coopérer pour atteindre les objectifs fixés en matière de transition énergétique, notamment en ce qui concerne la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Cependant, malgré la mise en place de ce marché européen, chaque nation reste libre d'organiser son mix électrique selon ses propres choix et contraintes. Analyser en détail la situation de chacun des pays membres aurait donc été irréaliste et peu pertinent dans le cadre de cette thèse de fin d'études. C'est dans cette optique que nous avons choisi de concentrer notre analyse sur le mix électrique belge et, plus précisément, sur la question de savoir si les énergies renouvelables pouvaient ou non occuper une part significative dans ce mix. Toutefois, en restant lucide, il était évident qu'une telle recherche ne pouvait pas prétendre clore définitivement les débats actuels qui entourent ce sujet.

L'objectif de ce travail a donc été avant tout de prendre du recul sur la situation en Belgique, en identifiant les arguments positifs et négatifs liés à l'expansion des sources d'électricité renouvelable, afin de rassembler les principaux éléments qui pourraient ensuite alimenter une discussion plus large sur ce thème.

Avant d'entamer la rédaction, nous avons tout d'abord consulté la littérature existante afin de nous plonger dans le sujet et d'acquérir une compréhension approfondie, ce qui a permis de constituer le premier chapitre, à savoir la revue de littérature. Par la suite, le chapitre « méthodologie » a été élaboré. Il y est exposé les raisons du choix de ce sujet, les méthodes retenues ainsi que les moyens mobilisés pour y parvenir, mais également, et surtout, les différentes hypothèses formulées et analysées dans le chapitre suivant.

Le chapitre consacré aux résultats est structuré en sous-sections, chacune étant dédiée à l'analyse d'une hypothèse. Nous avons tenté de confirmer ou d'infirmer ces hypothèses à l'aide d'entretiens, d'un sondage et de recherches complémentaires. L'analyse de ces hypothèses avait pour but d'apporter des éléments de réponse à notre question de recherche en orientant et en enrichissant la réflexion.

À la suite de ces analyses, nous avons rédigé le chapitre « discussion », dans lequel nous avons regroupé les principaux incitants et principales limites, ainsi que les risques liés à une utilisation accrue des énergies renouvelables. Nous avons également étudié le cas de l'Allemagne et de sa transition énergétique en détail afin de le comparer à la politique énergétique belge.

Enfin, la conclusion a été rédigée de manière à centraliser et synthétiser tous les éléments essentiels mis en évidence au fil de ce travail.

## **1. Revue de littérature**

### **1.1 Contexte général concernant l'électricité en Belgique**

#### **1.1.1 Présentation du marché de l'électricité**

Jusqu'en 1996, le marché de l'électricité belge était organisé autour de quelques acteurs concentrant plusieurs activités. En effet, la production, le transport ainsi que la distribution étaient sous la responsabilité des mêmes entités. Il s'agissait d'un secteur aux activités centralisées et intégrées. À partir de 1996, la Belgique, sous l'impulsion de l'Union européenne, a entamé un processus de libéralisation du marché de l'électricité (Collard, 2023).

Les changements dans l'organisation et le fonctionnement du marché belge, induits par cette libéralisation, ont eu pour effet de redistribuer les responsabilités entre plusieurs acteurs de la chaîne d'approvisionnement et de rendre possible la concurrence. En effet, ces acteurs ont désormais des tâches et des rôles bien définis et encadrés à remplir. Il est donc nécessaire de distinguer les producteurs d'électricité, les fournisseurs, les industriels (également considérés comme des consommateurs), les gestionnaires de réseaux de transport, les responsables du réseau de distribution, les fournisseurs, ainsi que les ménages, considérés comme les consommateurs finaux (SPF Économie, 2019).

Le SPF Économie (2019) décrit le fonctionnement suivant : les producteurs traitent et vendent directement l'électricité aux fournisseurs ainsi qu'aux industriels. En pratique, toutefois, l'électricité transite par les lignes à haute tension pour être acheminée vers les gestionnaires de réseau de distribution et les consommateurs industriels. Ce transfert est assuré par le gestionnaire du réseau de transport, qui, à la date de rédaction de cette thèse (mai 2025), n'est autre qu'Elia pour la Belgique. Par la suite, les gestionnaires de réseau de distribution alimentent les ménages en électricité après une transformation en basse tension, via le réseau de lignes électriques. Le rôle des fournisseurs consiste désormais à gérer les transactions financières avec les consommateurs finaux. Enfin, l'Union européenne a décidé de désigner des régulateurs chargés de veiller au bon fonctionnement du marché. En Belgique, c'est la CREG qui a été désignée à cet effet.

Les principaux objectifs de cette libéralisation et de sa mise en œuvre étaient, dans un premier temps, d'introduire de la concurrence sur le marché afin de limiter les prix, mais aussi d'accroître la transparence et d'assurer un approvisionnement continu en électricité pour les ménages belges, de manière plus efficace (SPF Économie, 2019 ; G. P. & S., 2013).

Après avoir parcouru le système désormais en application, il est pertinent d'évoquer et d'analyser Electrabel, un opérateur historique, acteur clé des producteurs d'électricité belge aujourd'hui. À lui seul, il comptabilisait, en 2022, 67 % de la capacité de production installée et 77 % de l'électricité réellement produite (Collard, 2023).

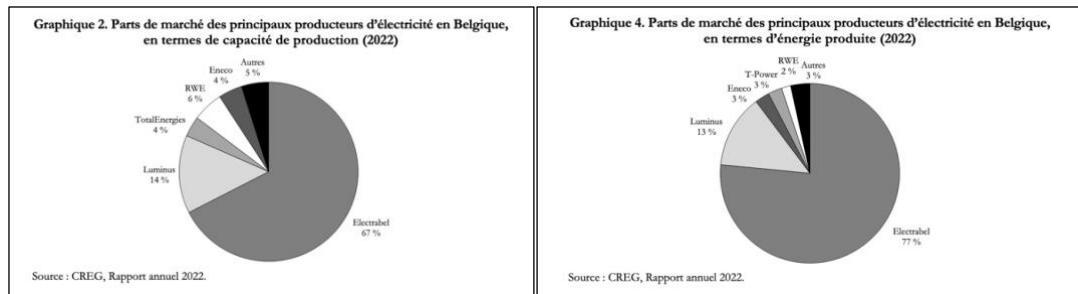


Figure 1: Parts de marché des principaux producteurs d'électricité en Belgique, en termes de capacité de production (2022) - (Collard, 2023 : 9) ; Figure 2: Parts de marché des principaux producteurs d'électricité en Belgique, en termes d'énergie produite (2022) - (Collard, 2023 : 10)

Ci-dessous, la situation actuelle (au 07 mars 2025) des parts de marché des fournisseurs d'énergie en Wallonie et à Bruxelles :

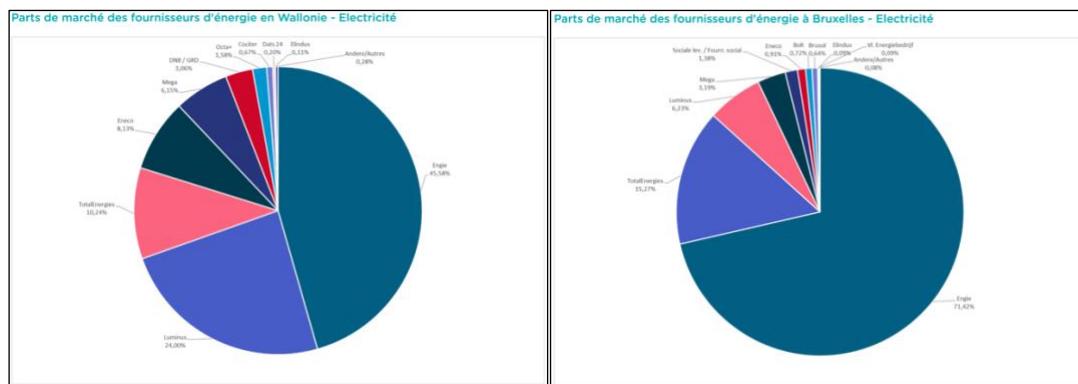


Figure 3: Parts de marché des fournisseurs d'énergie en Wallonie (électricité) - (CREG, s. d. : 1) ; Figure 4: Parts de marché des fournisseurs d'énergie à Bruxelles (électricité) - (CREG, s. d. : 1)

Nous constatons qu'Engie est toujours un acteur clé et incontournable, avec des parts de marché parmi les fournisseurs d'énergie en Wallonie et à Bruxelles de respectivement 45,58 % et 71,42 %. Il est donc inévitable de parler de cette partie prenante à la production d'électricité en Belgique.

### 1.1.1.1 Demande mondiale en électricité

Chaque année, la demande mondiale en électricité augmente, au point que, sur la période allant de 2010 à 2040, les prévisions estiment une croissance de cette demande de près de 56 % (Rahman et al., 2022). En effet, le rapport de l'Oxford Institute for Energy Studies (2025) identifie plusieurs causes à ces augmentations prévues : les activités économiques nécessitant davantage d'électricité, le développement de nouvelles technologies (notamment les véhicules électriques et les pompes à chaleur), l'usage croissant des systèmes d'air conditionné lié à la hausse des températures, ainsi que la multiplication des installations de centralisation des données<sup>1</sup>.

Pour illustrer cela, voici les parts que ces différents éléments représentaient dans l'augmentation totale de la demande mondiale en électricité observée en 2023 :

<sup>1</sup> En effet, ces installations consomment de l'électricité pour stocker et gérer les données, en maintenant les serveurs en activité de manière continue et en les refroidissant afin d'éviter tout type d'accident.

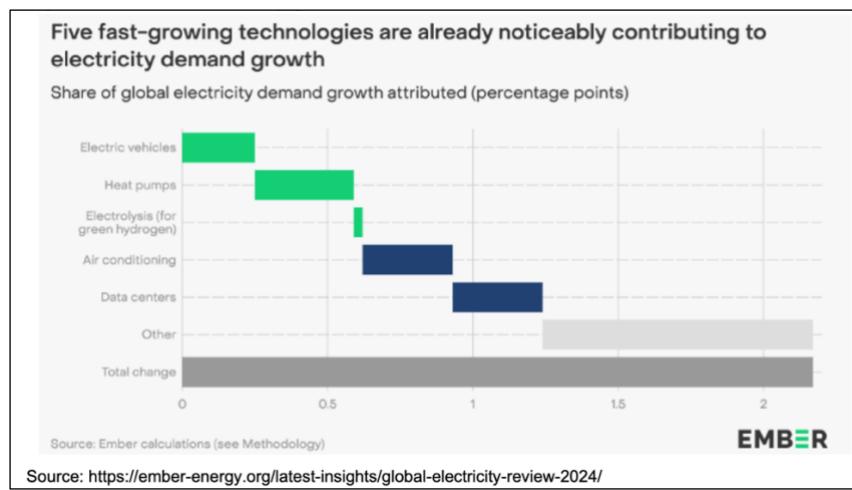


Figure 5: Share of global electricity demand growth attributed (percentage points) - (Oxford Institute for Energy Studies, 2025: 2)

Néanmoins, il est tout de même observable que la demande en électricité tend à varier de manière différente selon les régions du globe considérées. Cela s'expliquerait principalement par des différences notables en termes de disponibilité des ressources, de situations économiques, d'infrastructures industrielles présentes sur le territoire ou encore d'orientations politiques. Une analyse a d'ailleurs été réalisée afin d'observer ces différentes tendances en Europe, en Amérique du Nord et en Asie (Oxford Institute for Energy Studies, 2025).

En Europe, il ressort de l'Oxford Institute for Energy Studies (2025) que la consommation d'électricité a diminué, contrairement aux prévisions qui annonçaient une hausse de la demande d'environ 7 % d'ici 2030. Le secteur industriel, principal consommateur d'électricité en Europe, représentait à lui seul 35 % de la consommation totale. Il a donc largement contribué à cette baisse, d'une part en réduisant sa consommation sous l'effet de la hausse des prix, et d'autre part en délocalisant ses infrastructures en dehors de l'Europe afin de limiter les coûts liés à l'énergie et de rester compétitif.

En Amérique du Nord, les évolutions observées et prévues dans le domaine de l'intelligence artificielle, et par conséquent dans celui des centres de données, exercent une influence majeure sur les prévisions de la demande en électricité. En effet, une augmentation d'environ 16 % de la demande en électricité y est attendue d'ici 2029 (Oxford Institute for Energy Studies, 2025).

Enfin, en Asie, il apparaît que cette région est responsable de plus de 70%<sup>2</sup> de l'augmentation de la demande mondiale en électricité. Cette hausse s'explique principalement par l'augmentation de la population, l'expansion économique ainsi que l'électrification croissante de cette zone géographique (Oxford Institute for Energy Studies, 2025).

Maintenant, si l'on se concentre sur la consommation nette<sup>3</sup> d'électricité dans le monde entre 1980 et 2023, on obtient la figure suivante :

<sup>2</sup> La Chine, l'Inde et l'Asie du Sud-Est figurent parmi les principaux moteurs de cette hausse.

<sup>3</sup> Selon la définition de l'Agence internationale de l'énergie, la consommation nette d'électricité correspond à l'énergie disponible pour les usagers d'un pays, calculée en additionnant la production et les importations, puis en retranchant les exportations ainsi que les pertes liées au transport et à la distribution (IEA, s.d.).

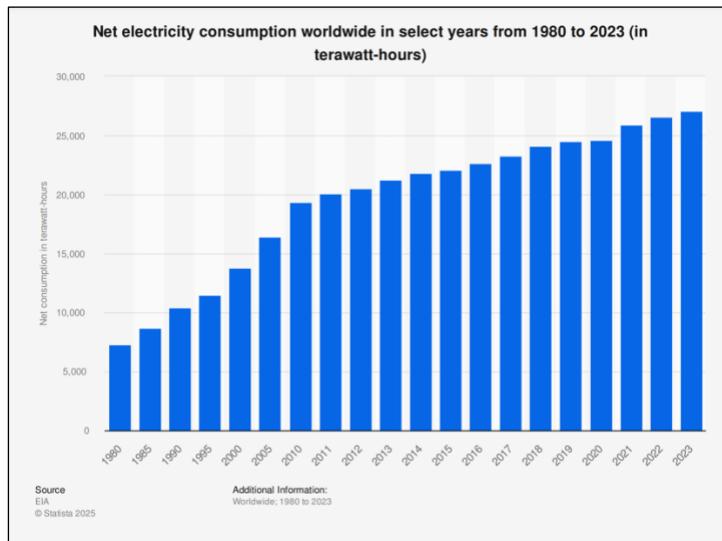


Figure 6: Net electricity consumption worldwide in select years from 1980 to 2023 (in terawatt-hours) - (Statista, 2025: 1)

Une tendance tout à fait haussière est observable sur ce graphique et ce chaque année depuis les années 80.

#### 1.1.1.2 Marché européen

En 2024, au niveau européen, et plus précisément au sein de l'Union européenne, la principale source de production d'électricité était les énergies renouvelables, suivies des combustibles fossiles et de la production nucléaire. Les parts que ces dernières représentent dans les différents pays de l'UE restent variables (Conseil européen, 2025).

Il n'est pas surprenant que le conflit entre la Russie et l'Ukraine (2022) ait également engendré des impacts significatifs sur les prix de l'électricité, et a fortiori sur les factures d'électricité des Européens. En effet, les conséquences se sont fait ressentir sur les prix des combustibles, notamment celui du gaz. Comme le prix de l'électricité dans l'Union européenne est intimement lié à celui du gaz naturel, d'importantes hausses de prix ont été observées (Conseil européen, 2025).

En ce qui concerne les parts de production d'électricité selon les différentes sources, au sein de l'UE en 2023, elles étaient les suivantes :

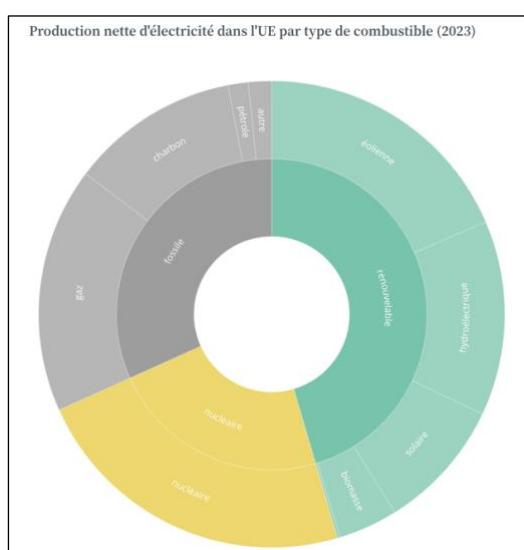


Figure 7: Production nette d'électricité dans l'UE par type de combustible (2023) - (Conseil européen, 2025: 2)

Les énergies renouvelables représentaient 45,4 % de cette production d'électricité ; les combustibles fossiles y contribuaient à hauteur de 31,7 %, et 22,8 % provenaient du nucléaire. Le total s'élevait à 2 572 térawattheure (TWh) d'électricité produite.

Concernant l'évolution de la part des énergies renouvelables dans la production d'électricité de l'UE, sur la période allant de 2004 à 2023, celle-ci a presque triplé. De plus, selon le Conseil de l'Union européenne, cette tendance devrait se poursuivre afin de s'aligner sur les objectifs de neutralité climatique fixés pour 2050.

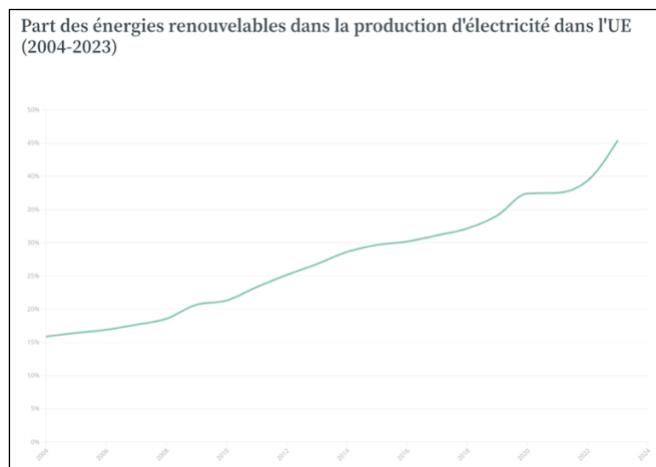


Figure 8: Parts des énergies renouvelables dans la production d'électricité dans l'UE (2004-2023) - (Conseil européen, 2025: 3)

La part des énergies renouvelables dans la production d'électricité atteignait 15,9 % en 2004. Depuis, elle n'a cessé d'augmenter pour atteindre 45,4 % en 2023 (Conseil européen, 2025).

Plusieurs facteurs peuvent expliquer les fortes variations des parts de production d'électricité d'un État membre à l'autre. En effet, la configuration géographique, l'accès et la quantité disponible de ressources naturelles, les décisions politiques, ou encore la situation économique nationale peuvent influencer l'élaboration du bouquet électrique (Conseil européen, 2025).

Voici le bouquet électrique<sup>4</sup> des pays de l'Union européenne pour l'année 2023 :

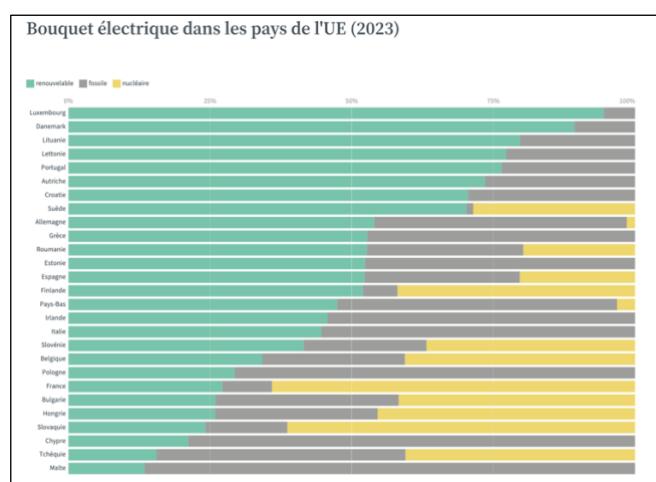


Figure 9: Bouquet électrique dans les pays de l'UE (2023) - (Conseil européen, 2025: 4)

<sup>4</sup> Il s'agit d'une visualisation des parts respectives des énergies renouvelables, fossiles et nucléaires dans la production d'électricité nationale.

Ce diagramme en bâtons présente les bouquets électriques des 27 pays de l'UE. Treize d'entre eux ont eu recours au nucléaire pour produire leur électricité, avec des pourcentages variant entre un minimum de 1,5 % pour l'Allemagne et un maximum de 64 % pour la France. En ce qui concerne les énergies renouvelables, la totalité des États membres utilise cette source pour la production de leur électricité.

#### 1.1.1.3 Mix énergétique belge

L'Association mondiale du nucléaire nous partage le mix énergétique suivant en Belgique pour l'année 2024 concernant l'électricité produite et consommée :

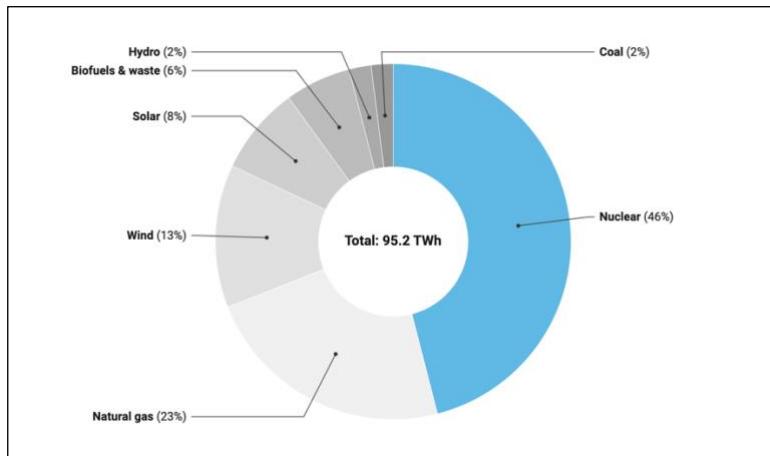


Figure 10: Électricité produite et consommée en Belgique (2024) - (World Nuclear Association, 2024: 4)

En effet, le nucléaire représentait 46 % de l'électricité produite et consommée en Belgique, tandis que les panneaux solaires et les éoliennes contribuaient respectivement à hauteur de 8 % et 13 %.

#### 1.1.2 L'importance stratégique de l'électricité

L'électricité est peu à peu devenue indispensable à la société, tant en raison des nombreuses opportunités qu'elle offre, mais aussi et surtout, parce que sans électricité, nous ne pourrions tout simplement plus vivre. En effet, presque aucun secteur ne pourrait continuer à fonctionner normalement sans elle. En d'autres termes, l'électricité telle que nous la connaissons est un élément essentiel, mais elle constitue également une faiblesse pour notre société. Souvent concentrée en divers points clés sur un territoire, elle est progressivement devenue une cible privilégiée pour affaiblir une nation, notamment en temps de guerre. Oberhuber *et al.* (2011) évoquent notamment les progrès réalisés dans le domaine de l'aviation, les avions étant devenus de véritables armes de guerre capables de bombarder avec précision, ce qui en fait des instruments redoutables pour effectuer des frappes stratégiques, par exemple en ciblant les centrales électriques. Oberhuber *et al.* (2011) vont même plus loin et affirment que les bombardements de centrales électriques, qui perturbent les activités d'un territoire, sont en réalité aussi un moyen de frapper des citoyens non-combattants, et, d'une certaine manière, de les pousser à capituler.

L'International Energy Agency (IEA)(2020) souligne que l'électricité ne représentait, en 2020, qu'un cinquième de la consommation mondiale d'énergie primaire. En s'appuyant sur son évolution observée ainsi que sur les estimations : en 2000, l'électricité représentait 15 % de l'énergie totale utilisée ; en 2020, elle atteignait 20 %, et les prévisions annoncent une progression jusqu'à 24 % d'ici 2040 si les pays maintiennent une croissance similaire. Ce chiffre pourrait même atteindre 31 % si l'on se réfère au scénario de développement durable de l'IEA, conforme aux objectifs de l'Accord de Paris.

**Figure 1 Share of global final energy consumption by fuel**

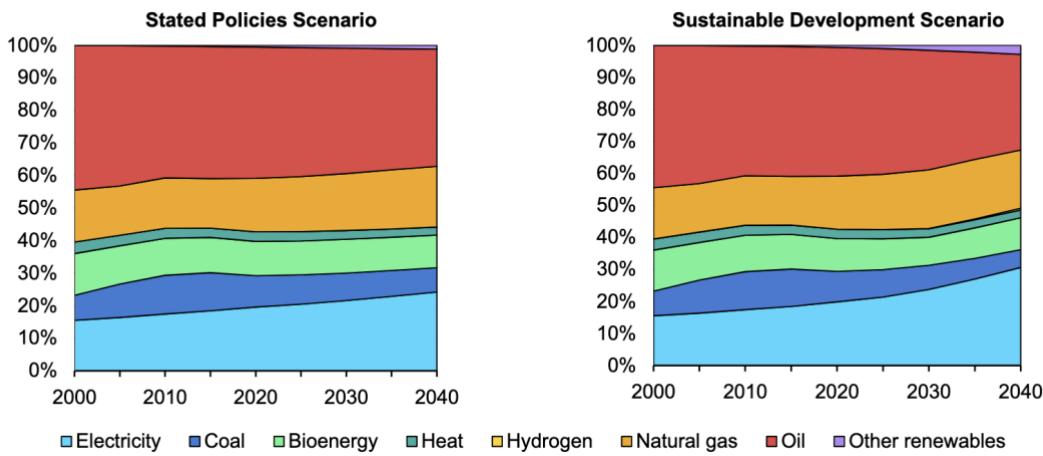


Figure 11: Share of global final energy consumption by fuel - (International Energy Agency, 2020: 10)

Sur le graphique ci-dessus, à gauche, figure la situation projetée en cas de poursuite de la croissance actuelle des parts des différentes sources d'énergie, et à droite, la situation projetée si le scénario de développement durable proposé par l'IEA est respecté.

Son utilisation est tout à fait indispensable à toute heure de la journée dans de nombreux secteurs. Un exemple parfait pour illustrer cette nécessité réside dans la profonde transformation qu'a connue le monde du travail suite à la pandémie de Covid-19, avec l'essor du télétravail et des conférences en ligne. Mais surtout, durant cette période, l'électricité s'est révélée essentielle pour le fonctionnement de nombreux équipements médicaux. Par ailleurs, l'électricité intervient également dans plusieurs autres secteurs liés à l'énergie, notamment dans les industries gazière et pétrolière (International Energy Agency, 2020).

### 1.1.3 La sécurité énergétique

La politique énergétique de l'Union européenne repose sur trois piliers : la durabilité, la compétitivité et la sécurité de l'approvisionnement (SPF Affaires étrangères, 2024).

Néanmoins, selon Winzer (2012), de nombreux scientifiques ont souligné le manque de précision du terme « sécurité énergétique », malgré la grande importance qui lui est accordée. En effet, il existerait de nombreuses définitions, chacune ayant ses propres caractéristiques. Ce phénomène est illustré par les nombreuses décisions politiques distinctes qui ont été prises dans différents pays et qui sont parfois opposées. À titre d'exemple, les États-Unis auraient interprété la sécurité énergétique comme l'importance de devenir indépendants sur le plan énergétique, en augmentant notamment la part des énergies renouvelables sur leur territoire, tout en mettant l'accent sur la limitation des risques liés aux manipulations politiques. À l'inverse, le Brésil a vu ses politiciens promouvoir l'augmentation des importations de ressources fossiles et la diminution de la part des énergies renouvelables pour atteindre la sécurité énergétique.

Parmi les multiples définitions du terme « sécurité énergétique », un point semble revenir fréquemment chez de nombreux scientifiques, formant ainsi un consensus : il s'agit de son lien avec la gestion des risques (Winzer, 2012).

Malgré cela, de nombreuses études réalisées ne concernent pas les mêmes types de sources de risques, qui peuvent être diverses et variées, et n'ont ni la même intensité ni la même étendue. C'est pourquoi Winzer (2012) présente la figure suivante :

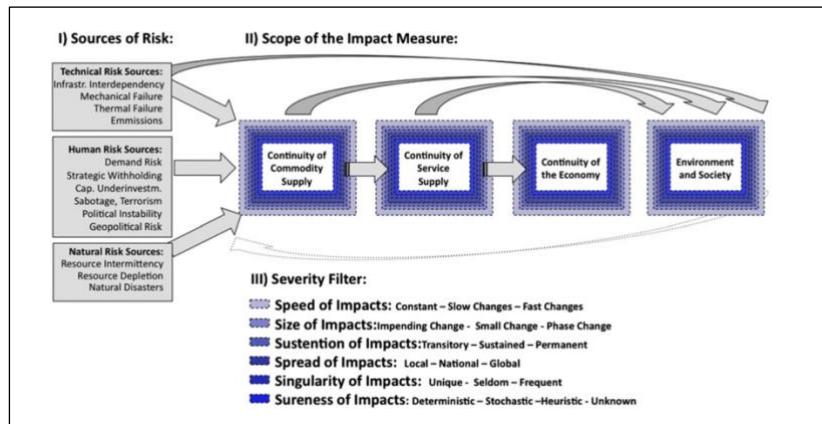


Figure 12: Dimensions of energy security - (Winzer, 2012: 37)

C'est également dans l'optique de clarification du concept de « sécurité énergétique » que Siksneltyte-Butkiene (2023) a contribué dans son article. En effet, la figure suivante présente une synthèse de nombreux indicateurs observés dans la littérature actuelle pour aborder la sécurité énergétique. Il est aussi important de souligner que cette liste d'indicateurs n'est pas exhaustive, mais permet de rassembler les opinions de nombreux scientifiques et de mieux cerner la perception actuelle du sujet. Une tendance observable ressort de cet article : au cours de ces dernières années, des indicateurs relatifs à l'environnement et au climat ont fait leur apparition de manière de plus en plus fréquente (Siksneltyte-Butkiene, 2023).

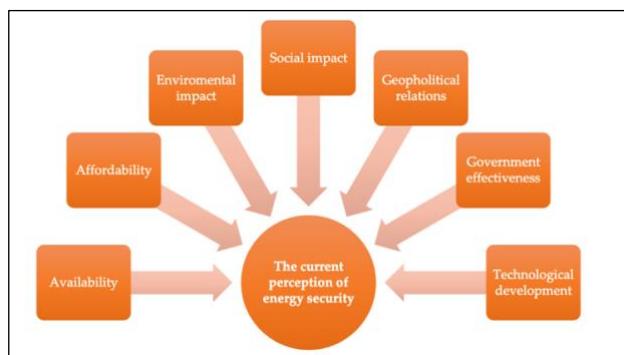


Figure 13: The current perception of energy security expressed through dimensions - (Siksneltyte-Butkiene, 2023: 12)

Enfin, dans son article, l'International Energy Agency définit à son tour la sécurité électrique comme étant « *la capacité du système électrique à garantir une disponibilité ininterrompue de l'électricité en résistant aux perturbations et en se rétablissant après celles-ci* » (International Energy Agency, 2020: 10).

#### 1.1.4 La dépendance énergétique

##### 1.1.4.1 Cas généraux

En 2017, aucun des États membres de l'Union européenne ne pouvait se déclarer totalement indépendant concernant ses approvisionnements en énergie provenant de l'étranger (Högselius & Kaijser, 2019). En effet, même en appliquant la formule de base, c'est-à-dire en comparant la quantité nette d'énergie importée à la consommation totale et réelle nationale, aucun État membre de l'UE ne présentait de solde commercial énergétique positif (Eurostat, 2024).

Selon Högselius et Kaijser (2019), la dépendance énergétique doit être envisagée en prenant en compte l'ensemble de la chaîne de valeur, c'est-à-dire les approvisionnements en matières premières,

les processus et technologies utilisés, ainsi que l'ensemble des activités liées à leur exploitation. Pour illustrer cet argument dans le cadre de l'énergie nucléaire, il faut considérer la sécurisation d'accords avec d'autres nations en ce qui concerne « la conversion, l'enrichissement et les services liés au combustible usé » et ne pas uniquement se limiter aux importations d'uranium (Högselius & Kaijser, 2019 : 1).

Une part importante des systèmes énergétiques est transnationale, c'est-à-dire qu'elle concerne plusieurs pays. Cela crée inévitablement des dépendances entre ces différentes nations, où certaines infrastructures sont installées, sinon, où certaines étapes de la chaîne d'approvisionnement sont réalisées (Högselius & Kaijser, 2019).

Deux stratégies ont été observées pour contrer les dépendances énergétiques et les faiblesses qu'elles peuvent engendrer. D'une part, il ne s'agit pas forcément de réduire ou stopper à tout prix les importations d'énergie, mais plutôt de les gérer, notamment en diversifiant les pays exportateurs ainsi que les sources d'énergie. L'objectif est de limiter les impacts qu'un arrêt d'approvisionnement, qu'il provienne d'un pays ou d'une source spécifique, pourrait provoquer. D'autre part, une autre stratégie consiste à travailler localement, au moins à l'échelle nationale, pour développer la production d'énergie propre au pays (Högselius & Kaijser, 2019).

En ce qui concerne l'alternative consistant à privilégier des sources de production locales plutôt que l'importation, un problème majeur se pose généralement : sur le plan budgétaire, cela coûte souvent plus cher et a un impact environnemental plus important que l'importation. Des situations particulières peuvent ainsi se présenter, où certaines nations choisissent volontairement d'être dépendantes d'autres pays en important de l'énergie, afin d'éviter les contraintes liées à certaines activités énergétiques potentiellement nuisibles, ou encore dans l'objectif d'opter pour la solution la moins coûteuse (Högselius & Kaijser, 2019). Pour illustrer ce point, un exemple pertinent est celui de la gestion des importations d'uranium par la Suède. Bien qu'il s'agisse d'un pays fortement nucléarisé<sup>5</sup>, dès qu'elle en a eu la possibilité, la Suède a décidé d'arrêter l'exploitation de ses mines d'uranium sur son territoire pour se tourner vers l'importation de l'uranium nécessaire à son fonctionnement.

En 2022, suite à l'invasion de la Russie en Ukraine et à la hausse historique des prix de l'énergie, la Commission européenne a établi et lancé en mai 2022 un plan nommé REPowerEU. Les objectifs principaux de ce plan étaient de réduire la dépendance de l'Union européenne aux combustibles fossiles russes et de favoriser la réduction de la consommation énergétique (European Commission, 2022).

#### *1.1.4.2 Cas des petites nations*

Dans certains contextes, de plus petits pays ne peuvent pas toujours se permettre de réaliser certaines actions liées à leur approvisionnement en énergie, notamment l'exploitation de leurs propres ressources pétrolières. Ils doivent alors s'appuyer sur d'autres pays qui leur fournissent l'uranium, le gaz, le charbon ou encore les biocarburants par bateau. Ces petits États deviennent ainsi dépendants de ces nations (Högselius & Kaijser, 2019).

Une activité qui pose généralement problème aux petites nations concerne le stockage. En effet, il est fréquent que ce stockage soit internationalisé, alors même qu'il pourrait constituer un levier important pour lutter contre la dépendance énergétique internationale. Pour illustrer cela, l'IEA indiquait que la Belgique ainsi que la Nouvelle-Zélande avaient, en 2017, placé près d'un tiers de leurs réserves pétrolières à l'étranger (Högselius & Kaijser, 2019).

<sup>5</sup> Terme utilisé dans de nombreux articles scientifiques pour désigner un territoire où les énergies nucléaires sont utilisées.

Néanmoins, il existe des situations où des dépendances aux importations peuvent être compensées par d'autres activités ou secteurs. C'est notamment le cas de la Belgique et des Pays-Bas, où les ports d'Anvers et de Rotterdam représentent, d'un point de vue économique, une forme de compensation face à leur dépendance relative aux importations de pétrole (Högselius & Kaijser, 2019).

#### 1.1.4.3 Cas de la Belgique

La Belgique est un pays de taille relativement restreinte, avec une économie que le SPF Économie considère comme ouverte. Cependant, l'énergie constitue un élément essentiel pour l'ensemble des activités économiques du pays. La consommation annuelle d'énergie y est donc très significative, alors que les ressources énergétiques nationales sont limitées. Il est donc inévitable que la Belgique doive importer une grande partie de son énergie, ce qui entraîne une dépendance énergétique (SPF Economie, 2025).

Pour illustrer cela, voici les résultats observés et communiqués par le SPF Économie au cours des années 2021, 2022 et 2023 (SPF Economie, 2025):

- En 2021, la Belgique se situait à la huitième place des pays européens les plus dépendants énergétiquement. En effet, 70,9 % de l'énergie brute disponible en Belgique provenait d'importations nettes, ce qui signifie que sur 100 unités d'énergie réellement disponibles dans le pays, près de 71 venaient de l'étranger. Cette dépendance est calculée en tenant compte de la production nationale, des importations et exportations, des produits recyclés ainsi que des variations de stocks.
- En 2022, la Belgique se situait à la dixième position avec 74 % d'importations d'énergies.
- Enfin, en 2023, située à la cinquième position, la Belgique a atteint 76,1 % d'énergie brute disponible importée.

Le graphique ci-dessous nous permet d'observer de manière quantifiée la dépendance énergétique des pays européens :

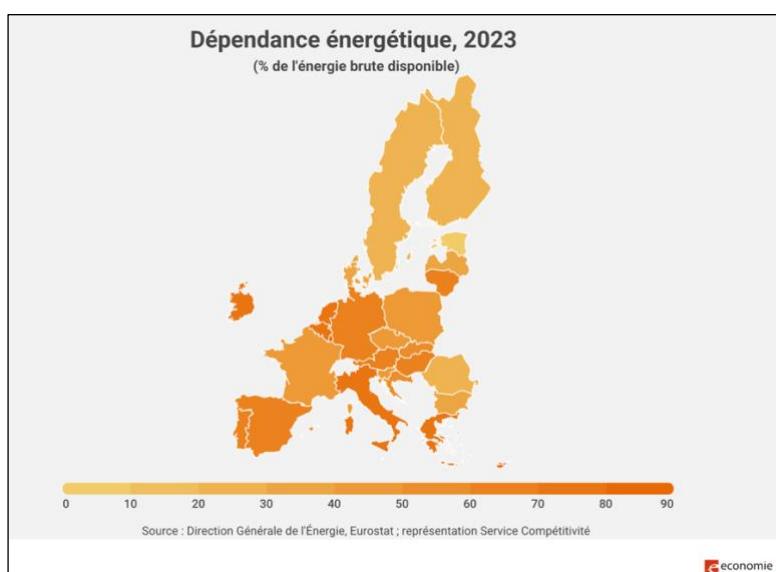


Figure 14: Parts des importations énergétiques dans l'énergie brute disponible des pays européens - (SPF Economie, 2025 : 2)

### 1.1.5 Les facteurs influençant le prix de l'électricité

L'électricité est aujourd'hui commercialisée à l'échelle mondiale, comme n'importe quel autre produit, c'est-à-dire qu'elle est soumise aux dynamiques du marché et fait l'objet d'échanges, d'achats et de ventes à des tarifs fluctuants. Cependant, cette ressource, qui est l'une des plus importantes pour l'humanité, possède des spécificités propres. En effet, il n'est pas encore possible de stocker l'électricité de manière économiquement intéressante : bien que techniquement réalisable, cela nécessiterait des infrastructures très coûteuses et engendrerait des pertes d'énergie. Par conséquent, l'électricité doit être consommée immédiatement après sa production et son transport. Cette contrainte influence le prix de l'électricité, qui présente notamment un caractère saisonnier, qu'il s'agisse de variations sur des périodes relativement longues ou d'événements parfois ponctuels, ainsi qu'une forte volatilité des prix sur ce marché (G. P. & S., 2013).

Effectivement, le besoin d'un équilibrage permanent entre l'offre et la demande accentue cette saisonnalité, puisque l'activité d'un pays varie tout au long de l'année et même à différents moments de la journée. C'est pourquoi, lors de périodes de forte demande, des centrales électriques sont parfois mises en service temporairement pour répondre au surplus. Toutefois, ces centrales sont souvent plus coûteuses à faire fonctionner, ce qui se répercute sur les prix de vente de l'électricité (G. P. & S., 2013).

Un autre facteur important est l'influence des conditions météorologiques sur les prix de l'électricité. L'auteur cite notamment des exemples tels que les précipitations, la température ou encore le niveau des cours d'eau (G. P. & S., 2013).

Des problèmes liés à la production elle-même peuvent également influencer le coût de l'électricité. C'est notamment le cas des contraintes associées aux capacités limitées des infrastructures de transmission (G. P. & S., 2013).

L'auteur propose la figure suivante pour synthétiser les différents facteurs influençant le prix de l'électricité :

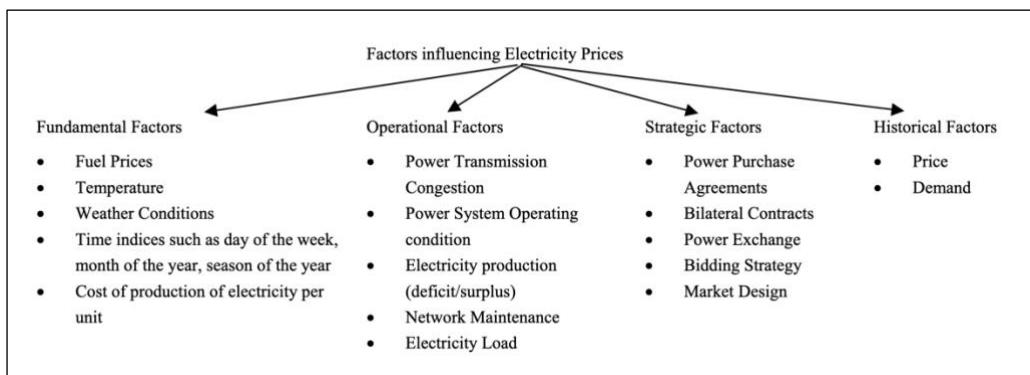


Figure 15: Facteurs influençant le prix de l'électricité sur les marchés concurrentiels de l'énergie - (G. P. & S., 2013: 73)

Outre les facteurs évoqués ci-dessus, le prix perçu par les consommateurs est appelé prix d'équilibre du marché (PEM). Il est défini comme suit : « *il s'agit du prix déterminé par l'intersection entre la courbe de l'offre (établie à partir des offres agrégées des producteurs) et la courbe de la demande (établie à partir des offres agrégées des consommateurs)* » (Weron, 2006 : 13).

L'auteur précise que, sur le marché de l'électricité, le prix est déterminé chaque jour via un mécanisme d'enchères (qui sera abordé dans la section suivante). Cette enchère fixe les prix pour chacune des heures de la journée suivante. Il souligne également que lorsque la demande en électricité est faible,

le prix d'équilibre du marché (PEM) varie peu, en raison du caractère relativement plat de la courbe d'offre dans cette zone (Weron, 2006).

#### 1.1.5.1 Le principe du « merit order » dans la formation du prix de l'électricité

Pour faire un petit récapitulatif historique, le 6 octobre 2022, une législation européenne<sup>6</sup> a été mise en place et appliquée par le Conseil européen concernant le prix de l'électricité. Cette dernière avait pour objectif de limiter les profits exceptionnels liés à l'augmentation du prix du gaz tout en préservant la rentabilité des producteurs. Ensuite, en 2023, d'autres mesures ont été proposées par la Commission européenne, visant toujours à stabiliser les prix de l'électricité, notamment en s'appuyant davantage sur des contrats à long terme, ce qui protège, entre autres, les consommateurs (Gasparella et al., 2023).

Nous allons désormais détailler le principe du « merit order » intervenant dans la formation du prix de l'électricité. Ce système consiste à examiner les offres des producteurs d'électricité en évaluant le coût marginal de production, c'est-à-dire le coût pour produire une unité supplémentaire d'électricité. Ces coûts marginaux, également appelés coûts variables, regroupent principalement les dépenses liées aux ressources utilisées, aux émissions de carbone générées, ainsi qu'aux opérations d'exploitation et de maintenance (Gasparella et al., 2023).

Voici un exemple des coûts marginaux de production des principales technologies de génération d'électricité en 2022 :

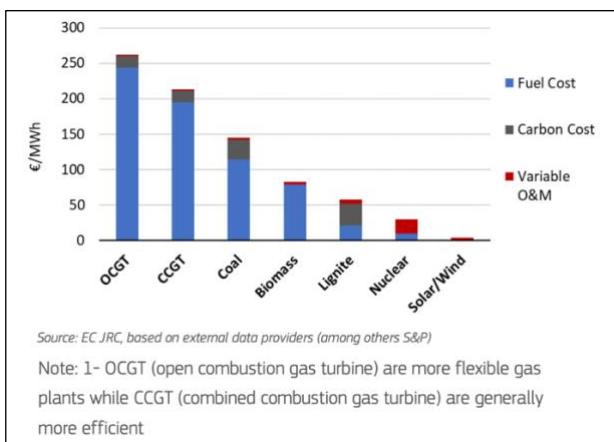


Figure 16: Generation technologies marginal production cost 2022 (simplified example) - (Gasparella et al., 2023: 2)

En effet, nous observons sur ce graphique que les sources d'électricité nécessitant des combustibles tels que les centrales à gaz (OCGT, CCGT)<sup>7</sup>, au charbon ou au lignite<sup>8</sup> présentent des coûts principalement composés des prix de leurs matières premières respectives. Cela démontre que les prix de marché de ces ressources influencent fortement leur position dans le merit order. En revanche, pour les énergies renouvelables, leurs coûts variables de production sont relativement faibles, car les ressources utilisées comme le vent, le soleil ou l'eau sont gratuites et ne sont donc pas incluses dans les coûts variables considérés dans cette analyse (Gasparella et al., 2023).

<sup>6</sup> COUNCIL REGULATION (EU) 2022/1854

<sup>7</sup> Il s'agit de deux types de centrales électriques. Dans l'Open Combustion Gas Turbine (OCGT), après que la turbine ait tourné, les gaz d'échappement chauds sont relâchés dans l'atmosphère. Contrairement à cette dernière, les centrales nommées Combined Combustion Gas Turbine (CCGT) récupèrent la chaleur que les gaz d'échappement provoquent pour alimenter une seconde turbine (Connaissances des énergies, 2024).

<sup>8</sup> Autre type de charbon avec une teneur en carbone avoisinant 50 à 60% et une teneur en eau élevée. Il possède donc un faible pouvoir calorifique (Connaissances des énergies, 2024).

Ensuite, ces différentes offres sont classées par ordre croissant pour répondre à la demande exprimée. En effet, les offres, allant de la moins chère à la plus chère, sont acceptées jusqu'à ce que la demande pour une heure donnée du lendemain soit couverte et satisfaite. La dernière offre acceptée, c'est-à-dire celle qui couvre le dernier mégawatt nécessaire, est appelée « l'offre marginale<sup>9</sup> ». C'est cette même offre qui détermine le prix du marché pour cette heure et donc le montant que tous les producteurs percevront, peu importe l'offre qu'ils avaient soumise (Gasparella et al., 2023).

Voici une illustration de ce système appelé « pay-as-cleared » :

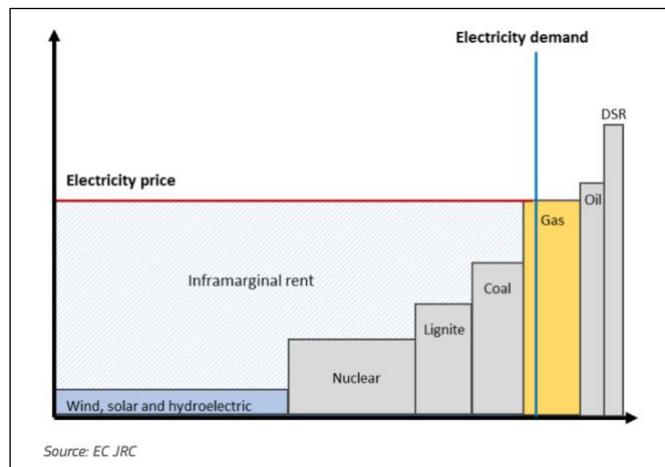


Figure 17: Simplified merit order supply demand stack - (Gasparella et al., 2023: 3)

Ce mécanisme vise à utiliser en priorité les moyens de production d'électricité ayant les coûts marginaux les plus faibles, ce qui facilite indirectement l'intégration des énergies renouvelables dans le mix énergétique (Gasparella et al., 2023).

Enfin, un réseau interconnecté entre les pays de l'Union européenne a été mis en place afin de faciliter les échanges (importations et exportations) entre ces différentes nations. Ce système renforce le mécanisme du *merit order* en offrant un plus grand éventail d'options de production d'électricité (Gasparella et al., 2023). Ce réseau est illustré pour les pays présents sur la figure suivante :



Figure 18: EU electricity market bidding zones - (Gasparella et al., 2023 : 3)

<sup>9</sup> « Marginal bid » en anglais

### 1.1.6 Impacts du secteur de l'énergie sur l'environnement

Selon (Rej et al., 2024), le secteur de la production d'énergie a un impact considérable sur l'environnement à tel point qu'il était responsable de l'émission de deux-tiers des gaz à effet de serre observables en 2015.

Pour atteindre un des objectifs fixés par le Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), à savoir limiter le réchauffement climatique à moins de 2 degrés Celsius, il serait nécessaire que 80 % de la production d'électricité proviennent de sources à faible émission de carbone (Rej et al., 2024). Mais ce n'est pas tout, car selon Saidi & Omri (2020), pour atteindre cet objectif il faudra obligatoirement parvenir à diminuer graduellement les émissions mondiales de CO<sub>2</sub> pour atteindre 9,5 Gt avant 2050.

Une augmentation des émissions mondiales de CO<sub>2</sub> a été observée de 2017 à 2019. Néanmoins, malgré une croissance économique mondiale de 2,9 % en 2019, les émissions globales de CO<sub>2</sub> se sont stabilisées cette même année, contrairement aux prédictions. Selon l'Agence internationale de l'énergie (AIE), cette stabilisation serait due au développement des énergies renouvelables, à une augmentation de la production d'électricité d'origine nucléaire dans les pays développés et, enfin, à la transition du charbon vers le gaz naturel, qui aurait également joué un rôle (Saidi & Omri, 2020).

Les pays de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) se sont engagés à poursuivre un objectif commun : réduire leurs émissions de CO<sub>2</sub> de 80 à 95 % avant 2050. Pour ce faire, selon (Saidi & Omri, 2020), l'inclusion et l'utilisation des énergies renouvelables dans leurs mix énergétiques ont été qualifiées d'indispensables. Néanmoins, il a été estimé que l'énergie nucléaire ne participerait qu'à hauteur de 6% de réduction de cet objectif fixé pour 2050.

(Rej et al., 2024) s'interrogeaient initialement sur la source d'énergie la plus efficace pour réduire les émissions de CO<sub>2</sub> entre le nucléaire et le renouvelable et sont arrivés à la conclusion qu'il ne faut pas choisir l'une au détriment de l'autre, mais qu'elles sont en réalité complémentaires. En effet, la meilleure solution, selon (Rej et al., 2024), consiste à déterminer un mix énergétique combinant ces deux sources.

## 1.2. Le nucléaire : entre rejet populaire et défense de l'énergie de demain

### 1.2.1 L'avènement du nucléaire en Belgique

L'idée de développer la production d'électricité à l'aide du nucléaire est survenue dans les années 1950, quand les électriciens belges ont été confrontés à des difficultés d'approvisionnement, ainsi qu'à la hausse des prix du charbon, due à la crise du canal de Suez en 1956. Mais cette idée n'est pas uniquement propre à la Belgique, en effet, d'autres pays européens étaient également à l'initiative (Collard, 2023).

C'est dans les années 1962, que la réalisation du premier projet pilote d'une mise en service du Belgian Reactor 3 (BR3) a vu le jour à Mol, dans la province d'Anvers. C'était en réalité le « premier réacteur à eau pressurisée en Europe » (Collard, 2023 : 18). Il n'est désormais plus actif depuis 1987, il a été décidé que son démantèlement devrait servir de base d'expertise pour celui des centrales de Doel et de Tihange.

Mais en réalité, selon (Collard, 2023 : 18) c'est seulement dans les années 1968-1969 que les electro-holdings se sont décidés à se lancer côté à côté avec les industriels, à savoir, les Ateliers de

constructions électriques de Charleroi (ACEC), Cockerill, la société Métallurgie et mécanique nucléaire (MMN) dans la construction de deux centrales nucléaires de grande puissance, à savoir, Doel et Tihange. Pour ce faire, le français Framatome ainsi que le groupe états-unien Westinghouse ont apporté leur expertise dans ces projets.

Le réacteur Tihange 1 a été mis en service le 1<sup>er</sup> octobre 1975, et son exploitation a été confiée à Intercom. Quant à elle, la centrale nucléaire de Doel (Anvers), comptabilisant alors deux unités avec des capacités de production de 445 MW chacune, à savoir, Doel 1 et Doel 2, est également mise en service en 1975. Ce sont les électriciens belges qui en avaient la copropriété.

C'est à la suite de tensions survenues en 1973-1974 concernant le marché pétrolier que les électriciens belges ont commencé à discuter la construction des quatre dernières centrales nucléaires que nous connaissons aujourd'hui (2025), à savoir, Doel 3, Doel 4, Tihange 2 et Tihange 3. Ces dernières ont été mises en service entre 1982 et 1985 (Collard, 2023).

#### 1.2.2 L'impact des incidents majeurs (Fukushima, Tchernobyl, Three Mile Island) sur la perception du nucléaire

Lors des dernières décennies, des désastres liés au nucléaire se sont produits notamment à Three Mile Island (États-Unis, 1979), Tchernobyl (Ukraine, 1986) ou encore Fukushima (Japon, 2011) (Ho & Kristiansen, 2019). Après l'analyse du cas de Fukushima (Yamamura, 2012), il ressort que les personnes qui avaient déjà vécu ou observé des catastrophes d'origine humaine ont réagi de manière plus modérée au cas de Fukushima, même si elles n'avaient pas vécu un événement si complexe, à savoir, une catastrophe naturelle entraînant un accident nucléaire.

Même si une catastrophe d'une telle ampleur se produisant dans un endroit lointain ne touche pas physiquement une personne, elle peut néanmoins induire une modification de ses opinions, appréciations et orientations politiques en matière d'énergie nucléaire. Et ce, au travers des informations répandues sans délai par les médias de masses (Yamamura, 2012).

Le fait d'avoir déjà vécu une catastrophe technologique amplifie la perception et les craintes liées aux risques d'accident nucléaire. A contrario, le fait d'avoir vécu ou non une catastrophe naturelle n'impacte pas cette perception de risque (Yamamura, 2012).

À la suite de l'incident survenu à Fukushima, l'acceptation de l'énergie nucléaire dans l'opinion publique s'est détériorée de manière importante (Ho & Kristiansen, 2019).

Le développement d'Internet a influencé à la fois la quantité d'informations disponibles et la rapidité de leurs diffusions concernant l'accident de Fukushima. En revanche, pour les précédents accidents de Tchernobyl et de Three Mile Island, l'accès à l'information et sa transmission étaient bien plus limités (Friedman, 2011).

De nombreuses études ont démontré que les connaissances scientifiques impactent moins les perceptions à l'égard de l'énergie nucléaire. En effet, les valeurs, les croyances et d'autres caractéristiques heuristiques sont bien plus déterminantes (Ho & Kristiansen, 2019).

Les débats environnementaux sur la production d'électricité par le nucléaire opposent régulièrement deux arguments majeurs. D'une part, les risques liés aux potentielles émissions de radiations ionisantes et aux déchets nucléaires qui pourraient nuire à l'environnement. D'autre part, les avantages de cette source d'énergie, considérée comme verte, car elle réduit certains impacts environnementaux (Ho & Kristiansen, 2019).

Certains pays ont décidé de planifier l'arrêt de leur production d'énergie nucléaire à la suite de l'accident survenu à Fukushima. C'est notamment le cas de la Belgique, de la Suisse et de l'Allemagne. En revanche, d'autres pays n'ont pas suivi ce mouvement et envisagent, voire ont déjà entamé, la construction de nouvelles infrastructures nucléaires, comme le Royaume-Uni, la Chine, l'Inde, les États-Unis et la Finlande (Ho & Kristiansen, 2019).

Il existe très peu d'études portant sur la préparation aux situations d'urgence en cas d'accident nucléaire potentiel. En effet, la grande majorité se concentre sur la réaction de l'opinion publique face à de tels événements (Ho & Kristiansen, 2019).

Par crainte d'alimenter l'anxiété dans l'opinion publique, les décideurs politiques s'interrogent souvent sur la nécessité de fournir aux citoyens des informations complètes et détaillées sur les risques liés au nucléaire ou sur l'opportunité d'en dissimuler une partie. Cependant, cette rétention d'informations pourrait entraîner une perte de confiance et de crédibilité (Ho & Kristiansen, 2019).

### 1.2.3 Perception et acceptation du nucléaire en Belgique

Néanmoins, malgré tous ces éléments trouvés dans la littérature concernant l'opinion publique au regard du nucléaire, un récent sondage révèle que la grande majorité des belges sont désormais enclins à prolonger la durée de vie des réacteurs nucléaires. Ce sondage a été réalisé en mars 2024 par AQ Rate à la demande du Forum Nucléaire Belge sur 1000 citoyens belges (Nucleair Forum, 2024). Seulement 16% des répondants veulent maintenir sans modification les lois concernant la sortie du nucléaire.

### 1.2.4 Avantages et inconvénients de l'énergie nucléaire

#### 1.2.4.1 Avantages

Il ressort de (Saidi & Omri, 2020) qu'à court terme, la consommation d'énergie nucléaire entretient une relation de cause à effet positive avec le Produit Intérieur Brut (PIB). Autrement dit, une augmentation de la consommation d'énergie nucléaire tend à entraîner une hausse du PIB.

Durant ces dernières années, l'énergie nucléaire est devenue financièrement plus attrayante pour les États qui y ont recours, notamment en raison de la hausse des prix des combustibles fossiles, nécessaires, entre autres, au fonctionnement des centrales à gaz ou au recours au charbon. Par ailleurs, comme le nucléaire émet très peu de CO<sub>2</sub> par rapport à d'autres sources de production d'électricité, il est significativement moins affecté par les mécanismes de tarification du carbone, tels que les permis négociables<sup>10</sup> et le Système d'échange de quotas d'émission de l'Union européenne (SEQE-UE) (Echávarri, 2006).

De plus, la consommation d'énergie nucléaire joue également un rôle important à court terme dans la réduction des émissions de CO<sub>2</sub> (Saidi & Omri, 2020). En effet, une relation de cause à effet négative existe entre ces deux facteurs : une augmentation de la consommation d'énergie nucléaire entraîne, à court terme, une diminution des émissions de CO<sub>2</sub>.

Un autre avantage mentionné par Echávarri (2006) concernant la production d'énergie nucléaire réside dans la relative sécurité de l'approvisionnement en électricité. En effet, les centrales nucléaires

---

<sup>10</sup> Mécanisme visant à limiter les rejets de substances polluantes, notamment les gaz à effet de serre. Les autorités publiques déterminent un plafond d'émissions acceptables pour une zone donnée et délivrent des permis correspondant à ce plafond. Ces permis peuvent ensuite être échangés sur un marché (Monjon, s. d.)

fonctionnent grâce à l'uranium, un combustible dont les réserves sont relativement bien réparties à travers le monde et disponibles en quantités significatives, du moins à moyen terme. Pour illustrer cela, selon la Nuclear Energy Agency et l'Agence internationale de l'énergie atomique (2012), la situation au 1er janvier 2011 en matière de ressources en uranium, permettait de garantir un approvisionnement pour au moins les cent prochaines années à venir, voire davantage.

En outre, comme évoqué lors des explications sur le *merit order*, un autre avantage réside dans la composition du coût marginal de production de l'électricité nucléaire. En effet, contrairement à d'autres combustibles tels que le charbon ou le gaz, la production nucléaire nécessite de nombreuses étapes techniques supplémentaires (traitement, gestion des déchets, sécurité, etc.) au-delà du simple coût d'achat de l'uranium. Cela signifie que le coût d'achat de l'uranium ne représente qu'une part minime du coût total, et par conséquent, une augmentation du prix de l'uranium n'aurait qu'un impact limité sur le coût marginal de production du nucléaire (Gasparella et al., 2023).

#### 1.2.4.2 Inconvénients

Lorsque l'on évoque l'utilisation d'une centrale nucléaire, il est indispensable de considérer la phase de construction de cette infrastructure imposante. Il convient toutefois de distinguer précisément les différentes étapes de ce processus, ce qui reste un point peu clair dans la littérature. En effet, de nombreuses études ou articles débutent leur analyse à des moments très variés : certains à partir du premier coulage de béton, d'autres bien avant, comme lors des délocalisations nécessaires de populations ou au début des travaux de terrassement, etc. Afin d'établir un cadre commun, l'auteur choisit d'inclure dans son analyse toutes les étapes nécessitant des dépenses en capital avant la mise en service de la centrale. Les études antérieures estimaient le temps de construction d'un réacteur entre 60 et 72 mois, mais l'auteur affirme que, dans les faits, ces durées sont généralement beaucoup plus longues (Ramana, 2009).

Le tableau suivant présente des exemples historiques de constructions de réacteurs nucléaires, en considérant pour chaque cas la durée réelle de construction mesurée depuis le premier coulage de béton jusqu'à la production de la première unité d'électricité injectée sur le réseau :

Period <sup>b</sup>	Number of reactors	Average construction duration (months)
1976–1980	86	74
1981–1985	131	99
1986–1990	85	95
1991–1995	29	104
1996–2000	23	146
2001–2005	20	64
2006	2	77
2007	3	80

Tableau 1 : Historique des constructions de réacteurs nucléaires - (Ramana, 2009 : 7)

Ensuite, ces infrastructures nécessitent des investissements colossaux pour représenter une source de production d'électricité significative. Par exemple, la phase de pré-construction évoquée précédemment représenterait à elle seule en moyenne environ 470 millions de dollars. Par ailleurs, une incertitude importante subsiste quant au coût total de ces investissements, rendant leur estimation particulièrement difficile. Contrairement aux centrales à combustibles fossiles, les centrales nucléaires supportent une part beaucoup plus importante de coûts fixes, ce qui accroît les risques financiers liés à ces projets. Enfin, un autre enjeu budgétaire majeur concerne le démantèlement des réacteurs nucléaires. Étant donné que peu de réacteurs ont déjà été démantelés jusqu'à aujourd'hui,

il est difficile d'en estimer précisément le coût. À titre d'exemple, le démantèlement d'un réacteur de 14 MW (une puissance très faible comparée aux réacteurs modernes) au Royaume-Uni aurait coûté environ 760 millions de livres sterling (Ramana, 2009).

En outre, un autre problème majeur et de plus en plus médiatisé réside dans la gestion des déchets issus de l'utilisation de l'énergie nucléaire. Par le passé, ces résidus d'uranium n'étaient pas toujours traités de manière strictement encadrée. Certains ont même été déversés dans des barrages, notamment aux États-Unis, ce qui a entraîné des épisodes de pollution. Ces déchets présentent en effet des risques importants, tant pour la santé humaine que pour l'environnement (Liu & Dai, 2019).

La principale source de danger pour les êtres humains réside dans les rayonnements radioactifs. Ces rayonnements peuvent provoquer des effets directs sur le corps, appelés effets somatiques, tels que des cancers, des brûlures ou encore la stérilité. D'autres effets, dits génétiques, peuvent quant à eux altérer l'ADN et affecter les générations futures des personnes exposées (Liu & Dai, 2019).

En ce qui concerne l'environnement, l'enfouissement des déchets nucléaires en profondeur peut perturber les milieux souterrains. En effet, les radionucléides, qui sont des atomes instables, émettent de la chaleur lors de leur décomposition. Cette émission thermique modifie la température du sous-sol, ce qui peut influencer la migration des fluides souterrains (Liu & Dai, 2019). Par ailleurs, ces déchets représentent également un danger pour les écosystèmes aquatiques, en raison des risques de contamination (Aditya et al., 2023).

### 1.3. Énergies renouvelables : sélection, avantages, inconvénients

#### 1.3.1 Sélection des sources d'énergies renouvelables

Cette étude se concentrera sur l'analyse des deux sources d'énergie renouvelable les plus répandues au cours des dernières années. En effet, en 2020, 43 % des investissements mondiaux dans les énergies renouvelables concernaient le solaire photovoltaïque. L'éolien terrestre occupait la deuxième place de ce classement, représentant 35 % des investissements, suivi de l'éolien offshore<sup>11</sup>, qui atteignait 12 % (IRENA, 2023).

#### 1.3.2 Impacts des gouvernements sur leurs déploiements

Selon (Silva et al., 2023), il existe de nombreux freins aux investissements massifs des gouvernements dans les énergies renouvelables, notamment la crainte d'une possible augmentation des prix de l'électricité s'ils optaient pour cette solution, le fait que les incitations et subventions mises en place alourdiraient le budget central, ou encore la réticence d'un gouvernement à investir sur le long terme par peur de ne pas obtenir de résultat avant les élections.

Les gouvernements à tendance gauchiste seraient enclins et favorables au développement de l'énergie renouvelable. En ce qui concerne les gouvernements de droite, il en ressort qu'ils n'auraient aucune influence sur ces investissements. Les gouvernements d'extrême droite seraient même plutôt enclins à obstruer leurs développements (Silva et al., 2023).

Les variables pouvant influencer les décisions d'investissement et de consommation d'un pays en matière d'énergie renouvelable comprennent, entre autres, sa législation nationale, les initiatives locales, sa situation géographique, ainsi que l'accès et la disponibilité de ses ressources (Silva et al., 2023).

---

<sup>11</sup> L'éolien en mer.

C'est pourquoi des pays comme la Suède et la Belgique peuvent adopter des attitudes si éloignées. En effet, en 2023, une part d'énergie renouvelable représentant jusqu'à 66 % du mix énergétique de la Suède était observable, tandis que la Belgique n'en comptabilisait que 14 % (Eurostat, 2024).

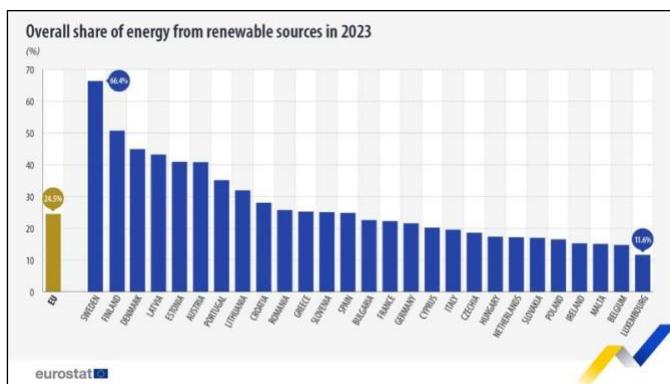


Figure 19: Overall share of energy from renewable sources in 2023 - (Eurostat, 2024: 1)

Selon (IRENA, 2023) entre 2013 et 2020, le secteur privé aurait été à l'origine de 75 % des investissements réalisés dans les énergies renouvelables. Pour Hache (2018), la réussite de la diffusion économique des énergies renouvelables résulte en réalité d'un ensemble de trois facteurs constituant un régime incitatif triple. Ce régime comprend un cadre financier propice, un cadre juridique (avec des législations favorables) et un cadre contractuel.

### 1.3.3 Avantages

Privilégier le renouvelable reste une alternative efficace pour remplacer les énergies fossiles conventionnelles, telles que le pétrole ou le charbon, qui font partie des principaux responsables des émissions de CO<sub>2</sub> (Saidi & Omri, 2020). Par ailleurs, son déploiement permet aux États qui s'y engagent de bénéficier d'un double avantage : d'une part, par les retombées économiques liées à son développement, et d'autre part, par la diminution de leur dépendance aux importations d'énergies fossiles (Hache, 2018)

#### 1.3.3.1 Le solaire photovoltaïque

Aucune manutention ni aucun mouvement n'est nécessaire durant le processus de production d'électricité, c'est-à-dire lors de la conversion de la lumière du soleil en électricité, contrairement à d'autres sources d'énergies renouvelables. De plus, ses services peuvent être exploités sur une longue période, et les coûts associés à sa maintenance sont généralement inférieurs à ceux d'autres sources d'énergies renouvelables (Rahman et al., 2022).

En outre, ces installations permettent généralement aux particuliers qui choisissent d'en équiper leur logement de réaliser des économies, d'une part en réduisant leur consommation d'électricité provenant du réseau, et d'autre part grâce aux revenus générés par la revente de leur propre production (Palm, 2018).

Ce mode de production peut constituer une véritable protection contre d'éventuelles hausses soudaines, voire durables, du prix de l'électricité sur le réseau. En effet, compte tenu des nombreux éléments et facteurs influençant le marché de l'énergie, il représente une forme de sécurité énergétique non négligeable (Palm, 2018).

Un autre avantage souvent mis en avant, et qui constitue également un incitant à l'investissement dans des installations photovoltaïques, est la possibilité de devenir autonome en électricité. Cette

autonomie représente, pour de nombreuses familles, un symbole personnel fort, mais aussi un moyen de montrer à leur entourage qu'elles agissent concrètement en faveur de l'environnement. Pour certains, il s'agit également d'un vecteur de transmission d'un message : celui d'une conscience accrue et d'un contrôle affirmé sur la manière dont leur énergie est produite (Palm, 2018).

Bien qu'il s'agissait encore, au début des années 2000, d'un marché relativement nouveau offrant peu de points de comparaison pour les investisseurs potentiels, le secteur du photovoltaïque a connu depuis une forte évolution et une expansion rapide. Il est désormais possible d'observer de nombreux résultats concrets et d'identifier plus aisément les acteurs de référence vers lesquels se tourner en cas d'intérêt pour un investissement (Palm, 2018). Pour illustrer cette progression, selon l'Agence internationale pour les énergies renouvelables, les énergies renouvelables représentaient 46 % de la capacité mondiale installée de production d'électricité à la fin de l'année 2024 (Prime et al., 2025). Ce pourcentage englobe l'ensemble des sources renouvelables mais le rapport précise que les panneaux photovoltaïques en constituent une part significative.

#### *1.3.3.2 L'éolien*

Cette source d'énergie renouvelable est très flexible en termes de possibilités d'installations. En effet, elle peut être installée aussi bien en milieu terrestre qu'aquatique, ce qui offre de nombreuses opportunités (Rahman et al., 2022).

De plus, l'énergie éolienne est devenue de plus en plus économiquement attractive. Au cours des dix dernières années (de 2014 à 2024), sa viabilité économique s'est nettement améliorée, notamment grâce aux progrès technologiques, aux mesures de soutien mises en place par les pouvoirs publics, ainsi qu'aux évolutions du marché (Uzondu & Lele, 2024).

En outre, il convient de souligner que la ressource utilisée pour produire de l'électricité, en l'occurrence le vent, est infinie et inépuisable (U.S. Department of ENERGY, 2015). Nous souhaitons relever qu'il s'agit d'un avantage partagé avec les panneaux photovoltaïques.

Concernant son impact sur l'environnement, cette technologie de production d'électricité ne nécessite pas d'eau pour fonctionner, contrairement à de nombreuses autres centrales électriques. Les éoliennes n'ont pas d'effet négatif sur l'air que nous respirons ni sur l'eau que nous consommons. Par ailleurs, choisir l'énergie éolienne permet de réduire le recours aux centrales à combustibles, contribuant ainsi à la diminution des émissions de gaz à effet de serre et de smog, c'est-à-dire de brouillard polluant. Pour illustrer ce propos par un exemple concret, des études ont estimé qu'en 2013, l'intégration de l'éolien dans le mix énergétique des États-Unis leur a permis de réduire leurs émissions de CO<sub>2</sub> de près de 115 millions de tonnes. Cette diminution est comparable aux émissions annuelles de 20 millions de voitures thermiques (U.S. Department of ENERGY, 2015).

#### 1.3.4 Inconvénients

Les énergies renouvelables ne réduisent pas les émissions de CO<sub>2</sub> à court terme. En revanche, elles ont un effet bénéfique à long terme sur leur diminution (Saidi & Omri, 2020).

Bien que l'utilisation des énergies renouvelables ait notamment pour objectif d'améliorer la sécurité de l'approvisionnement en électricité grâce à des ressources inépuisables telles que le soleil ou le vent, le développement encore limité de techniques de stockage efficaces, ainsi que la rivalité accrue autour des ressources terrestres nécessaires à leur installation, suscitent de nouveaux débats (Hache, 2018).

Les avancées technologiques réalisées dans le domaine de l'énergie, et plus précisément dans celui des énergies renouvelables, peuvent également représenter certains risques. Hache (2018) en identifie trois distincts. Tout d'abord, le coût propre à ces technologies, mais aussi leur accessibilité et leur acceptation par les différents acteurs concernés. Ensuite, un autre risque, étroitement lié au précédent, concerne la décentralisation et l'automatisation des procédés. En effet, ces systèmes peuvent être vulnérables au cyberterrorisme ou à des prises de contrôle à distance des unités de production électrique à des fins malveillantes. Enfin, le troisième risque porte sur les matériaux critiques<sup>12</sup> ou stratégiques. Bien que les énergies renouvelables contribuent à la réduction de la dépendance géopolitique notamment en terme de ressources fossiles, de nombreux métaux critiques sont indispensables à la transition énergétique. Par exemple, l'éolien requiert du néodyme, du dysprosium ou encore du terbium, tandis que le photovoltaïque nécessite du cadmium, de l'indium ou encore du gallium. Ces approvisionnements pourraient donc provoquer des tensions ou conflits sur les marchés de ces métaux voire créer de nouvelles dépendances. Ce ne sont pas les seuls matériaux concernés. En effet, cette évolution pourrait également avoir des répercussions sur des marchés plus traditionnels comme ceux de l'eau, du ciment, de l'acier ou encore des métaux non ferreux tels que le cuivre, l'étain ou le nickel.

#### *1.3.4.1 Le solaire photovoltaïque*

Par définition, un panneau solaire a besoin de soleil pour produire de l'électricité. Il devient donc improductif par temps nuageux ou pendant la nuit. De plus, ses performances peuvent également être réduites par l'accumulation de poussière (Rahman et al., 2022).

Lorsque nous parlons de fermes solaires, il est souvent nécessaire de bâtir une structure en béton ancrée dans le sol. Cette structure peut avoir des conséquences négatives sur les performances du sol après la durée de vie des panneaux solaires. En effet, l'efficacité du sol peut être altérée, et la végétation peut également en subir les effets (Rahman et al., 2022).

Des effets sur la faune et la flore sont également observables durant l'installation et la construction de fermes solaires. De nombreux animaux sont contraints de quitter leurs habitats naturels pour laisser place à ces sources de production d'énergie. Ces derniers ne parviennent pas toujours à s'habituer à leurs nouveaux environnements (Rahman et al., 2022).

Dans des modules photovoltaïques, il existe des gaz inflammables, ces gaz ne sont pas si préoccupants quand il ne s'agit que de quelques panneaux mais si nous considérons des infrastructures avec un nombre élevé de panneaux solaires, il y a des risques de gros incendies en cas de simple erreur de manipulation (Tsoutsos et al., 2005).

Il faut également être très vigilant lors du démantèlement des modules photovoltaïques, car certains matériaux tels que l'arsenic, la silice ou encore les poussières de cadmium pourraient provoquer des maladies affectant les poumons ou entraînant des troubles respiratoires. Mais ce n'est pas tout, car une tempête ou de mauvaises conditions météorologiques pourraient également endommager ces sources d'énergie et ainsi risquer de libérer des matériaux toxiques (Rahman et al., 2022).

Si l'on considère l'ensemble du cycle de vie d'un panneau solaire, c'est-à-dire de sa production à son désassemblage, en passant par son transport, son installation et sa maintenance, une quantité

---

<sup>12</sup> Le Conseil de l'Union européenne définit les matières premières critiques comme des ressources présentant une importance économique majeure, tout en étant associées à un risque élevé de rupture d'approvisionnement pour les pays qui en dépendent (Conseil européen, 2025).

conséquente de carbone est générée (Rahman et al., 2022). Pour illustrer cet argument, (Union of Concerned Scientists, 2013) avance que cette quantité représente entre 32 et 82 grammes de CO<sub>2</sub> par kWh pour un panneau solaire sur l'ensemble de son cycle de vie.

En outre, il s'agit d'un investissement conséquent qui requiert généralement du temps et des moyens importants. En effet, les personnes investissant dans des panneaux s'engagent souvent pour plusieurs années lors du remboursement des installations acquises (Palm, 2018).

Dans certains cas, il est également nécessaire d'effectuer des travaux ou des modifications conséquentes, souvent coûteuses, sur le toit de la maison ou dans le jardin afin de pouvoir accueillir des panneaux solaires (Palm, 2018).

#### *1.3.4.2 L'éolien*

Un des inconvénients majeurs des éoliennes est le bruit occasionné par leur fonctionnement. Il convient de distinguer deux types de bruit lors de leur utilisation : un bruit mécanique et un bruit aérodynamique. Il est néanmoins possible de réduire le bruit mécanique, lié aux éléments internes de l'éolienne (générateur, engrenages, moteur et autres pièces), en utilisant des isolants acoustiques. Quant au bruit aérodynamique, il résulte des interactions des pales de l'éolienne avec l'air. Ces différents bruits pourraient donc causer des troubles aux personnes amenées à vivre ou évoluer près des éoliennes (Nazir et al., 2020).

Les éoliennes sont des structures imposantes, tant par leur envergure que par leur hauteur. Ces caractéristiques les rendent très visibles et modifient inévitablement le paysage. Il s'agirait d'ailleurs d'un des critères les plus importants concernant l'acceptation sociale de ces technologies (Uzondu & Lele, 2024). Mais ce n'est pas tout : elles les rendent également vulnérables en cas de mauvaises conditions météorologiques et pourraient causer des catastrophes tragiques en cas d'accidents (Rahman et al., 2022).

La rotation des pales peut causer des blessures voire des décès d'oiseaux ou d'espèces vivantes capables de voler (Uzondu & Lele, 2024). De plus, les lumières disposées sur ou à proximité des fermes d'éoliennes attirent les oiseaux ce qui rend les accidents plus fréquent (Rahman et al., 2022).

Des impacts négatifs liés à la vision peuvent également se faire ressentir à cause des éoliennes. En effet, les reflets du soleil sur certaines parties de l'éolienne pourraient causer des éblouissements, à l'origine de potentiels accidents (Nazir et al., 2020).

En ce qui concerne les parcs éoliens offshore, l'introduction de champs électromagnétiques dans le milieu marin a des conséquences négatives qui affectent la biodiversité aquatique. De plus, lors des phases nécessitant certaines opérations techniques telles que la lubrification<sup>13</sup> ou le remplacement de pièces, des débris ou des fuites d'huile pourraient être déversés dans l'eau entraînant ainsi de la pollution (Nazir et al., 2020).

En outre, les éoliennes ont une durée de vie moyenne d'environ vingt-cinq ans, après quoi elles doivent être remplacées ou démantelées. Cependant, en raison de l'évolution de la réglementation, cette opération devient de plus en plus complexe. En effet, le démantèlement d'une éolienne industrielle impose notamment de recycler jusqu'à nonante pour cent des matériaux qui la composent, ainsi que de remettre en état le site sur lequel elle était implantée. Étant donné le développement important

---

<sup>13</sup> En effet, il est nécessaire de lubrifier avec des huiles et des graisses spécifiques les éléments mobiles de l'éolienne, notamment la boîte de vitesse et le générateur (Portley, 2021).

prévu des parcs éoliens, notamment en Belgique, il devient indispensable de faire évoluer les filières de recyclage afin de réduire les coûts de production (Brénon & Harari, 2023).

Le rendement énergétique des éoliennes est également très variable et, par conséquent, incertain. En règle générale, une éolienne ne produit qu'entre trente et soixante-cinq pour cent de sa puissance théorique. Cette variabilité dépend de plusieurs paramètres, notamment la taille des pales, le lieu d'implantation ou encore les caractéristiques du vent. Une éolienne peut fonctionner lorsque la vitesse du vent se situe entre onze et nonante kilomètres par heure (Brénon & Harari, 2023).

Enfin, de nombreux sites ou parcs éoliens ont été implantés dans des zones particulièrement propices à ce type d'infrastructure, notamment en raison de conditions de vent favorables. Toutefois, ces zones sont souvent éloignées des lieux où la demande en électricité est la plus forte, comme les zones urbaines. Cela implique donc la nécessité de réaliser d'importants travaux pour développer les réseaux de transport d'électricité à l'échelle nationale, afin de relier efficacement les sites de production aux centres de consommation (U.S. Department of ENERGY, s. d.).

## 2. Méthodologie

### 2.1 Justification du choix de la thèse

Ce sujet a été sélectionné en raison de son caractère particulièrement actuel et du grand nombre de questionnements qu'il suscite. Il s'agit d'un thème largement présent dans les débats publics et dans les médias, car il concerne directement ou indirectement l'ensemble de la population belge, compte tenu de l'importance centrale de l'électricité dans la société contemporaine (2025) et du fait qu'il concerne notre avenir. Par ailleurs, le fait que le nucléaire constitue l'une des principales sources d'électricité dans le mix énergétique belge rend son étude d'autant plus pertinente (IEA, 2024).

Le terme "nucléaire" est fréquemment associé à un sentiment de crainte, souvent alimenté par la perception d'un domaine complexe et peu accessible au grand public. À cela s'ajoute l'impact psychologique des accidents majeurs tels que ceux de Tchernobyl ou de Fukushima, dont les conséquences ont marqué les esprits. Comme le souligne la revue de littérature, l'opinion publique adopte généralement une attitude méfiane à l'égard du nucléaire (Ho & Kristiansen, 2019 ; Yamamura, 2012), une méfiance probablement renforcée par une couverture médiatique soutenue, notamment à la télévision et à la radio (Friedman, 2011).

Ces dernières années, on observe un nombre croissant d'investissements dans des installations photovoltaïques et éoliennes en Belgique, ainsi qu'à une échelle mondiale (Renouvelle, 2025). Cela a suscité un intérêt croissant pour ces énergies renouvelables. L'objectif est d'explorer non seulement leur potentiel pour les particuliers, mais aussi leur capacité à devenir une source significative de production d'électricité à l'échelle nationale.

Enfin, dans le contexte climatique actuel, marqué par la diminution des ressources et le besoin de préservation maximale, les énergies renouvelables sont de plus en plus mises en avant et priorisées. Ce sujet a été approfondi afin de mieux comprendre ces technologies, leur potentiel, tout en maintenant un esprit critique à leur égard.

Ces différentes pistes de réflexions ont conduit à la sélection de ce sujet pour cette thèse de fin d'études.

### 2.2 Question de recherche

Le sujet choisi, à la fois vaste et complexe, a été fortement influencé par l'évolution rapide de l'actualité, ce qui a conduit à plusieurs ajustements successifs de la question de recherche de cette thèse.

En avril 2024, l'intention initiale était de se concentrer sur la question de recherche suivante : « *Comment satisfaire la demande en électricité lorsque les autorités belges décident de freiner ou d'arrêter la production d'électricité nucléaire dès 2025 ?* »

Cependant, après avoir approfondi les recherches et consulté davantage de documents sur le sujet, nous nous sommes rendu compte que des accords intermédiaires avaient déjà été signés pour prolonger de dix ans certaines unités nucléaires. Dans ce contexte, la question de recherche s'était ajustée et était donc présentée sous la forme suivante : « *Comment la Belgique peut-elle répondre à la demande en électricité, en tenant compte des contraintes gouvernementales, des réalités de terrain et du contexte européen et géopolitique, face à une éventuelle réduction ou un arrêt progressif de la production d'électricité nucléaire ?* »

Mais après avoir entamé la revue de littérature de cette thèse et au regard des informations disponibles dans la littérature, elle se formulera plutôt comme suit : « *Comment les belges pourraient-ils répondre à leur demande en électricité, en tenant compte des réalités de terrain, du contexte européen et géopolitique, face à une éventuelle réduction ou un arrêt progressif de la production d'électricité nucléaire belge ?* »

Néanmoins, au regard de la décision de mai 2025 prises par les autorités belges, notamment, l'abrogation de la loi de 2003 relative à la sortie du nucléaire<sup>14</sup>, notre attention s'est portée sur les sous-questions suivantes : « *Est-il possible de trouver des alternatives à travers les énergies renouvelables ? Les énergies renouvelables sont-elles suffisamment attractives pour encourager des investissements à long terme ? Comportent-elles des risques pour notre société ?* »

## 2.3 Objectifs de cette thèse

L'objectif de cette recherche est donc de prendre du recul sur la situation énergétique actuelle et future de la Belgique, en se concentrant sur sa production d'électricité, tout en élargissant l'analyse à certains autres pays européens, afin de développer un esprit critique.

Pour ce faire, deux sources d'énergies renouvelables ont été analysées, à savoir, les panneaux photovoltaïques et les éoliennes.

Par ailleurs, il est essentiel de souligner que, dans le cadre de ce mémoire, nous avons dû définir une temporalité : les observations prises en compte et les analyses réalisées pouvaient varier selon qu'il s'agisse du court, du moyen ou du long terme. C'est pourquoi nous avons opté pour l'analyse de la situation à court et à moyen terme afin d'en déduire nos observations.

Cette prise de recul nous permettra d'identifier les informations pertinentes, d'analyser la faisabilité de ces solutions de production d'électricité et d'évaluer les compromis éventuels qui pourraient être envisagés dans notre mix énergétique.

## 2.4 Méthode de collection de données

Pour mener à bien cette thèse, il était indispensable de disposer d'un large éventail de données permettant de maîtriser le sujet et de progresser efficacement dans cette recherche.

Dans un premier temps, la collecte de données s'est principalement appuyée sur des sources d'informations secondaires. Cette étape reposait sur des articles scientifiques pertinents, accessibles via diverses plateformes grâce à l'Université de Liège, ainsi que sur d'autres sources fiables, telles que des organismes reconnus pour leur expertise sur le sujet. L'objectif était d'extraire les éléments clés susceptibles de contribuer à l'avancement de la réflexion et d'alimenter les discussions dans le chapitre dédié de cette thèse. Ces articles ont ainsi été analysés et comparés afin d'en dégager les informations les plus pertinentes.

Par la suite, des hypothèses ont été formulées et sont ainsi présentées à la fin de ce chapitre. Leur validité sera ensuite examinée dans le chapitre suivant : « Résultats ».

Pour ce faire, des interviews auprès d'acteurs de terrain ainsi qu'un sondage ont été organisés, la méthodologie associée sera présentée dans les sous-sections suivantes. Les données recueillies

---

<sup>14</sup> Développée ultérieurement dans le chapitre des résultats.

permettront de diversifier et d'enrichir les arguments de réponses aux hypothèses, tout en apportant une dimension concrète et pratique à l'analyse.

## 2.5 Types de données nécessaires

Les données collectées seront analysées selon une approche inductive. Cela implique de commencer par recueillir des observations et des données, de les analyser en profondeur, puis d'en tirer une généralisation ou, dans le cadre de cette recherche, d'élaborer une analyse spécifique au contexte belge.

Les données traitées dans cette recherche sont principalement des données qualitatives. Ces dernières comprennent l'analyse des législations actuelles concernant la production d'électricité, notamment pour les deux sources d'énergies renouvelables sélectionnées, ainsi que les informations recueillies lors de la revue de littérature et des interactions avec les acteurs de terrain à travers les interviews réalisées. Par ailleurs, les réponses obtenues via le sondage comportent également une part de données qualitatives à analyser.

Enfin, dans le contexte spécifique de la Belgique, il aurait été illusoire de prétendre trouver une solution directement applicable en se basant uniquement sur les données disponibles. C'est pourquoi une approche descriptive a été adoptée : elle a consisté à collecter les données, analyser les complexités du problème, et décrire les observations de manière objective, sans influencer les résultats ni biaiser la recherche.

## 2.6 Sondage

Le sondage a été conçu dans le but de recueillir des données objectives provenant de l'opinion publique sur les énergies renouvelables, en examinant notamment l'impact des évolutions législatives, des progrès technologiques et des enjeux environnementaux.

Les questions composant ce sondage ont été formulées de manière aussi neutre que possible, afin de ne pas influencer les répondants<sup>15</sup>.

Le public cible de ce sondage était constitué des citoyens vivant en Belgique et étant totalement ou partiellement responsables de leurs factures d'électricité. Cependant, étant donné qu'il s'agit d'un sujet qui concerne à la fois notre présent et notre avenir à court et long terme, nous avons jugé pertinent de laisser également s'exprimer les personnes majeures qui ne sont pas encore responsables de leurs factures d'électricité, car elles représentent les décideurs de demain. C'est pourquoi, dans l'analyse des résultats, nous avons choisi de prendre en compte ces répondants.

Le nombre cible de répondants à atteindre était de 385 personnes afin que l'échantillon soit représentatif de la population ciblée. En effet, selon les données fournies par Statbel, au 1er janvier 2024, la Belgique comptait un total de 5 163 139 ménages privés (Statbel, 2024). En supposant qu'une part significative de ces ménages consomme et paie leur facture d'électricité, nous avons appliqué la formule proposée par Adam (2020), laquelle est la suivante :

---

<sup>15</sup> Voir annexes

$$n = \frac{N}{1 + Ne^2} \quad (5)$$

Where,

- n = minimum returned sample size
- N = the population size
- $\epsilon$  = adjust margin of error [ $\epsilon = \left(\frac{pe}{t}\right)$ ]
- e = the degree of accuracy expressed as a proportion
- p = the number of standard deviations that would include all possible
- t = t-value for the selected alpha level of confidence level

Figure 20: The adjusted Yamane's formula in equation - (Adam, 2020: 92)

Dans notre cas, il convient de considérer une population supérieure à 1 000 000 de personnes. Cela indique que, pour un test avec un intervalle de confiance de 95 %, le nombre minimal de répondants à atteindre est de 385.

Pour ce faire, nous avons utilisé différentes méthodes afin d'atteindre un maximum de répondants dans le temps imparti. Tout d'abord, le questionnaire a été diffusé via plusieurs canaux en ligne, notamment LinkedIn et Facebook. Par ailleurs, des QR codes ont été mis à disposition et placés à divers endroits stratégiques jugés pertinents.

Nous avons opté pour un questionnaire rédigé en français, accompagné d'une traduction en anglais afin de proposer une version alternative. Néanmoins, aucun répondant anglophone n'a participé à l'enquête, c'est pourquoi cette version ne sera pas présentée dans ce mémoire.

## 2.7 Interviews

Deux interviews ont été réalisées dans le cadre de cette thèse afin de recueillir des informations pertinentes à analyser et d'étoffer certains concepts. Les deux personnes concernées ont été soigneusement sélectionnées en fonction de leur parcours professionnel passé ainsi que de leur poste actuel.

La première personne interviewée se nomme Pierre Letawe et est ingénieur nucléaire de formation. De plus, Monsieur Letawe a géré pendant près de huit ans une entreprise spécialisée, entre autres, dans la fourniture et l'installation de panneaux photovoltaïques. Bien que ce ne soit plus le cas aujourd'hui, son profil demeure particulièrement intéressant, car il nous a permis de bénéficier de son expertise et d'échanger de manière objective et transparente sur cette source de production d'électricité renouvelable ainsi que sur les contraintes qu'elle présente.

Ensuite, nous avons interviewé Théo Jacques, ingénieur projet au sein de l'entreprise ENERSOL, basée dans la province de Liège, plus précisément à Battice. Cette entreprise est spécialisée dans la distribution d'énergies renouvelables, notamment le photovoltaïque, l'éolien et le solaire thermique, ainsi que dans le stockage d'électricité. Monsieur Jacques est actuellement, responsable du bureau d'étude d'Enersol et, entre autres, de la veille réglementaire relative au photovoltaïque. Son activité et son expertise le rendent particulièrement pertinent pour contribuer à la réflexion sur les énergies renouvelables. Pour organiser cette interview, nous avons contacté la Directrice des ressources humaines d'ENERSOL, à qui nous avons présenté notre mémoire ainsi que les objectifs de cet entretien. C'est elle qui nous a mis en relation avec Monsieur Jacques, considéré comme le profil le plus adapté pour nous fournir des informations détaillées.

Ces deux interviews ont été préparées et conduites de manière assez similaire. En effet, il s'agissait d'entretiens semi-structurés : nous avions élaboré deux questionnaires distincts comportant des questions générales ainsi que des sous-questions portant sur les aspects spécifiques qui nous intéressaient. Ces questionnaires sont disponibles en annexes. Toutefois, nous avons précisé aux interviewés que toute intervention s'écartant du cadre des questions préparées était également bienvenue et pertinente. De notre côté, nous n'avons pas hésité à intégrer nos idées ou questions complémentaires au cours des échanges.

Pour faciliter l'organisation de ces deux échanges en fonction de nos disponibilités respectives, nous avons choisi de les réaliser en ligne, plus précisément via Teams. En effet, des créneaux de 45 minutes avec Monsieur Letawe et d'une heure avec Monsieur Jacques ont été nécessaires. Lors de ces entretiens, nous souhaitions pouvoir discuter tout en observant le langage non verbal de nos interlocuteurs, c'est pourquoi nous leur avons demandé d'activer leur caméra.

## 2.8 Outils utilisés

Dans le cadre de cette thèse, plusieurs outils ont été choisis et mobilisés afin de mener à bien les différentes tâches inhérentes à cet exercice.

Dans une première phase, correspondant à la collecte de données secondaires via des articles scientifiques ou provenant d'organismes officiels et reconnus, nous avons mené nos recherches sur différentes bases de données, notamment Google Scholar ainsi que la bibliothèque universitaire en ligne Ulg Library. Après lecture des articles pertinents et extraction des informations clés, nous avons utilisé l'application Zotero afin de centraliser les sources consultées, d'y ajouter nos commentaires, et surtout de faciliter les étapes ultérieures de notre travail, notamment la rédaction de la bibliographie.

Pour la rédaction de ce document, nous avons décidé d'utiliser l'application Word.

Pour réaliser les deux interviews de cette thèse, la plateforme Teams a été utilisée, simplement parce qu'il s'agissait du moyen de communication employé par les deux interlocuteurs sur leurs lieux de travail.

Enfin, pour élaborer le questionnaire, nous avons choisi Google Forms afin de proposer un outil aussi intuitif que possible, permettant ainsi à des personnes moins à l'aise avec la technologie de participer facilement à cette enquête.

## 2.9 Hypothèses

Dans cette section, les différentes hypothèses relatives à cette thèse seront énoncées et développées. Dans un premier temps, nous rassembleront celles qui concernent la situation énergétique générale en Belgique. Dans un second temps, nous présenterons celles relatives à notre sondage.

### 2.9.1 Hypothèses concernant la situation énergétique belge en général

#### 1. Hypothèse 1 : La sortie progressive du nucléaire en Belgique

Au fil des années, des reports successifs d'échéances de fermeture des différentes centrales nucléaires en Belgique ont été observés, dans le but de ralentir, voire de stopper, la production d'électricité à l'aide de celles-ci. À la date du 20 mars 2025, la date d'arrêt définitive des centrales est prévue en décembre 2025, il semble néanmoins probable que de nouveaux

reports aient lieu, car la Belgique ne semble pas encore prête à se passer du nucléaire pour son approvisionnement en électricité.

## 2. Hypothèse 2 : Inexistence d'une véritable stratégie centralisée pour la Belgique

Il est supposé qu'au niveau national, en Belgique, il existe un manque de stratégie cohérente visant à coordonner et à faire progresser la situation du marché de l'électricité. La libéralisation en vigueur dans le secteur de l'électricité à l'échelle de l'Union européenne jouerait également un rôle dans cette hypothèse (London Economics, 2004).

## 3. Hypothèse 3 : Désinformations relatives aux limites du renouvelable

De plus, malgré un développement observable ces dernières années en Belgique concernant les énergies renouvelables (Renouvelle, 2025), la population resterait insuffisamment informée sur ces différentes sources de production d'électricité, notamment en ce qui concerne leurs impacts négatifs et les limites qu'elles peuvent présenter.

## 4. Hypothèse 4 : Difficultés rencontrées pour l'augmentation significative de la part des énergies renouvelables dans le mix énergétique belge

Le réseau électrique belge ne permettrait actuellement (mai 2025) pas d'augmenter significativement la part des énergies renouvelables dans le mix énergétique, et ce pour diverses raisons techniques.

## 5. Hypothèse 5 : Impact majeur de l'évolution des certificats verts sur l'intérêt des énergies renouvelables

Le mécanisme des certificats verts pour les énergies renouvelables (photovoltaïque et éolien) aurait eu un réel impact négatif sur le marché du photovoltaïque, tant pour les particuliers que pour les professionnels chargés de leur mise en œuvre.

## 6. Hypothèse 6 : La provenance étrangère d'une part importante des énergies renouvelables

En réalité, le fait de ne plus produire d'infrastructure renouvelable en Belgique, ni en Europe dans certains cas, obligeraient à les importer depuis d'autres régions du monde, ce qui engendre une forme de dépendance. Ainsi, il ne peut être affirmé que le recours aux énergies renouvelables réduit de manière significative la dépendance énergétique, notamment en matière d'électricité.

### 2.9.2 Hypothèses concernant le sondage

## 7. Hypothèse 7 : Intérêts décroissants pour le renouvelable en raison de règlementations moins favorables

Il est supposé que l'intérêt des personnes pour investir dans les énergies renouvelables diminue, notamment en raison de législations moins favorables et de rendements financiers de plus en plus faibles associés à ces investissements au fil du temps.

## 8. Hypothèse 8 : Nécessité d'investissements massifs des autorités dans les énergies renouvelables

On peut supposer que de nombreuses personnes considèrent que le gouvernement belge a un rôle à jouer dans la décision d'investir dans les énergies renouvelables, et que certains estiment que les autorités belges devraient investir massivement dans ce secteur, ou du moins que ce ne sont pas aux particuliers de prendre seuls ce risque.

## 9. Hypothèse 9 : Acceptation des nuisances visuelles dans l'opinion publique

De nombreuses personnes seraient favorables à des investissements importants de la part des autorités belges, mais ne seraient pas disposées à accepter des infrastructures conséquentes, telles que des parcs éoliens ou solaires, à proximité de leur résidence ou susceptibles d'affecter leur cadre de vie privé.

## 10. Hypothèse 10 : Engagement du secteur professionnel dans la transition énergétique

Il semblerait que le monde professionnel investisse et s'engage de plus en plus dans les énergies renouvelables en Belgique.

## 2.10 Biais

Cette section présente les différents biais identifiés lors de la réalisation de ce mémoire, et ce à tous les niveaux.

### 2.10.1 Biais - sondage

1. Il est possible que les personnes ayant déjà discuté de l'approvisionnement en électricité de demain, notamment en lien avec les énergies renouvelables, aient été influencées par des opinions personnelles exprimées lors d'échanges. De plus, le fait qu'il s'agisse d'une thèse peut amener certains participants à formuler des réponses biaisées.
2. Un autre biais potentiel concerne le fait que certaines personnes interrogées dans le cadre du sondage pourraient résider dans le même logement, ce qui pourrait entraîner des réponses et des raisonnements similaires sur le sujet. Toutefois, ces répondants ont été conservés, car il est possible que, malgré ces similitudes, des opinions divergentes existent au sein d'un même foyer.
3. Certaines personnes ont répondu au questionnaire alors qu'elles ne payaient pas, ou pas encore, leur facture d'électricité, ce qui pourrait réduire la pertinence de leurs réponses. Cependant, ces réponses ont été conservées dans l'analyse, car parmi ces répondants, notamment les jeunes, se trouvent les décideurs de demain qui, dans un avenir proche ou plus lointain, auront leur rôle à jouer et pourront prendre leurs propres décisions.
4. Certaines questions pourraient avoir été formulées de manière à influencer involontairement les répondants, ou à les orienter vers des réponses perçues comme « attendues », même si cela n'était pas intentionnel. L'objectif principal restait cependant de recueillir des réponses objectives, reflétant fidèlement la réalité du terrain.

5. Enfin, étant donné qu'il s'agit d'un sujet d'actualité au cœur des débats politiques, il est possible que les répondants au sondage aient été influencés par les informations diffusées par les médias (journaux, radio, télévision et presse écrite) ou le gouvernement.

#### 2.10.2 Biais - interviews

6. Il est possible que les personnes interviewées, si elles sont toujours impliquées dans une entreprise spécialisée dans les énergies renouvelables, expriment un avis biaisé afin de ne pas évoquer de potentielles faiblesses ou inconvénients des produits proposés par leur entreprise.
7. Bien que les interviews aient été réalisées en visioconférence avec caméra afin de limiter cet effet, il est possible que le format en ligne, plutôt qu'en présentiel, ait restreint les informations divulguées, par souci de confiance ou de confidentialité.
8. Enfin, une contrainte liée aux horaires et disponibilités des interlocuteurs a limité la plage horaire disponible, ce qui a nécessité de se concentrer sur l'essentiel lors des échanges.

### 3. Résultats

#### 3.1 Approche légale

##### 3.1.1 Hypothèse 1 : La sortie progressive du nucléaire en Belgique

Tout d'abord, il est important de souligner un événement récent survenu au cours de la rédaction, en lien avec l'hypothèse 1 formulée fin mars 2025 : la suppression de la loi de 2003 relative aux dates de sortie du nucléaire prévues. En effet, plusieurs articles de presse (Le Figaro, 2025); (L'Echo, 2025) indiquent que le 15 mai 2025, lors d'une réunion des députés belges, la loi de 2003 interdisant la construction de nouvelles installations nucléaires et prévoyant l'arrêt des derniers réacteurs pour 2025 a été abrogée. Cette décision a été adoptée à la majorité : 102 votes pour, 8 contre et 31 abstentions.

Pour replacer les éléments dans leur contexte, avant l'abrogation de cette loi, la situation en Belgique concernant les réacteurs nucléaires en activité et les prévisions d'arrêt, était la suivante :

Sites	Réacteurs	Puissance (en MWe)	Date de mise en fonction	Fermeture prévue sous la loi de 2003	Possible décision suite à l'abrogation
DOEL	DOEL 1	445	15 février 1975	Arrêté le 14 février 2025	/
	DOEL 2	433	01 décembre 1975	01 décembre 2025	Prolongation ?
	DOEL 3	1006	01 octobre 1982	Arrêté le 23 septembre 2022	/
	DOEL 4	1039	01 juillet 1985	01 juillet 2025 (prolongé 10 ans)	Prolongation ?
THIANGE	THIANGE 1	962	01 octobre 1975	01 octobre 2025	Prolongation ?
	THIANGE 2	1008	01 février 1983	Arrêté le 31 janvier 2023	/
	THIANGE 3	1038	01 septembre 1985	01 septembre 2025 (prolongé 10 ans)	Prolongation ?

Tableau 2 : Récapitulatif du parc nucléaire belge

(Word, Léo Geraerds)

Les articles viennent confirmer l'hypothèse initiale, qui prévoyait un report des échéances liées au nucléaire, et vont même au-delà, puisqu'ils indiquent que de nouvelles installations pourraient être envisagées. Néanmoins, Engie, jusqu'à présent en charge de la gestion du nucléaire, a clairement exprimé sa volonté de ne plus assumer ce rôle à l'avenir. Cependant, selon le Forum Nucléaire, d'autres opérateurs, dont les noms n'ont pas été rendus publics, ont manifesté leur intérêt pour reprendre la gestion du nucléaire dans les années à venir.

Le texte officiel publié au Moniteur belge concernant l'abrogation des deux dispositions de la loi de 2003, était indisponible à la consultation dans le délai imparti à la rédaction de ce mémoire. C'est la raison pour laquelle, il n'est pas développé davantage.

### 3.1.2 Hypothèse 2 : Inexistence d'une véritable stratégie centralisée pour la Belgique

Après avoir interviewé Monsieur Jacques, celui-ci nous informe qu'il serait, selon lui, nécessaire qu'au niveau politique belge, les acteurs parviennent à se coordonner sur la question de l'électricité. En effet, on peut distinguer les partis ou responsables politiques favorables au nucléaire et ceux qui y sont opposés, ce qui engendre une situation instable. Il insiste sur la nécessité de construire une stratégie commune, avec une vision à long terme, afin de planifier l'avenir. Pour illustrer ce manque de coordination, il évoque le fait que, même si les partisans du nucléaire obtenaient les autorisations nécessaires pour construire de nouvelles centrales, cela resterait irréalisable pour plusieurs raisons.

Premièrement, selon T. Jacques, la Belgique ne dispose pas des capacités nécessaires pour construire seule une centrale nucléaire. Elle devrait donc faire appel à l'expertise étrangère, notamment française. Toutefois, la situation actuelle en France n'est guère rassurante : une centrale nucléaire est actuellement en construction dans le nord du pays, et celle-ci connaît d'importants dépassements de coûts et de délais. En effet, les retards du chantier de l'EPR de Flamanville ainsi que son coût, multiplié par six, suscitent de nombreuses inquiétudes (Breteau, 2024). Dans ce contexte, il paraît peu probable que la Belgique se lance dans un projet similaire. Selon lui, une autre option serait de collaborer avec la Chine, qui semble être l'un des seuls acteurs capables de construire des centrales à moindre coût et dans des délais raisonnables. Cependant, cette solution soulèverait une nouvelle fois la question de la dépendance énergétique, une problématique que nous aborderons dans les sections suivantes.

De plus, un autre élément explicatif réside dans la libéralisation des marchés de l'énergie, et plus précisément du marché de l'électricité. Comme nous l'avons déjà observé dans la revue de littérature, les objectifs de cette démarche étaient, d'une part, de rendre les prix plus attractifs, et d'autre part, d'assurer et de maintenir une continuité d'approvisionnement en électricité (SPF Économie, 2019 ; G. P. & S., 2013). Cependant, selon Monsieur Jacques, dans les faits, ce marché reste dominé par un trop faible nombre d'acteurs, ce qui le qualifie en réalité d'oligopole. Pour illustrer cet argument, plus de 42 % de notre mix électrique en 2024 provient du nucléaire (Nuclear Forum, 2025), mais en réalité, Engie en détient la seule responsabilité, ce qui revient à dire que 42 % de notre mix énergétique dépend d'un seul acteur. De plus, il s'agit d'une entreprise privée dont l'objectif principal est, entre autres, la réalisation de bénéfices. Par ailleurs, ce marché libéralisé n'est plus contrôlé par l'État, ce qui soulève la question de savoir qui sera responsable des futurs investissements nécessaires à la construction de nouvelles infrastructures nucléaires. En effet, étant donné qu'Engie est une entreprise privée, il paraît peu probable que les banques consentent à prêter des sommes de plusieurs dizaines de milliards pour financer de tels projets. La question se pose donc de savoir si l'État devra prendre en charge ces investissements initiaux, puis trouver un opérateur pour gérer les installations et en percevoir les bénéfices.

Par ailleurs, Monsieur Jacques souligne qu'un flou persiste sur la gestion des déchets nucléaires. En théorie, cette responsabilité incombe à l'opérateur, c'est-à-dire Engie Electrabel. En réalité, le problème est simplement reporté, car personne ne souhaite vraiment assumer cette charge, et c'est finalement à l'État d'intervenir. Pour illustrer cette problématique, nous pouvons évoquer le projet d'enfouissement des déchets nucléaires dans les sous-sols de Mol, qui fait toujours l'objet de nombreuses incertitudes, notamment financières (Hupin, 2023).

Enfin, il serait nécessaire d'instaurer un changement des mentalités et des habitudes de consommation d'électricité au sein de l'ensemble de la population belge. Pour cela, T. Jacques évoque notamment la sobriété, c'est-à-dire la diminution de la consommation d'énergie, ici spécifiquement d'électricité, tout en maintenant un niveau de vie confortable. Dans un premier temps, il s'agirait d'éduquer et de sensibiliser chaque citoyen afin qu'il fasse attention à ses habitudes pour éviter le gaspillage. Pour illustrer cela, on peut rappeler la récente crise énergétique causée par le conflit en Ukraine durant laquelle une baisse des consommations électriques a été observée. Cela montre qu'il

est possible d'agir sur ce point. Si les prix élevés de l'électricité ont très certainement joué un rôle moteur dans ces efforts, Monsieur Jacques y voit une piste intéressante pour inciter les citoyens à repenser leurs habitudes de consommation. Il ajoute également, comme autre potentiel levier d'action, la mise en place éventuelle de taxes supplémentaires par l'État.

L'hypothèse 2 formulée au départ s'est donc révélée fondée, comme en témoignent les éléments et arguments développés dans ce travail. Néanmoins, il apparaît également que l'État n'est pas le seul acteur qui devrait intervenir dans ce contexte.

### 3.1.3 Hypothèse 8 : Nécessité d'investissements massifs des autorités dans les énergies renouvelables

Dans cette section, nous avons cherché à comprendre quel rôle les autorités belges devraient jouer, ou du moins quel comportement l'opinion publique estime qu'elles devraient adopter concernant les investissements liés au marché de l'énergie, notamment en ce qui concerne le déploiement des infrastructures renouvelables sur notre territoire.

Pour ce faire, nous avons tout d'abord analysé les réponses à la question n°21 de notre sondage. Par la suite, nous avons mené des recherches complémentaires afin de mieux répondre à cette hypothèse et d'adopter un positionnement éclairé.

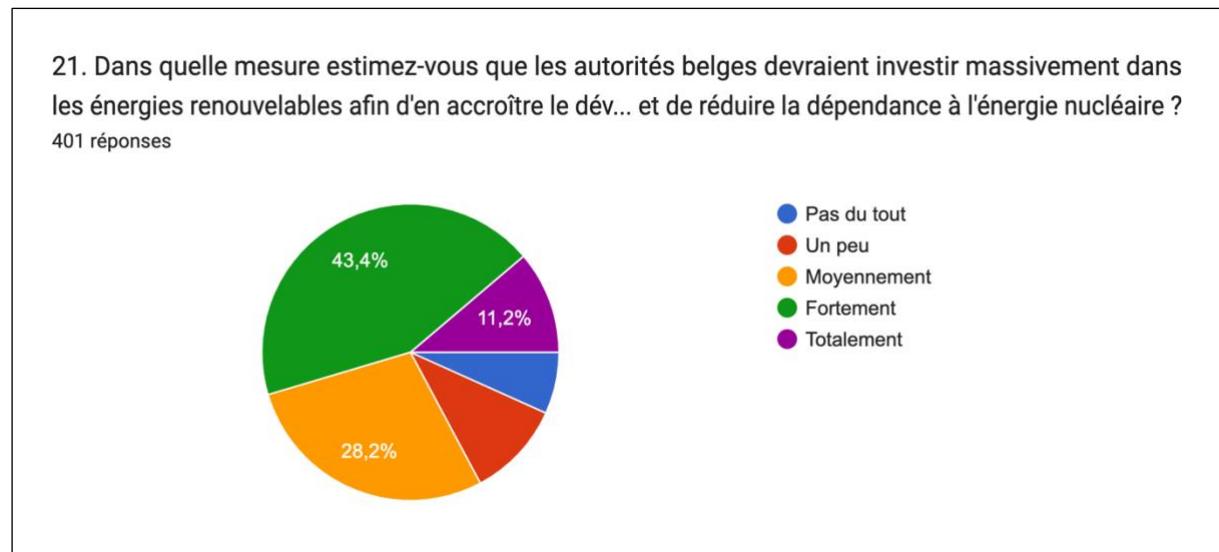


Figure 21: Perceptions des répondants sur un potentiel investissement massif des autorités

(Résultats basés sur le sondage réalisé – Google form, Léo Geraerds)

Nous pouvons constater que près de 55 % des répondants estiment que les autorités devraient investir à grande échelle dans des projets d'énergies renouvelables, avec 43,4 % répondant « Fortement » et 11,2 % « Totalement ». Cependant, 6,7 % pensent que les autorités belges ne devraient pas du tout investir dans ce domaine, et 10,5 % ont répondu « Un peu ». Enfin, 28,2 % des répondants affichent un avis mitigé.

Après avoir effectué des recherches complémentaires à ce sujet, nous avons trouvé un article très pertinent que nous jugeons important d'intégrer à cette section (Synergrid, 2024). Il s'agit d'un rapport de Synergrid, le porte-parole des gestionnaires de réseaux d'électricité et de gaz belges. Ce rapport aborde la situation énergétique en Belgique, tant pour un avenir proche que jusqu'en 2050. Il rappelle notamment les objectifs de l'Union européenne en matière de décarbonation, déjà présentés dans la

revue de littérature, en insistant sur la nécessité d'atteindre 42,5 % de sources d'énergies renouvelables. Selon Synergrid, les gestionnaires de réseaux de distribution et de transport d'électricité et de gaz jouent un rôle central dans cette transition énergétique. Pour information, ils gèrent un réseau important, tant au niveau belge avec 222 000 kilomètres pour l'électricité et 80 000 kilomètres pour le gaz qu'à l'échelle européenne avec plus de 10 millions de kilomètres pour l'électricité et 2 millions de kilomètres pour le gaz.

Pour répondre aux différents défis auxquels les gestionnaires des réseaux sont confrontés et seront confrontés dans les années à venir, les investissements nécessaires comprennent dans un premier temps des dépenses liées à la digitalisation, à l'obtention de personnel qualifié, ainsi qu'au réseau lui-même. Ce rapport stipule clairement que le soutien du gouvernement ainsi que celui de la population seront indispensables. Le rôle du gouvernement inclurait notamment la mise en place d'une tarification incitative, mais aussi la facilitation de la réalisation rapide des chantiers envisagés grâce à l'octroi des autorisations et permis nécessaires. Il est également important que les autorités et les gestionnaires de réseaux collaborent étroitement concernant les plans sectoriels ainsi que l'aménagement du territoire.

Si nous nous concentrons désormais sur le secteur de l'électricité, afin de s'aligner aux objectifs de l'Union européenne ainsi qu'aux objectifs nationaux, il faudra inévitablement augmenter de manière drastique le nombre de panneaux photovoltaïques, d'éoliennes offshore et onshore installées, mais aussi développer les batteries, les pompes à chaleur et réaliser un travail approfondi sur la décarbonation de l'industrie en règle générale.

Cet article décrit la situation à laquelle nous pourrions être confrontés si nous n'investissons pas massivement dans le réseau électrique. En effet, une capacité limitée viendrait contrarier la croissance des connexions, des procédures très longues pour la mise en place de nouvelles infrastructures ou pour le renforcement du réseau rendraient ce dernier moins efficace de manière globale.

Un objectif clair mis en avant dans ce rapport est que les consommateurs finaux d'électricité participent activement au système énergétique, mais surtout que tous les consommateurs puissent avoir accès au réseau, et pas uniquement ceux disposant des ressources financières suffisantes pour installer des sources locales d'énergie.

Le dernier point abordé dans cet article, que nous avons choisi d'intégrer à cette section, concerne la digitalisation des réseaux. Celle-ci facilitera l'intégration des différentes sources d'énergies renouvelables tout en permettant de mieux gérer les enjeux liés à la cybersécurité.

Des estimations réalisées à la fin de ce rapport par Synergrid permettent de mieux comprendre l'ampleur financière de ces investissements. Il en ressort que les dépenses importantes liées aux installations de compteurs communicants d'électricité et de gaz, aux dizaines de milliers de kilomètres de câblages électriques supplémentaires, ainsi qu'aux canalisations et à la digitalisation, pourraient dépasser 9 milliards d'euros pour les deux prochaines années (2025 et 2026) et atteindre jusqu'à 31 milliards d'ici 2030. Parmi ces investissements, près de 70 % seraient consacrés aux réseaux d'électricité.

Lors de nos recherches complémentaires, nous avons relevé d'autres projets conséquents envisagés et discutés. Notamment des projets d'extension du parc éolien offshore en mer du Nord, tels que celui de la zone Princesse Élisabeth, avaient également été annoncés. Ce projet représente un investissement de 450 millions d'euros, dont près de 100 millions proviennent de subsides européens (Wilquin, 2023). Cependant, il semblerait que le gouvernement fédéral souhaite freiner ces ambitions en suspendant la deuxième phase du plan, suivant ainsi les recommandations du ministre Bihet (Collignon, 2025).

D'autres projets d'interconnexions avec des pays de la mer du Nord, tels que le Danemark et le Royaume-Uni, ont également été discutés ces dernières années. Ces interconnexions sont principalement sous-marines, comme le projet « Triton Links » pour la liaison avec le Danemark, et le projet « Nautilus » concernant le Royaume-Uni. Ces initiatives sont toujours en cours de négociation avec les différents acteurs concernés (20 juillet 2025).

Enfin, un accord avait été conclu en mai 2022 entre la Belgique, les Pays-Bas, le Danemark et l'Allemagne, stipulant que la mer du Nord deviendrait la plus grande centrale électrique durable d'Europe avant 2030. Pour y parvenir, les quatre pays s'engageaient à quadrupler leur capacité éolienne en mer, ce qui permettrait d'alimenter en électricité 150 millions de familles. Il semblerait que ce projet soit toujours en cours au moment de la rédaction de cette thèse.

En conclusion, nous avons pu observer de nombreux projets planifiés, en cours ou à venir, qui nécessiteront des investissements considérables pour faire progresser le secteur de l'énergie, et plus particulièrement celui de l'électricité. Toutefois, il est important de souligner que la réussite de cette transition énergétique ne repose pas uniquement sur les autorités et les gouvernements. Les consommateurs, en tant qu'acteurs actifs du système, ainsi que les gestionnaires de réseaux, joueront également un rôle crucial. Chacun d'eux devra assumer ses responsabilités et contribuer à l'évolution du mix énergétique belge, dans un effort collectif indispensable pour atteindre les objectifs de décarbonation et garantir la stabilité et la durabilité du réseau électrique.

### 3.1.4 Hypothèse 5 : Impact majeur de l'évolution des certificats verts sur l'intérêt des énergies renouvelables

Dans cette sous-section, nous souhaitions analyser l'hypothèse évoquant le potentiel impact négatif des évolutions législatives, notamment celles liées aux certificats verts, sur les particuliers ainsi que sur les professionnels.

Dans un premier temps, et ce à travers notre sondage, il a été demandé aux répondants s'ils connaissaient le système des certificats verts et ce qu'il représentait. Sur les 401 réponses obtenues, 157 personnes, soit 39,4 % des participants, ont déclaré connaître le fonctionnement de ces certificats. À l'inverse, 75 d'entre elles, représentant 18,7 % des répondants, ne connaissaient pas du tout cette réglementation et n'en avaient même jamais entendu parler. Enfin, près de 42 % des participants, soit les 167 personnes restantes, n'avaient jamais entendu parler des certificats verts.



Figure 22: Connaissances des répondants sur les certificats verts

(Résultats basés sur le sondage réalisé – Google form, Léo Geraerds)

Ensuite, à travers la question suivante du sondage (n°19) qui interrogeait les répondants sur leur perception de l'évolution des législations relatives au photovoltaïque, il leur était demandé s'ils

considéraient cette évolution comme plutôt avantageuse, plutôt désavantageuse, ou s'ils estimaient ne pas être suffisamment informés pour émettre un avis.

Parmi les 157 répondants qui se considèrent comme informés sur le sujet des certificats verts, voici les retours recueillis concernant leur perception des évolutions législatives liées aux panneaux photovoltaïques :

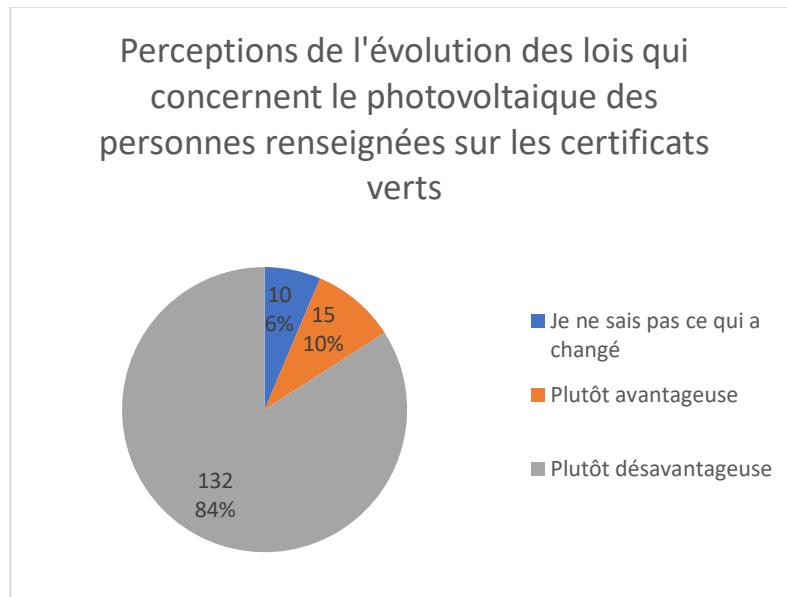


Figure 23: Perceptions de l'évolution des lois qui concernent le photovoltaïque des personnes renseignées sur les certificats verts

(Résultats basés sur le sondage réalisé – Google form, Léo Geraerds)

Nous pouvons observer qu'une large majorité d'entre eux (84 %, soit 132 personnes) estime que les lois ont évolué de manière plutôt désavantageuse. Dix répondants reconnaissent ne pas connaître les changements qui ont été appliqués, tandis que quinze personnes jugent cette évolution plutôt avantageuse.

Nous avons également jugé pertinent d'échanger avec Monsieur Letawe à ce sujet. C'est donc son avis, nourri par son expérience professionnelle, qui sera présenté dans la suite de cette section. Nous avons tout d'abord saisi l'occasion pour lui demander quelques précisions sur le fonctionnement des certificats verts sur le terrain.

#### 3.1.4.1 Fonctionnement des certificats verts sur le terrain

Le système des certificats verts est, à l'origine, un mécanisme incitatif mis en place à l'initiative de l'Union européenne, visant à réduire les émissions de CO<sub>2</sub>. Ces certificats pouvaient être octroyés dans quatre secteurs distincts : l'hydraulique, l'éolien, le photovoltaïque et la cogénération. Dans le cadre de ce mémoire, nous nous concentrerons uniquement sur ceux liés au photovoltaïque, car nos échanges se sont centrés sur ce domaine. La Région Wallonne s'était engagée dans ce marché en proposant des primes sous forme de certificats verts afin d'en encourager le développement.

Monsieur Letawe nous a confié que, d'un point de vue professionnel, ce mécanisme a été l'élément déclencheur d'un véritable essor du marché. Cependant, c'est également la manière dont ce dispositif a été géré qui a provoqué la chute de nombreuses entreprises actives dans le secteur du photovoltaïque.

Pour illustrer concrètement ce mécanisme, nous avons demandé à Monsieur Letawe de nous fournir un exemple chiffré de ce à quoi cet incitatif pouvait correspondre à l'époque. En moyenne, une installation photovoltaïque chez un particulier représentait une puissance d'environ 3500 à 4000 kWc, pour un investissement avoisinant les 20 000 € dans les années 2005-2006. Plusieurs avantages économiques en découlaient :

- Tout d'abord, une prime de 3500 € octroyée par la Région Wallonne.
- Ensuite, une déduction fiscale équivalente à 40 % du prix de l'installation, accordée sous forme de crédit d'impôt.
- Enfin, pour chaque tranche de 1000 kWh d'électricité produite, l'installation donnait droit à 7 certificats verts par an, et ce, pendant 15 ans.

Ainsi, pour une installation de 4000 kWc produisant environ 4000 kWh par an, cela équivalait à 28 certificats verts annuels (4 x 7). Chaque certificat valant 65 €, le particulier percevait environ 1820 € par an pendant 15 ans, uniquement grâce à ces certificats verts.

Selon P. Letawe, ces systèmes mis en place étaient très voire trop avantageux. En effet, dans les faits, ce type d'installation pouvait être rentabilisé en seulement trois ans, avant même de commencer à générer un bénéfice net pour l'investisseur. Dans ce contexte, une véritable explosion de la demande et des installations a été observée. Cela a entraîné une hausse considérable des coûts pour la Région Wallonne, qui s'était engagée à racheter tous les certificats verts à un prix minimum garanti de 65 euros.

Ce dispositif faisait l'objet, dans un premier temps, d'une révision tous les six mois, accompagnée d'une diminution progressive du nombre de certificats verts octroyés. Cependant, ces ajustements n'étaient pas immédiats, ce qui laissait aux personnes bien informées sur le mécanisme le temps de prendre leur décision et d'y investir.

En 2013, à la suite d'une décision du gouvernement wallon, le système de primes liées aux certificats verts a été définitivement supprimé. Cette mesure a eu un impact considérable sur les entreprises actives dans l'installation de panneaux photovoltaïques, dont un grand nombre ont décidé de cesser leurs activités. Monsieur Letawe souligne que, selon lui, la Région wallonne a mal géré cette transition. Il aurait été préférable, d'après son analyse, de réduire les aides progressivement, d'autant plus que les panneaux photovoltaïques restaient rentables même sans ce mécanisme incitatif.

Cette hypothèse est donc vérifiée : l'évolution du système des certificats verts a bel et bien eu un impact majeur sur le marché du photovoltaïque. Dans un premier temps, ce mécanisme s'est révélé être un véritable levier incitatif, favorisant fortement le développement du secteur, tant pour les professionnels que pour les particuliers. Par la suite, sa suppression progressive puis brutale a réellement entraîné une chute de la demande pour ce type d'installation, provoquant ainsi la fermeture de nombreuses entreprises actives dans le domaine. Il convient également de souligner, à la lumière des résultats de notre sondage, que près de 20 % des répondants ont déclaré ne pas être informés de l'existence ou du fonctionnement de ces certificats verts.

### 3.1.5 Hypothèse 7 : Intérêts décroissants pour le renouvelable en raison de règlementations moins favorables

Dans cette section, nous aborderons la perception des particuliers quant à l'attractivité actuelle des énergies renouvelables, en tenant compte des lois actuellement en vigueur sur le territoire belge. Pour ce faire, nous commencerons par présenter les résultats obtenus concernant le photovoltaïque.

Il est important d'analyser les réponses issues du sondage ainsi que les éléments apportés par nos deux professionnels. Toutefois, afin d'enrichir notre réponse concernant cette hypothèse, nous nous sommes également appuyés sur une étude menée par la CREG.

Tout d'abord, dans la continuité de l'hypothèse 2 abordée précédemment, Monsieur Letawe mentionne qu'avant l'arrêt complet du mécanisme des certificats verts, la Région wallonne avait prévu de mettre en place un nouveau système nommé « Qualiwatt ». Celui-ci visait également à soutenir et promouvoir les installations résidentielles grâce à une aide financière. Ce projet reposait sur une régulation plus structurée, incluant notamment la certification des installateurs. Cependant, sa mise en œuvre a été plusieurs fois reportée : d'abord de trois mois, ensuite de six mois, puis d'un an. Ces reports ont eu un impact significatif sur le secteur résidentiel du photovoltaïque, entraînant une baisse des demandes et la fermeture de nombreuses entreprises, l'investissement devenant moins attractif pour les particuliers. Une fois mis en place et appliqué, le mécanisme de primes « Qualiwatt » a pris fin en 2018.

Néanmoins, selon Monsieur Letawe, un autre élément très important mérite d'être abordé : celui des compteurs électriques qui tournaient à l'envers. Afin de mieux comprendre ce système, il faut savoir qu'à l'époque où les compteurs électriques tournaient encore à l'envers, l'électricité produite par les panneaux solaires d'un particulier était automatiquement injectée sur le réseau. Le compteur enregistrait alors cette production comme une réduction de la consommation. Autrement dit, tant que les panneaux produisaient de l'électricité, le compteur décomptait cette production. Ce n'est qu'une fois la production arrêtée, notamment lorsque le soleil n'était plus présent, que le compteur recommençait à tourner dans le sens habituel, enregistrant alors la consommation réelle du foyer et donc la part d'électricité à payer.

C'est en 2024 que le système de compensation lié aux compteurs électriques inversés a officiellement pris fin. Concrètement, les ménages dont les compteurs ont été installés avant le 1er janvier 2024 continueront de bénéficier de cette compensation jusqu'au 31 décembre 2030. En revanche, toutes les installations réalisées à partir de cette date ne pourront plus en profiter. Selon les informations recueillies sur le site de Luminus (Luminus, 2024) des dispositifs alternatifs sont désormais proposés afin de permettre la revente de l'électricité produite mais non consommée. Toutefois, d'après P. Letawe, la suppression de ce système a eu un effet immédiat et significatif sur l'intérêt des particuliers pour les installations photovoltaïques, entraînant une forte baisse du nombre de projets réalisés.

Dans le prolongement de notre analyse, nous avons souhaité examiner l'opinion des répondants ne disposant pas encore de source d'énergie renouvelable à leur domicile. Pour ce faire, nous avons d'abord isolé les individus ayant répondu « Non » à la question n°7 du sondage, qui portait sur la présence d'une installation de ce type. Nous avons ensuite croisé cette information avec leurs réponses à la question n°19, laquelle les interrogeait sur la perception de l'attractivité financière d'un investissement dans le renouvelable dans le contexte législatif actuel.

Parmi les 401 personnes interrogées, 200 déclaraient ne pas disposer d'une installation d'énergie renouvelable à leur domicile. Parmi ce groupe, la répartition des réponses s'est organisée comme suit :

## Attractivité financière des énergies renouvelables selon les non-utilisateurs, dans le contexte réglementaire actuel

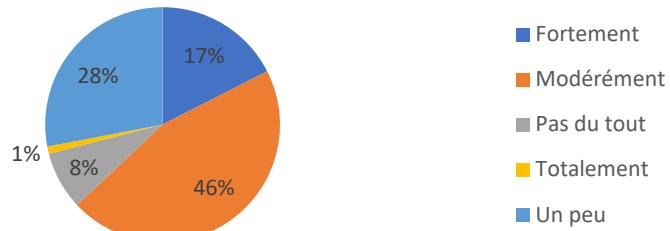


Figure 24: Attractivité financière des énergies renouvelables selon les non-utilisateurs, dans le contexte réglementaire actuel

(Résultats basés sur le sondage réalisé – Google form, Léo Geraerds)

Si l'on regroupe les personnes estimant que le renouvelable n'est « pas du tout » intéressant financièrement avec celles qui le jugent « un peu » ou « modérément » intéressant, on obtient un total de 82 % (8 % + 28 % + 46 %) de ces répondants, ce qui constitue une proportion significative. Ces résultats témoignent d'une tendance plutôt pessimiste quant à la rentabilité perçue des énergies renouvelables à l'heure actuelle.

Cependant, en consultant un rapport de la CREG, le régulateur du marché de l'électricité en Belgique, on peut observer les deux graphiques suivants :

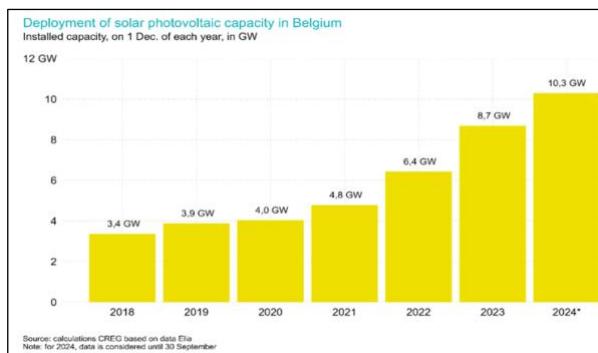


Figure 25: Évolution de la capacité installée de panneaux photovoltaïques en Belgique à la fin de chaque année - (CREG, 2024: 6)

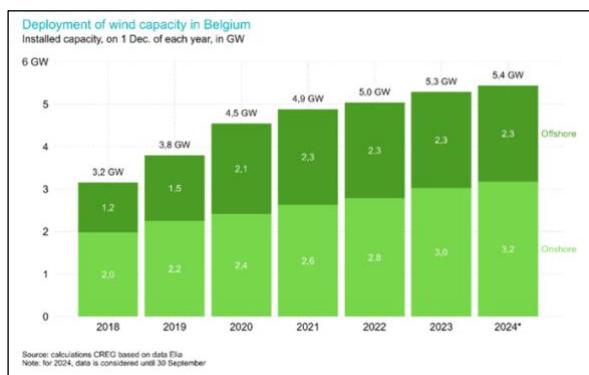


Figure 26: Évolution de la capacité installée d'éolien Onshore et Offshore en Belgique à la fin de chaque année - (CREG, 2024: 8)

Cela traduit néanmoins une évolution croissante pour ces deux sources de production d'électricité, ce qui semble contredire les constats précédemment établis à partir des interviews et du sondage. En effet, si les capacités installées continuent d'augmenter, cela signifie indirectement qu'un nombre croissant d'installations renouvelables sont mises en place, témoignant d'un intérêt réel pour le développement de ces modes de production.

Pour conclure cette section, les résultats obtenus ne permettent pas de confirmer pleinement cette hypothèse. Toutefois, plusieurs éléments expliquent pourquoi certains membres de l'opinion publique ainsi que des professionnels considèrent que les deux sources d'énergies renouvelables étudiées sont aujourd'hui moins attractives sur les plans légal et financier. Cette perception s'explique notamment par la suppression des certificats verts et la fin du système de compensation lié aux compteurs électriques tournant à l'envers, mais également par d'autres facteurs. En revanche, nous avons également identifié des indicateurs montrant que ces évolutions ne constituent pas un frein absolu au développement des capacités installées, comme en témoignent les augmentations observées pour le photovoltaïque et l'éolien en Belgique entre 2018 et 2024.

### 3.2 La dépendance énergétique belge

#### 3.2.1 Hypothèse 6 : La provenance étrangère d'une part importante des énergies renouvelables

La littérature fait état de cas de dépendances énergétiques dans plusieurs pays, imputables à diverses causes. Parmi les solutions proposées pour réduire ces dépendances électriques, l'augmentation de la part des énergies renouvelables occupe une place importante. Toutefois, à la suite des deux entretiens réalisés, nous avons identifié de nouveaux points d'attention qu'il convient de souligner.

En ce qui concerne les panneaux photovoltaïques, P. Letawe nous a expliqué qu'au début des années 2000, l'Europe était pionnière dans leur fabrication. Plus précisément, l'Allemagne occupait une position centrale parmi les principaux acteurs industriels, avec des groupes tels que SolarWorld, qui disposaient de grandes lignes de production réputées. Cependant, entre 2010 et 2015, l'Asie, et plus particulièrement la Chine, a massivement investi dans le secteur photovoltaïque, bénéficiant de subventions étatiques. Cela leur a permis de développer leurs propres capacités de production. Très rapidement, les fabricants chinois ont réussi à produire des panneaux à des coûts nettement inférieurs, rendant leur offre beaucoup plus attractive pour les installateurs belges et européens. Cette situation a conduit à une disparition progressive du marché européen de la production photovoltaïque, avec la fermeture successive des usines sur le continent, remplacées par des producteurs chinois. Selon T. Jacques, l'un des facteurs ayant facilité l'ascension rapide de la Chine dans ce secteur est lié aux réglementations européennes strictes, notamment en matière sociale et environnementale, qui s'appliquaient aux producteurs européens mais pas aux fabricants basés hors Europe, comme en Chine.

Pour préciser, Monsieur Letawe nous informe que, dans les faits, les cellules photovoltaïques étaient fabriquées en Chine, tandis que l'Europe cherchait à maintenir une activité d'assemblage sur son territoire afin de garantir le respect des normes et critères européens. En revanche, durant la période où ses installations étaient encore en activité, Monsieur Letawe s'approvisionnait principalement en onduleurs allemands pour ses projets.

Après avoir abordé cette situation avec Monsieur Jacques lors de notre entretien, il a confirmé les propos de Monsieur Letawe. Il a également précisé qu'il ne reste aujourd'hui qu'un seul fabricant de panneaux photovoltaïques en Belgique, dont la production est considérée comme minime par rapport aux besoins du marché. En ce qui concerne les onduleurs, la grande majorité des équipements installés

sur le territoire belge provient désormais également de Chine, où les produits sont nettement moins coûteux.

Néanmoins, cette situation soulève un enjeu majeur en matière de cybersécurité lié aux installations photovoltaïques. En effet, il existe très peu, voire aucun cadre législatif encadrant la sécurité des panneaux et onduleurs importés de Chine. Cette absence de réglementations génère une incertitude quant à la possibilité, même hypothétique, d'une interruption volontaire et à distance de nos infrastructures renouvelables par le gouvernement chinois. Un tel scénario pourrait avoir des conséquences considérables non seulement sur le système électrique belge, mais également à l'échelle européenne, puisque ce phénomène ne se limite pas à notre territoire. Il est important de souligner que les onduleurs doivent impérativement être connectés à Internet et aux serveurs des fabricants pour fonctionner correctement.

Il en va de même pour les batteries, qui sont également majoritairement importées de Chine. En revanche, dans le secteur de l'éolien, une production européenne reste encore bien présente.

Il convient donc de souligner que le recours à l'énergie photovoltaïque et éolienne ne constitue pas une solution immédiate et sans conséquence à la problématique de dépendance énergétique. En effet, bien que ces technologies permettent de produire localement de l'électricité, elles peuvent également engendrer une forme de dépendance indirecte, notamment vis-à-vis des matériaux, composants et équipements nécessaires à leur fabrication et à leur fonctionnement.

### 3.3 Approche populaire

Dans cette section, nous avons rassemblé les hypothèses qui reposent sur la consultation, l'écoute et la participation d'un groupe social.

#### 3.3.1 Hypothèse 3 : Désinformations relatives aux limites du renouvelable

Afin d'enrichir notre analyse pour cette section, il est essentiel de mettre en lumière à la fois les avantages concrets de l'utilisation des énergies renouvelables et les limites ou difficultés qu'elles peuvent engendrer lorsqu'elles sont privilégiées comme sources principales de production d'électricité. Pour ce faire, nous avons sollicité l'expertise de Monsieur Jacques et de Monsieur Letawe, afin de recueillir un point de vue externe et professionnel sur cette problématique.

##### 3.3.1.1 Avantages concrets de l'utilisation du renouvelable

Selon Monsieur Jacques, l'un des principaux avantages des énergies renouvelables réside dans leur capacité à réduire l'incertitude liée aux fluctuations du marché de l'énergie. En effet, investir dans ce type d'installation permet d'atteindre, au moins partiellement, une certaine autonomie énergétique. Cette indépendance vis-à-vis du réseau conventionnel permet d'échapper aux variations de prix imposées par les fournisseurs, mais aussi d'éviter les frais liés à l'utilisation des infrastructures électriques. Par ailleurs, l'électricité produite localement pour sa propre consommation n'est pas soumise à la TVA ni aux accises, ce qui constitue un avantage financier non négligeable. En somme, cette solution permet un meilleur contrôle des coûts énergétiques.

Un autre avantage significatif mis en évidence est la relative facilité d'installation des infrastructures liées aux énergies renouvelables, en particulier pour le photovoltaïque. Ce type d'installation peut être intégré sur des structures existantes comme les toitures, les carports, les abris de jardin ou encore directement au sol, et ce, sans nécessiter de transformations majeures. Concernant l'éolien, bien que

la mise en œuvre soit généralement plus complexe, elle demeure peu contraignante lorsque les conditions sont réunies. Les travaux préparatoires sont limités et l'emprise au sol reste réduite. Par ailleurs, les installations renouvelables ne requièrent en général pas d'équipement annexe important. À titre de comparaison, Monsieur Jacques souligne que la construction d'une centrale nucléaire ou d'une centrale à gaz engendre des contraintes techniques, logistiques et réglementaires bien plus importantes. Ce point ne sera toutefois pas approfondi dans cette section, la question du nucléaire ayant déjà été abordée dans l'hypothèse 2.

Par ailleurs, l'évolution technologique dans le domaine des énergies renouvelables constitue un atout majeur. Monsieur Jacques souligne que, selon lui, la maturité atteinte par ces technologies en 2025, fruit de plus de vingt années de développement, est particulièrement remarquable, notamment en ce qui concerne les rendements des panneaux photovoltaïques. La forte compétitivité observée sur ce marché représente également un élément positif, tant en raison de la diversité croissante des offres que de l'évolution des prix, qui tendent à devenir de plus en plus accessibles. À titre comparatif, une installation d'une capacité de 3500 à 4000 kWc, telle que mentionné dans l'hypothèse 5, nécessitait un investissement d'environ 20 000 euros en 2005 ou 2006. Aujourd'hui, selon les informations fournies par Monsieur Letawe, un système équivalent coûterait environ 8 000 euros, soit près d'un tiers du prix initial.

### *3.3.1.2 Limite de la nature et de l'utilisation du renouvelable*

Un aspect qui peut être perçu à la fois comme un avantage et comme un inconvénient réside dans la structure des coûts liés aux énergies renouvelables. En effet, hormis quelques frais d'entretien ponctuels, les coûts durant la phase de production d'électricité sont très faibles, ce qui constitue un atout indéniable. Toutefois, cette caractéristique implique également que la totalité de l'investissement doit être réalisée au moment de la construction et de l'installation de l'infrastructure. Cette exigence financière initiale peut représenter un frein non négligeable pour certaines personnes souhaitant se tourner vers ce mode de production.

Ce marché a connu des périodes marquées par une forte demande, suivies de phases de baisse de confiance, ce qui a directement influencé le volume des installations. La législation en vigueur joue donc un rôle majeur, non seulement en Belgique, mais aussi dans d'autres pays européens. Monsieur Jacques souligne par ailleurs que de nombreuses subventions et aides ont été nécessaires pour soutenir ce secteur.

Il confirme également que, pour l'instant en 2025, le petit éolien, principalement destiné aux particuliers, reste très coûteux en termes de production d'électricité par rapport à l'investissement requis. En revanche, l'éolien offshore se révèle nettement plus rentable.

Un autre point essentiel à souligner concerne une caractéristique intrinsèque des énergies renouvelables : leur intermittence. En effet, ces moyens de production dépendent des conditions météorologiques pour fonctionner, ce qui n'est pas toujours garanti, surtout en Belgique. Pour illustrer cet aspect, Monsieur Jacques nous a fourni ce graphique ci-dessous présentant les facteurs de charge en Belgique, offrant ainsi une visualisation claire de cette réalité.

Le facteur de charge est en réalité un indicateur qui permet de mesurer la quantité d'électricité réellement produite par une source de production, ici sur plusieurs années, par rapport à sa capacité maximale de production si elle fonctionnait en continu à plein régime.

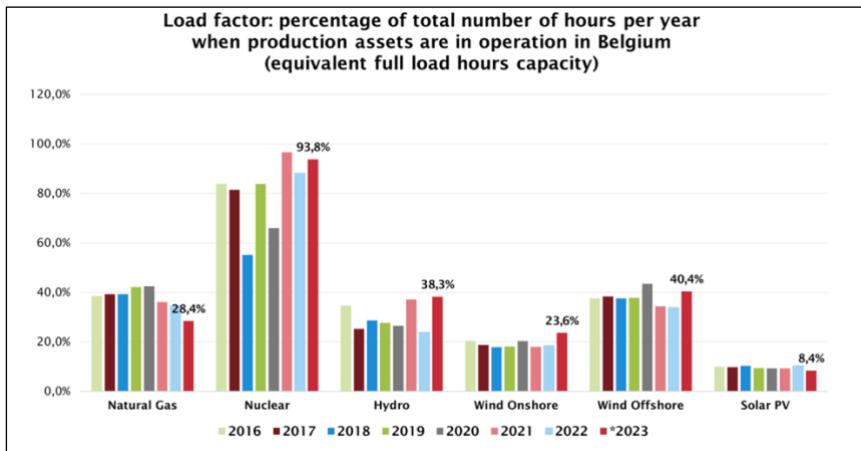


Figure 27: Load factor : percentage of total number of hours per year when production assets are in operation in Belgium - (La FEBEG, s. d. : 7)

Pour l'année 2023, on observe des facteurs de charge de 8,4 % pour le photovoltaïque et de 23,6 % pour l'éolien. À titre d'exemple, T. Jacques souligne que, compte tenu des ressources nécessaires pour faire fonctionner ces installations (câblages, transformateurs, etc.) et de ce faible facteur de charge, une certaine part de ces ressources est en réalité sous-utilisée. À l'inverse, le nucléaire présente un facteur de charge très élevé, atteignant près de 94 % en 2023, ce qui témoigne d'une production beaucoup plus stable et continue.

Ensuite, comme le souligne la revue de littérature, les panneaux solaires génèrent également des émissions de gaz à effet de serre lorsque l'on considère l'ensemble de leur cycle de vie (fabrication, transport, installation, entretien et démantèlement). Nous avons souhaité approfondir cette question afin d'obtenir des données plus concrètes. Voici ce qu'il ressort d'une étude de l'Agence Internationale de l'Énergie (IEA) :

Environmental Impacts of 1 kWh AC Electricity					
	unit	mono-Si	multi-Si	CIS	CdTe
greenhouse gas emissions *	g CO <sub>2</sub> eq	35.8	43.6	35.5	25.2
resource use, fossil fuels **	MJ	0.44	0.52	0.51	0.35
resource use, minerals and metals **	mg Sb eq	5.04	5.30	4.64	5.22
particulate matter **	10 <sup>-9</sup> disease incidences	2.87	3.97	1.34	1.04
acidification **	mmol H <sup>+</sup> eq	0.29	0.36	0.21	0.18
module efficiency	%	20.9	18.0	17.0	18.4
data	reference period	2020 - 2023	2019 - 2021	2010 / 2020	2020 - 2022

Tableau 3 : Environmental Impacts of 1 kWh AC Electricity - (Stucki et al., 2024 : 7)

En effet, cette étude a été réalisée sur quatre technologies différentes de panneaux photovoltaïques, à savoir : le silicium monocristallin (mono-Si), le silicium multicristallin (multi-Si), le cuivre-indium-gallium-sélénium (CIS/CIGS) et le tellurure de cadmium (CdTe). Ces différentes options ne seront pas détaillées dans le cadre de ce mémoire, mais il nous semblait important de présenter les résultats obtenus. On observe ainsi que, sur l'ensemble de leur cycle de vie, les émissions de gaz à effet de serre de ces technologies varient entre 25,2 gCO<sub>2</sub>eq<sup>16</sup> (CdTe) et 43,6 gCO<sub>2</sub>eq (multi-Si).

<sup>16</sup> Il s'agit d'une unité utilisée pour mesurer l'impact des gaz à effet de serre. Elle exprime la quantité en gramme de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) qui aurait un effet de réchauffement équivalent à celui des gaz émis (Eurostat, s. d.).

À titre de comparaison, toujours en considérant l'ensemble du cycle de vie, il a été estimé qu'une production de 1 kWh d'électricité d'origine nucléaire émet environ 6 gCO<sub>2</sub>eq, tandis que la même quantité d'électricité produite par des centrales à gaz, au fioul ou au charbon génère respectivement 418, 730 et 1060 gCO<sub>2</sub>eq/kWh (ECOinfos, s. d.).

### 3.3.1.3 Évaluation du niveau d'information de la population belge

Une fois ces différents éléments évoqués, nous avons analysé les résultats obtenus à l'aide du sondage concernant l'impact environnemental des énergies renouvelables. Pour ce faire, nous nous sommes appuyés sur la question 8 du questionnaire, qui posait la question suivante : « *Selon vous, les énergies renouvelables (panneaux solaires, éoliennes, etc.) sont-elles respectueuses de l'environnement lorsqu'on considère l'ensemble de leur cycle de vie (fabrication, transport, installation, entretien, démantèlement) ?* »

Sur les 401 réponses recueillies, près de 65 %, soit 260 personnes, estiment que les énergies renouvelables sont *moyennement respectueuses* de l'environnement sur l'ensemble de leur cycle de vie.

En additionnant les répondants les jugeant *très respectueuses* (16,7 %) et *totalemenr respectueuses* (2,7 %), on atteint 19,4 %, soit 78 personnes. Enfin, 15,7 % des participants considèrent ces énergies *peu* (13,2 %) ou *pas du tout respectueuses* (2,5 %) de l'environnement.

Bien que nous ne puissions pas déterminer précisément le niveau de connaissance des répondants concernant les impacts environnementaux des énergies renouvelables, cette répartition met en évidence des avis globalement partagés, voire mitigés, sur la question.

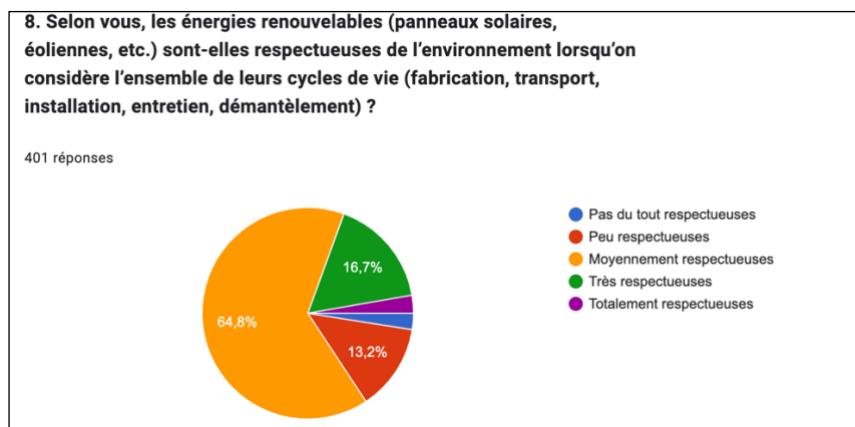


Figure 28: Les énergies renouvelables sont-elles respectueuses de l'environnement sur l'ensemble de leur cycle de vie ?

(Résultats basés sur le sondage réalisé – Google form, Léo Geraerds)

D'autres points négatifs sont également à considérer, notamment ceux évoqués dans la revue de littérature tels que les atteintes à la biodiversité, l'utilisation de matériaux critiques ou encore les risques pour la santé humaine. Cependant, nous ne disposons pas d'élément suffisant pour confirmer que l'opinion publique en est consciente. C'est pourquoi ces aspects ne seront pas développés dans cette section.

Pour conclure, il est difficile d'affirmer avec certitude que l'opinion publique belge est suffisamment informée des inconvénients potentiels liés aux énergies renouvelables. Un axe intéressant pour de futures recherches pourrait être d'approfondir le niveau de connaissance du grand public à ce sujet.

Par ailleurs, il est également important de ne pas négliger les aspects positifs que ces moyens de production d'électricité peuvent présenter ainsi que les avantages qu'ils offrent.

### 3.3.2 Hypothèse 9 : Acceptation des nuisances visuelles dans l'opinion publique

Dans cette section, nous avons interrogé les répondants du sondage afin d'évaluer dans quelle mesure la présence visuelle d'infrastructures renouvelables à proximité de leur domicile pouvait les affecter, que ce soit pour des installations individuelles ou pour des infrastructures à plus grande échelle capables d'alimenter de nombreux ménages.

Pour cela, nous leur avons posé la question suivante : « *Dans quelle mesure l'impact visuel causé par la présence d'énergies renouvelables (modifications du paysage, réverbérations, etc.) pourrait-il influencer votre décision d'investir ou non ?* ». Cette question visait à comprendre l'avis des répondants sur leur volonté d'investir personnellement en sachant que ces infrastructures seraient visibles, mais aussi, de manière indirecte, à mesurer leur acceptation face à l'implantation de projets publics visibles à proximité de leur domicile.

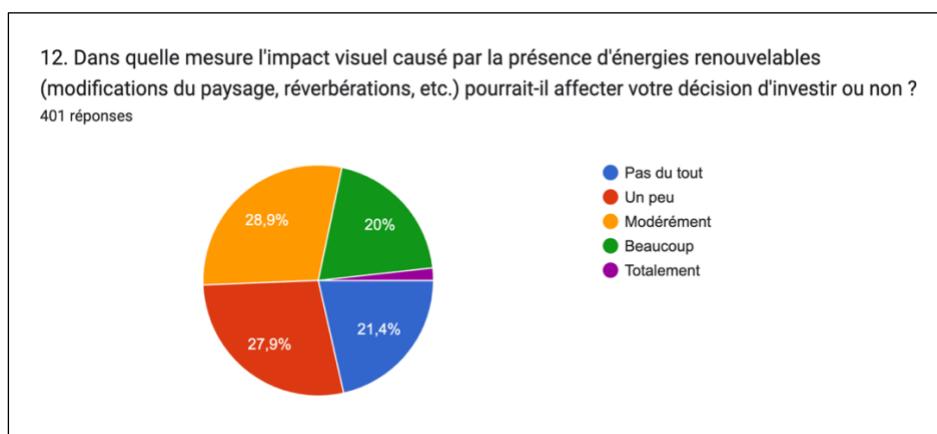


Figure 29: Impact des nuisances visuelles sur la décision d'investir

(Résultats basés sur le sondage réalisé – Google form, Léo Geraerds)

Nous ne pouvons pas dégager de tendance claire et nette à partir des résultats obtenus ci-dessus. En effet, les avis sont partagés quant à l'impact visuel de ces installations sur leur décision d'investir. Seules 7 personnes (1,7 %) estiment que cet impact affecterait « Totalement » leur décision. 80 répondants, soit 20 %, ont répondu « Beaucoup ». Près de 29 % se considèrent modérément impactés. Enfin, en combinant les personnes peu impactées, c'est-à-dire celles ayant répondu « Pas du tout » et « Un peu », nous atteignons 49,3 % (respectivement 21,4 % et 27,9 %). Pour tenter d'obtenir des éléments d'explication, nous avons mis en évidence sur Excel les réponses obtenues selon les différentes tranches d'âge des répondants. Voici ce qu'il en ressort :

Tranche d'âge	"Pas du tout"	"Un peu"	"Modérément"	"Beaucoup"	"Totalement"
18-25	16%	35%	30%	19%	0%
26-33	23%	29%	34%	12%	2%
34-41	22%	30%	31%	15%	2%
42-49	16%	24%	31%	27%	2%
50-57	26%	27%	18%	27%	2%
plus de 58	24%	24%	32%	17%	3%

Tableau 4 : Impact des nuisances visuelles par tranche d'âge

(Résultats basés sur le sondage réalisé – Excel, Léo Geraerds)

Pour une meilleure représentation et une lecture plus visuelle, il a été décidé de créer un histogramme à deux dimensions reprenant les informations ci-dessus.

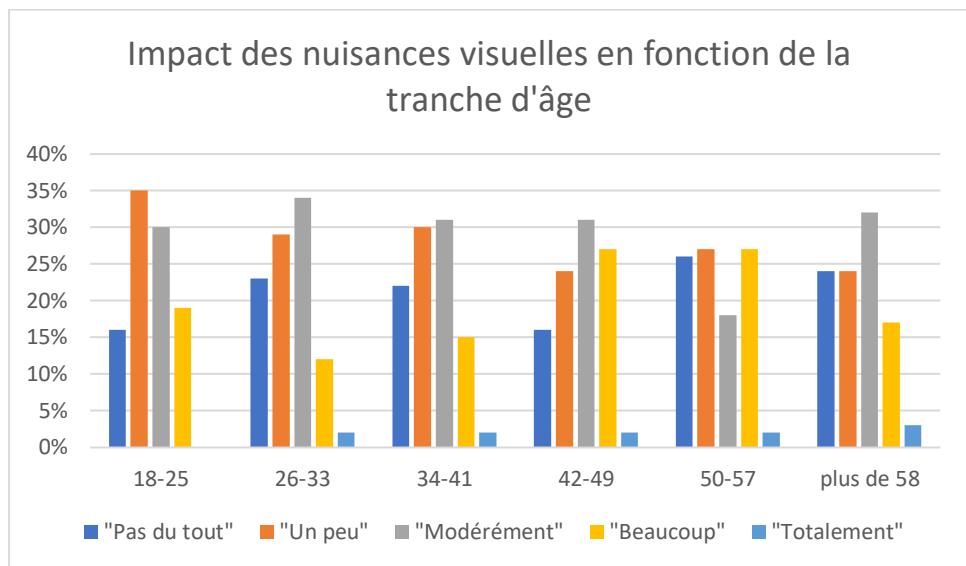


Figure 30: Impact des nuisances visuelles en fonction de la tranche d'âge

(Résultats basés sur le sondage réalisé – Google form, Léo Geraerds)

En analysant les réponses des personnes âgées de 18 à 25 ans, nous avons constaté qu'aucun répondant de cette tranche d'âge n'a choisi la réponse « Totalement ». C'est également cette catégorie d'âge qui compte le plus grand nombre de répondants se déclarant « Un peu » impactés.

Les tranches d'âge comportant le moins de réponses « Pas du tout » sont celles des 18-25 ans et des 42-49 ans, avec chacune 16 % de répondants. Bien que ces différences ne soient pas significatives par rapport aux autres catégories d'âge, il nous a semblé important de relever cet élément. En analysant les réponses « Beaucoup » et « Totalement », ce sont les personnes des tranches 42-49 ans et 50-57 ans qui semblent les plus impactées par ces nuisances visuelles, avec chacune 29 % de réponses combinées (27 % pour « Beaucoup » et 2 % pour « Totalement »).

### 3.3.2.1 Projections chiffrées d'infrastructures renouvelables en Belgique pour limiter le déficit énergétique

Dans le cadre d'une analyse approfondie de cette hypothèse, nous avons sélectionné un article qui traite de la situation actuelle et future de la Belgique (Climact, 2025). Cet article aborde les enjeux stratégiques énergétiques auxquels la Belgique devra faire face dans les années à venir. Il met notamment en avant l'augmentation prévue de la demande en électricité, qui pourrait entraîner un déficit énergétique pouvant atteindre jusqu'à 90 TWh en 2050 selon les projections. Plusieurs options sont envisagées et énumérées afin de répondre à cette demande future et d'éviter un déficit trop important.

Parmi les solutions envisagées figure notamment la prolongation des réacteurs nucléaires en fonctionnement. Nous avons pu précédemment vérifier cette hypothèse (hypothèse 1) avec la décision d'abroger la loi de 2003. Malgré cela, d'autres options sont également considérées et évoquées dans cet article. Nous ne les aborderons pas toutes dans le cadre de cette section ni de ce mémoire, mais nous avons choisi de partager celles relatives aux énergies renouvelables.

En effet, une augmentation de l'éolien offshore apparaît comme une solution envisageable et relativement rapide pour combler un potentiel déficit en électricité. Concernant le solaire et l'éolien terrestre sur notre territoire, Climact affirme que la Belgique serait en capacité d'augmenter significativement sa production électrique, à hauteur de 9 TWh avant 2036 et jusqu'à 53 TWh avant 2050. Cependant, pour atteindre ces résultats ambitieux, il serait nécessaire de quadrupler le nombre d'installations photovoltaïques et de doubler les infrastructures éoliennes terrestres.

Compte tenu des résultats obtenus dans notre sondage concernant les nuisances visuelles que peuvent représenter les infrastructures renouvelables, des interrogations subsistent quant à l'acceptation par l'opinion publique de tels projets et à la possibilité d'observer des contestations locales.

Pour conclure cette hypothèse, nous ne pouvons pas affirmer avec certitude que l'opinion publique s'opposerait systématiquement à la construction de nouvelles installations de production d'électricité renouvelable. Cependant, il est clair que ces projets ne sont pas sans impact ni conséquence, au moins à une échelle locale pour certaines personnes.

### 3.3.3 Hypothèse 10 : Engagement du secteur professionnel dans la transition énergétique

Dans cette hypothèse, nous souhaitions analyser le comportement du secteur professionnel et plus précisément celui des industries face au déploiement des énergies renouvelables en Belgique. Notre hypothèse supposait que les industries, de manière générale, s'engageaient et s'impliquaient de plus en plus dans le développement de projets et d'infrastructures liés aux énergies renouvelables.

Pour ce faire, nous avons interrogé nos deux professionnels sur le sujet. Ils nous ont conseillé d'effectuer des recherches complémentaires afin d'obtenir des informations plus précises sur la situation en Belgique, notamment sur les incitants mis en place, mais aussi sur le cas de la France, qui adopte une méthode plutôt surprenante ou du moins peu courante à nos yeux. Ces éléments seront développés dans la suite de cette section. Nous avons également profité de l'occasion pour analyser les résultats de la question n°17 de notre sondage, qui portait sur la présence d'infrastructures renouvelables sur les lieux de travail des répondants.

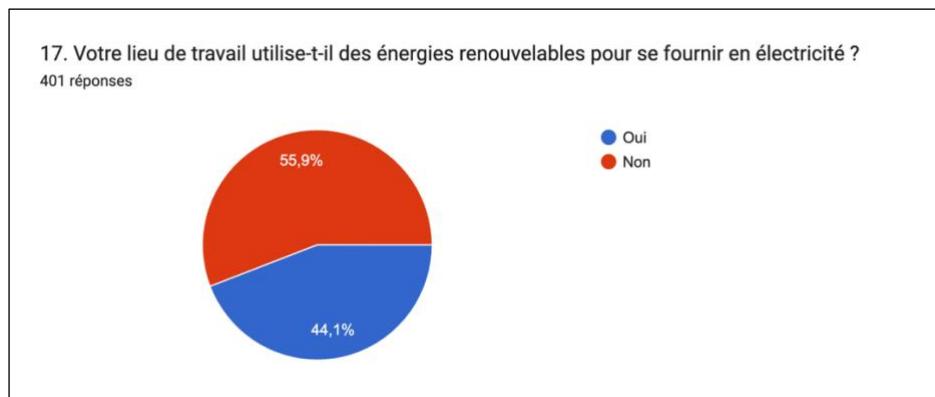


Figure 31: Présence des énergies renouvelables sur les lieux de travail

(Résultats basés sur le sondage réalisé – Google form, Léo Geraerds)

Nous pouvons néanmoins observer que près de 56 % des répondants déclarent ne pas disposer d'infrastructures renouvelables sur leur lieu de travail, tandis que 44,1 % indiquent en avoir. Il convient toutefois de préciser qu'il s'agissait d'une question obligatoire dans le cadre du sondage et qu'il est possible que certaines personnes n'exerçant pas ou n'ayant jamais exercé d'activité professionnelle aient sélectionné la réponse « Non ».

### *3.3.3.1 Analyse de la situation en Belgique*

Il est pertinent d'examiner les efforts déployés par l'industrie belge en matière de transition énergétique, car ce sujet, déjà relativement important auparavant, est devenu une priorité croissante pour de nombreux secteurs dès le début des années 2000. Pour mieux comprendre cette dynamique, nous avons analysé la situation actuelle en Wallonie en nous appuyant sur plusieurs sources (Wallonie énergie SPW, s. d.) ; (Agoria, 2024).

En 2004, soit il y a vingt et un ans, des contrats ont été instaurés sous forme de collaboration entre la Wallonie et les secteurs industriels. Ces contrats, appelés « accords de branche », consistent en un engagement volontaire des entreprises à travailler, dans un délai défini, sur leur consommation énergétique dans le but de réduire leurs émissions de carbone et d'améliorer leur efficience énergétique. Il est important de souligner que cette démarche n'est pas imposée par la réglementation, mais repose entièrement sur le volontariat. Toutefois, les autorités wallonnes ont mis en place des incitants pour encourager la participation, notamment sous forme d'avantages administratifs et financiers. Les entreprises signataires peuvent ainsi bénéficier, par exemple, d'une réduction de leur taxation verte ou d'un soutien financier pour la réalisation d'un audit énergétique.

La première génération de ces accords a été mise en œuvre entre 2004 et 2014. Elle a rassemblé 173 entreprises issues de 16 secteurs industriels différents, représentant 203 sites de production. Ce programme couvrait ainsi plus de 90 % de la consommation énergétique des industries wallonnes. Les résultats obtenus à l'issue de cette période ont été significatifs, avec une amélioration moyenne de 16,5 % de l'efficience énergétique et une réduction de 19,3 % des émissions de CO<sub>2</sub>. Forts de ces résultats, les pouvoirs publics ont décidé de prolonger l'initiative en lançant une seconde génération d'accords de branche, selon un modèle similaire, mais avec de nouveaux engagements. Parmi ceux-ci figurait notamment la possibilité d'intégrer des installations d'énergie renouvelable directement sur les sites industriels.

Ces accords poursuivent un double objectif. D'une part, ils permettent aux pouvoirs publics de suivre, vérifier et contrôler l'engagement ainsi que les efforts fournis par les entreprises wallonnes en matière énergétique. D'autre part, ils offrent aux entreprises participantes divers avantages financiers et administratifs, comme mentionné précédemment.

### *3.3.3.2 Analyse de la situation en France*

Nous avons également jugé pertinent de mettre en lumière un mécanisme actuellement en vigueur en France concernant la transition énergétique (Fedossenko, 2025). Cette approche diffère clairement de celle adoptée en Wallonie. Baptisée « loi industrie verte », cette initiative vise à faire de la France le leader européen en matière d'énergie verte, notamment par la transformation du tissu industriel à travers l'installation de dispositifs renouvelables sur les sites de production. Pour atteindre cet objectif, plusieurs mesures ont été mises en place, notamment la simplification et la réduction des démarches administratives pour les projets solaires ou éoliens. Cette loi est entrée en vigueur le 24 octobre 2024.

Les entreprises industrielles françaises doivent également faire face à deux autres lois relatives à la transition énergétique, à savoir la loi APER (Loi d'Accélération de la Production des Énergies Renouvelables) et la loi LOM (Loi d'Orientation des Mobilités). Ces législations imposent des exigences relativement strictes auxquelles les sociétés doivent désormais se conformer.

Selon la loi APER, toute entreprise disposant d'un parking d'une superficie supérieure à 1500 m<sup>2</sup> devra obligatoirement équiper au moins 50 % de cette surface d'une ombrrière équipée de panneaux photovoltaïques. À défaut, elle s'expose à une amende pouvant atteindre 40 000 euros par an à partir

de 2026. Quant à la loi LOM, les entreprises disposant de parkings d'une capacité supérieure à 20 places devront installer au minimum une borne de recharge pour véhicule électrique pour chaque tranche de 20 places.

En conclusion, nous avons pu mettre en lumière les différents mécanismes mis en place qui, malgré leurs approches variées, poursuivent un objectif commun : favoriser la transition énergétique et développer les énergies renouvelables. Il est intéressant de constater que les méthodes choisies diffèrent d'un pays à l'autre. D'un côté, la Wallonie adopte une approche basée sur la confiance, avec une participation volontaire accompagnée d'incitations pour les entreprises engagées. De l'autre, la France impose des obligations strictes assorties de sanctions financières, tout en prévoyant des récompenses qui interviennent ensuite. Globalement, il apparaît que les industries s'impliquent effectivement dans la transition énergétique. Cependant, il serait pertinent d'examiner plus en profondeur les véritables motivations de cet engagement, car il serait simpliste de supposer qu'il repose uniquement sur une conscience écologique sincère.

### 3.4 Approche pratique

#### 3.4.1 Hypothèse 4 : Difficultés rencontrées pour l'augmentation significative de la part des énergies renouvelables dans le mix énergétique belge

Dans cette section, nous nous concentrerons sur les difficultés rencontrées pour accroître la part des énergies renouvelables dans le mix énergétique belge, ainsi que sur les conséquences que cela pourrait entraîner. Pour ce faire, nous nous appuyons à la fois sur les éléments partagés par les deux professionnels interviewés et sur des recherches complémentaires, afin de disposer d'un contexte plus approfondi.

Avant d'aborder les éléments issus des interviews, il convient de mentionner une question posée dans notre sondage (question n°20), qui visait à savoir si les répondants pensent que les énergies renouvelables pourraient un jour représenter une part importante de notre mix énergétique. Voici ce qu'il en ressort :

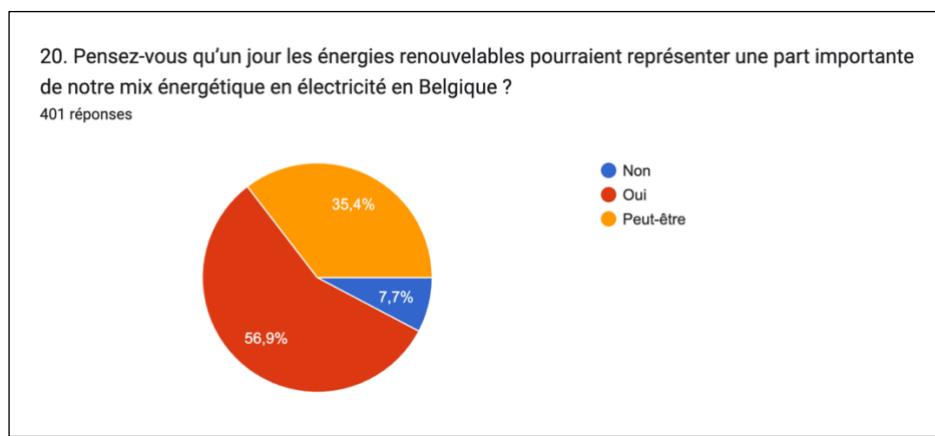


Figure 32: Opinion publique sur la probabilité d'une part significative des énergies renouvelables dans le mix énergétique

(Résultats basés sur le sondage réalisé – Google form, Léo Geraerds)

Ces résultats mettent en évidence une tendance claire : la majorité des répondants estiment que les énergies renouvelables occuperont un jour une place importante dans le mix énergétique belge. En effet, seuls 7,7 % des répondants ont répondu "Non". En cumulant les réponses "Oui" et "Peut-être", cela représente 92,3 % des participants. Il convient à présent d'analyser l'avis de nos deux professionnels sur la faisabilité de ce scénario ainsi que sur les contraintes qui y sont associées.

Tout d'abord, T. Jacques souligne un point essentiel dans le cadre de cette thèse : le développement accru des énergies renouvelables revient à décentraliser le réseau électrique. Selon lui, cette décentralisation pourrait engendrer un phénomène préoccupant. En effet, dans un système décentralisé, chacun pourrait se sentir moins responsable du bon fonctionnement global du réseau, adoptant une vision plus individualiste. Cette diminution perçue du sentiment de responsabilité collective pourrait, à terme, fragiliser la stabilité du réseau.

Pour illustrer cet argument, prenons l'exemple évoqué par Monsieur Jacques. Imaginons un scénario dans lequel un organisme est responsable d'une centrale électrique produisant un ou plusieurs GWh. Si cette centrale rencontre des problèmes d'alimentation, causant ainsi des coupures de courant dans les ménages qu'elle approvisionne, voire dans une partie du pays, la responsabilité serait clairement attribuée à cet organisme. Il serait évident que le problème doit être résolu à son niveau. En revanche, dans un système décentralisé, où de nombreuses installations renouvelables sont mises en place par des particuliers pour subvenir à leurs propres besoins, notamment en cas de panne du réseau, la perception de la responsabilité devient plus floue. Il devient alors plus difficile de déterminer qui est responsable d'un dysfonctionnement éventuel, ce qui peut nuire à la coordination et à la résilience globale du système.

Un autre obstacle potentiel, déjà évoqué dans l'analyse de l'hypothèse 9 ainsi que dans la revue de littérature, concerne l'acceptation sociale. En effet, pour que des projets d'extension des énergies renouvelables puissent voir le jour en Belgique ou dans d'autres pays, il est essentiel que la population ne s'y oppose pas, et idéalement qu'elle y soit favorable. Selon T. Jacques et P. Letawe, la population belge serait en majorité disposée à accepter et à soutenir une augmentation de la part des énergies renouvelables dans notre mix énergétique. Il convient toutefois de préciser qu'il s'agit de leur avis personnel, et que cette perception n'a pas été objectivement vérifiée par une enquête ou un sondage spécifique.

De plus, T. Jacques nous explique que, d'un point de vue technique, le réseau belge n'a pas été conçu à l'origine pour accueillir une structure adaptée au développement des énergies renouvelables, c'est-à-dire un réseau décentralisé. En effet, le réseau a été pensé initialement pour fonctionner avec de grandes centrales de production, généralement situées à distance des zones d'habitation qu'elles alimentent, dans un système où l'électricité circule dans un seul sens, des centrales vers les ménages. Lorsqu'il s'agit, à l'inverse, de réinjecter de l'électricité produite localement par les ménages vers le réseau, cela engendre des complications techniques. Pour illustrer cet argument, T. Jacques évoque les nombreux cas de décrochages observés dans certaines régions, liés à une forte concentration d'installations photovoltaïques. Lors de pics de production, ces installations peuvent entraîner une saturation du réseau. Dans de telles situations, les équipements électroniques associés aux panneaux solaires, notamment les onduleurs, se déconnectent automatiquement du réseau et cessent de produire de l'électricité. Ce phénomène peut déjà poser problème actuellement, et pourrait s'avérer encore plus critique si la part des énergies renouvelables venait à augmenter significativement dans notre mix énergétique. Toutefois, selon T. Jacques et P. Letawe, des adaptations importantes ont déjà été réalisées pour permettre l'intégration de ces infrastructures renouvelables, même s'il est probable que le réseau finira, tôt ou tard, par atteindre ses limites.

Ensuite, il convient également d'examiner la question de l'intermittence inhérente aux moyens de production renouvelables. En effet, le fait que le photovoltaïque et l'éolien dépendent des conditions climatiques pour produire efficacement de l'électricité, voire pour en produire tout court, constitue une contrainte importante qu'il est nécessaire d'aborder de manière objective. Il existe des solutions pour atténuer cet effet, notamment le stockage de l'électricité produite lorsque les conditions sont optimales. Cependant, avec les technologies actuelles, le stockage reste limité et ne permet pas encore de compenser pleinement cette intermittence. Par ailleurs, les interconnexions entre différentes

régions, voire entre pays, peuvent également représenter une piste intéressante pour pallier ce problème, mais elles nécessitent encore des études approfondies et des améliorations techniques.

Enfin, la dernière contrainte relevée lors de notre échange avec T. Jacques concerne la surface nécessaire pour remplacer une ou plusieurs centrales nucléaires par des panneaux solaires. Malgré l'amélioration des rendements en termes d'efficacité de production d'électricité par rapport à la densité de panneaux installés, il faudrait une quantité considérable de panneaux et donc une surface très importante. Cela dit, T. Jacques ne se montre pas inquiet à ce sujet. Il est même convaincu qu'il reste encore de nombreux toits en zones urbaines inutilisés ainsi que de grandes toitures industrielles qui pourraient constituer des solutions adaptées.

Pour conclure, plusieurs défis demeurent, tels que la décentralisation, l'intermittence, les surfaces nécessaires ainsi que la structure même du réseau électrique, et il conviendrait de les prendre en compte si la part des énergies renouvelables devait être augmentée dans notre mix énergétique. Pour relever ces challenges, certaines solutions potentielles ont été évoquées dans les paragraphes précédents, mais des interrogations subsistent encore concernant certains aspects.

## 4. Discussion

### 4.1 Contexte et délimitation de la recherche

Pour replacer cette recherche dans son contexte, il est pertinent de reformuler la question de départ qui a guidé cette thèse. L'objectif était d'analyser, dans le cadre spécifique de la Belgique, si les énergies renouvelables pouvaient représenter une alternative viable pour assurer un approvisionnement électrique suffisant dans l'hypothèse d'une réduction, voire d'un abandon total, de la production nucléaire actuelle. Il s'agissait également d'évaluer les éventuels risques que cette transition pourrait entraîner pour la société, et de les identifier le cas échéant. Cette analyse s'est faite en tenant compte à la fois des réalités de terrain et du contexte européen.

Nous avons pleinement conscience que se limiter au cas belge ne permet pas d'appréhender la problématique dans sa globalité. En effet, le marché de l'électricité fonctionne aujourd'hui à l'échelle européenne, avec des interconnexions physiques entre pays et des échanges contractuels entre États membres. Toutefois, dans le cadre de ce travail, il n'était pas envisageable d'étudier en profondeur l'ensemble des variables propres à chaque pays. C'est pourquoi le choix s'est porté sur une analyse centrée sur la Belgique, autrement dit sur la dimension nationale.

Enfin, un autre parti pris a été de se projeter dans un avenir proche ou à moyen terme. Cette approche se justifie principalement par un accès garanti aux données disponibles et une plus grande fiabilité des informations, puisqu'il est difficile de prédire avec précision les évolutions à long terme de notre société.

Tout au long de ce travail de recherche, nous avons tenté de rassembler des informations pertinentes ainsi que des éléments de réponse afin de pouvoir les synthétiser et les intégrer dans ce document, dans le but d'alimenter une discussion constructive sur ce sujet. Il s'agit d'une question qui concerne directement notre avenir. Cependant, comme mentionné précédemment, la Belgique ne dispose pas du pouvoir décisionnel suffisant pour transformer à elle seule l'ensemble du marché de l'électricité.

De plus, il ne serait ni réaliste ni objectif de prétendre qu'une seule thèse pourrait apporter une solution immédiate capable de répondre à toutes les interrogations que soulève ce sujet. Ce travail conserve néanmoins tout son sens, car il permet de mieux comprendre la situation actuelle en l'envisageant sous plusieurs angles.

Nous avons décidé d'organiser ce chapitre en trois sections majeures. Premièrement, nous abordons les incitants aux énergies renouvelables, ainsi que les potentiels avantages d'une utilisation plus conséquente de celles-ci dans notre mix énergétique. Ensuite, nous analysons les limites et inconvénients relevés. Enfin, nous présentons un cas concret d'un pays voisin (Allemagne) ayant procédé à des changements similaires dans son mix énergétique, ce qui nous permet d'établir des analogies pertinentes.

### 4.2 Incitants à la transition vers davantage de renouvelable

#### 4.2.1 Risques limités et bénéfices environnementaux

Premièrement, comme l'a souligné l'U.S. Department of ENERGY (2015) dans notre revue de littérature, il est important de rappeler que les énergies renouvelables que nous avons choisi d'examiner, à savoir le photovoltaïque et l'éolien, présentent un avantage majeur lié aux ressources nécessaires pour leur production. En effet, celles-ci, qui sont respectivement le soleil et le vent, sont

inépuisables et surtout gratuites. Cet atout est particulièrement significatif dans un contexte global en 2025 où le monde cherche principalement à trouver des solutions permettant de consommer le minimum de ressources possibles, et ainsi réaliser des économies sur celles-ci.

De plus, dans un contexte européen où des efforts sont mis en place pour limiter les émissions de CO<sub>2</sub> et, plus largement, les gaz à effet de serre afin de respecter les objectifs fixés en matière d'environnement (Saidi & Omri, 2020) et de freiner le réchauffement climatique (Rej et al., 2024), il est pertinent de rappeler que ces sources d'électricité ne génèrent pas d'émissions de CO<sub>2</sub> lors de la phase de production d'électricité proprement dite. Toutefois, il convient de garder un esprit critique et de rappeler, comme cela a déjà été mentionné dans la revue de littérature, que sur l'ensemble de leur cycle de vie, de la production au démantèlement, elles engendrent tout de même des émissions de CO<sub>2</sub>. Néanmoins, elles restent des sources de production d'électricité à faibles émissions. Il faut également souligner que leur utilisation en remplacement de sources d'origine fossile permet de réduire considérablement les émissions de CO<sub>2</sub> et contribue ainsi positivement à la protection de l'environnement.

Enfin, en procédant à une comparaison avec le nucléaire, comme nous l'avons relevé dans la revue de littérature, les dernières décennies ont malheureusement été marquées par de graves incidents nucléaires, aux conséquences lourdes et durables, tant pour l'environnement que sur les décisions politiques et énergétiques qui ont suivi. En effet, bien que les tragiques événements survenus à Fukushima, Tchernobyl et Three Mile Island aient servi de leçons et d'exemples pour l'avenir, ils ont démontré au monde entier que le nucléaire comporte un risque non négligeable d'incidents à grande échelle. En comparaison, les énergies renouvelables retenues dans cette étude présentent des risques d'incidents beaucoup plus limités, voire très faibles, dans leur utilisation quotidienne. Cela constitue un atout supplémentaire, même s'il convient de rester attentif à leurs impacts sur l'environnement et la biodiversité, des aspects déjà développés dans la revue de littérature.

#### 4.2.2 Renforcement de l'adhésion croissante de l'opinion publique

Nous pouvons également souligner que les énergies renouvelables bénéficient d'une acceptation relativement forte de l'opinion publique belge, et ce de manière croissante. Cette tendance a pu être observée à partir des hypothèses formulées, notamment l'hypothèse 7, où les graphiques montrent l'évolution des capacités installées en Belgique à la fin de chaque année, tant pour le photovoltaïque que pour l'éolien. Cette observation est particulièrement significative, car l'acceptation de l'opinion publique peut jouer un rôle déterminant dans la prise de décision de politique énergétique d'un pays et dans la construction de son avenir énergétique. En effet, même si les autorités belges décidaient d'accroître considérablement la part des énergies renouvelables dans la production d'électricité et donc dans le mix énergétique, cette évolution ne pourrait se concrétiser sans le soutien des citoyens, qui devraient également s'investir à leur échelle dans cette transition.

La transition vers davantage de renouvelable renforcerait davantage cette adhésion déjà croissante de l'opinion publique.

#### 4.2.3 Progrès technologiques et montée en compétences à l'échelle mondiale

D'un point de vue mondial, des progrès conséquents et de grandes avancées technologiques sont observables dans le domaine des énergies renouvelables, année après année. En effet, le nombre d'infrastructures croît de manière impressionnante dans de nombreuses nations, et ce, à travers les différents continents. Ce développement est un point positif, car la multiplication des installations implique indirectement une augmentation du nombre d'installateurs et de responsables techniques, ainsi qu'un renforcement de leur expérience. Nous pouvons donc en déduire que ces sources de

production d'électricité, encore relativement récentes, tendent à devenir de plus en plus maîtrisées et ajustables en cas de problème. Il convient toutefois de garder un esprit critique sur ce point, car tout n'est pas encore mesurable avec précision. Nous reviendrons sur cet aspect dans la suite de ce chapitre.

#### 4.2.4 Potentiel territorial et ambitions de la Belgique

Si l'on se concentre désormais davantage sur la situation territoriale de la Belgique, il apparaît clairement, comme examiné dans le chapitre des résultats, que de nombreux projets d'expansion ou de création de nouvelles infrastructures renouvelables sont envisagés. La proximité de la mer du Nord offre en effet de nombreuses opportunités, notamment pour l'éolien offshore. Ce mode de production est déjà opérationnel, mais plusieurs projets futurs sont en cours de négociation et de réalisation. Ce sujet a été traité en détails dans l'hypothèse 8 du chapitre des résultats, où il est clair que les ambitions visant à faire de la mer du Nord la plus grande centrale électrique durable d'Europe sont bien réelles. Par ailleurs, des interconnexions existent déjà avec des pays comme le Danemark, l'Allemagne, le Royaume-Uni ou encore les Pays-Bas, ce qui pourrait renforcer et faciliter le développement de cette infrastructure. Toutefois, la mer du Nord n'est pas la seule option envisageable si le nombre d'installations devait considérablement augmenter. Il serait également nécessaire de trouver des espaces libres et disponibles pour accueillir de nouvelles sources d'électricité renouvelable. À ce propos, T. Jacques nous a confié lors de notre interview qu'il reste dans les zones urbaines de nombreux espaces pouvant être exploités, notamment les toitures des habitations ou des grandes usines. Néanmoins, il convient de souligner que ces projets doivent être longuement étudiés et discutés avant de pouvoir aboutir, car ils impliquent des budgets considérables ainsi que des engagements importants.

#### 4.2.5 Réduction de la dépendance énergétique et diminution des importations

L'utilisation des énergies renouvelables permet également de réduire la consommation ainsi que les besoins en combustibles fossiles, ce qui constitue un avantage important. Même si la production d'électricité à base de gaz reste encore présente dans notre mix énergétique (Nucleair Forum, 2025), la part des énergies fossiles a diminué grâce à des politiques visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre en Belgique. Au-delà de la réduction des émissions de ces gaz (Saidi & Omri, 2020), cela a aussi permis à la Belgique de mettre fin aux activités liées à l'extraction du charbon, autrefois nécessaires pour alimenter certaines centrales. En effet, ces activités contribuaient non seulement à de fortes émissions de gaz à effet de serre, mais elles représentaient également un risque important pour la santé des travailleurs concernés. Par ailleurs, la Belgique ne disposant pas de gisements de gaz naturel, elle doit l'importer, ce qui engendre non seulement un coût financier non négligeable, mais aussi une dépendance et une vulnérabilité aux prix internationaux fixés par les pays fournisseurs, principalement les Pays-Bas, la Norvège, le Qatar, mais aussi la Russie et la Grande-Bretagne (CREG, s. d.).

La conclusion à tirer de cette sous-section est que les énergies renouvelables pourraient constituer une solution intéressante pour réduire les importations de gaz, contribuant ainsi à diminuer la dépendance et la vulnérabilité de la Belgique face aux fluctuations des marchés internationaux. Elles permettraient également de s'impliquer plus activement dans les politiques visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre liées à l'utilisation des énergies fossiles.

#### 4.2.6 Défis de la relance d'infrastructures nucléaires nouvelles et opportunités du renouvelable à petite et grande échelle

Un autre élément présenté dans le chapitre des résultats concerne la situation du nucléaire en Belgique. Au moment de la rédaction de cette thèse, des prolongations pour l'utilisation du nucléaire ont été annoncées et la construction de nouvelles centrales a également été évoquée. Cependant, il convient de souligner que l'implantation de nouvelles centrales nucléaires reste pour l'instant très compliquée, car la Belgique ne dispose pas des capacités pour les construire seule et a dû recourir à l'aide de la France et des États-Unis pour les précédentes constructions. Par ailleurs, comme indiqué dans l'hypothèse 2, la France est actuellement en train de construire une centrale nucléaire à Flamanville, dans le nord du pays, mais fait face à de nombreuses difficultés qui ont entraîné des augmentations importantes des coûts et des délais, ce qui suscite des inquiétudes quant à la capacité de mener ce projet à son terme (Breteau, 2024).

Cependant, face aux difficultés techniques, financières et logistiques rencontrées dans la construction de nouvelles centrales nucléaires, le développement des énergies renouvelables apparaît comme une alternative plus accessible et autonome pour la Belgique. En effet, la construction d'infrastructures renouvelables peut se faire à petite comme à grande échelle, sans nécessiter l'aide de pays voisins ou d'autres nations, ce qui constitue un point positif à relever et analyser.

### 4.3 Limites et inconvénients à la transition vers davantage de renouvelable

#### 4.3.1 Vulnérabilité et risques liés à la dépendance aux équipements renouvelables

Dans la revue de littérature, il a été souligné que pour réduire la dépendance énergétique d'une nation envers d'autres pays, deux solutions principales existent : développer la production nationale d'énergies renouvelables ou, au contraire, ne pas chercher à stopper totalement les importations, mais plutôt les diversifier et les gérer de manière intelligente afin de limiter la vulnérabilité en cas de perturbations dans l'approvisionnement. Puisque cette étude analyse l'impact d'une utilisation accrue des énergies renouvelables en Belgique, c'est la deuxième solution qui sera abordée ici, en particulier les risques associés. Un point important concerne le lien étroit avec la Chine pour la fabrication et l'importation des panneaux photovoltaïques. Ces panneaux ne sont presque plus produits en Europe, la Chine disposant d'un quasi-monopole sur ce marché grâce à un avantage concurrentiel important. Ainsi, si la Belgique souhaite développer ses infrastructures renouvelables, elle devra majoritairement s'approvisionner auprès de la Chine. Cette situation pose un premier risque, car la dépendance envers une seule nation pourrait rendre la Belgique vulnérable en cas de difficultés d'approvisionnement de cette dernière. Par ailleurs, il existe des doutes quant au contrôle possible à distance des panneaux photovoltaïques chinois, ce qui suggère qu'il serait potentiellement envisageable pour les fabricants de bloquer ou d'éteindre ces installations à distance. Ce scénario serait particulièrement préoccupant dans le contexte géopolitique actuel marqué par de nombreux conflits, car l'électricité joue un rôle crucial dans notre société. Mais également simplement pour garantir un approvisionnement fiable en électricité, si la Belgique décide d'augmenter la part des énergies renouvelables dans son mix énergétique, il est essentiel de pouvoir avoir pleinement confiance en ce mode de production.

Enfin, la fabrication des éoliennes et panneaux photovoltaïques dépend de matériaux critiques, dont l'approvisionnement pourrait générer des tensions internationales et nuire aux relations diplomatiques.

#### 4.3.2 Défis financiers et techniques liés à l'adaptation du réseau électrique belge

Pour envisager une utilisation beaucoup plus importante des énergies renouvelables, notamment les panneaux photovoltaïques et les éoliennes, un investissement massif dans le réseau électrique et les infrastructures de câblage en Belgique est indispensable. En effet, comme présenté dans l'hypothèse 4 du chapitre des résultats, le réseau actuel a été conçu selon un modèle centralisé, c'est-à-dire alimenté par de grandes centrales situées généralement en périphérie des zones urbaines, qui redistribuent ensuite l'électricité vers les habitations via des câbles. Dans ce système, le courant circule donc principalement des centrales vers les consommateurs.

Cependant, pour intégrer les énergies renouvelables, notamment les panneaux solaires, le réseau devrait être décentralisé afin que les excédents de production des ménages puissent être réinjectés dans le réseau, ce qui implique une circulation du courant dans le sens inverse. Cela entraîne des complications : lors des pics de production, certaines zones où les panneaux sont très nombreux peuvent voir leur réseau saturé, provoquant des décrochages. Ces décrochages correspondent à une mise en sécurité automatique des panneaux, qui se déconnectent et cessent temporairement leur production jusqu'à réactivation.

Bien que la situation s'améliore d'année en année, des investissements importants restent nécessaires pour préparer le réseau à ce nouveau fonctionnement. Or, la situation budgétaire belge en 2025 est particulièrement préoccupante et doit être suivie de près. L'accord de coalition fédérale 2025-2029 indique même que, sans changement, la Belgique pourrait connaître le déficit budgétaire le plus élevé d'Europe dans les années à venir (Gouvernement Bart De Wever, 2025). Afin d'apporter plus de précision, pour respecter les règles européennes, la Belgique devrait réaliser des économies d'environ 27 milliards d'euros sur 7 ans (Czupryk, 2024).

#### 4.3.3 Nécessité d'une adaptation des comportements face aux enjeux de la consommation électrique : la sobriété

Il est maintenant important d'aborder un aspect essentiel qui concerne toute la population belge : la nécessité de changer nos habitudes de consommation. En effet, les pics de production des panneaux photovoltaïques ont lieu principalement autour de midi et en début d'après-midi, alors que nos pics de consommation se situent plutôt en début et en fin de journée, comme l'a souligné T. Jacques. De plus, les moyens de stockage de l'électricité produite par les renouvelables restent encore limités. Cela implique que des efforts collectifs seront nécessaires, notamment un ajustement des comportements quotidiens. Par ailleurs, il faudra aussi que chaque Belge s'engage à réduire sa consommation d'électricité de manière générale. Cette réduction est possible, comme l'a montré la baisse de consommation observée pendant le conflit en Ukraine, due en partie à la forte hausse des prix de l'énergie en Belgique. Cependant, cela nécessite un soutien financier et une coordination entre les pays interconnectés au réseau électrique, car même si un effort strictement national était déjà un début encourageant, cela ne suffirait pas. Dans un second temps, une action à l'échelle européenne sera indispensable pour obtenir des résultats significatifs.

#### 4.3.4 Intermittence et climat

Dans la continuité du sujet précédent, il est essentiel d'aborder l'intermittence des moyens de production d'électricité tels que l'éolien et le solaire. En effet, il est certain que nous ne pourrons pas modifier les conditions climatiques auxquelles nous sommes confrontés. C'est pourquoi il est nécessaire de s'interroger sur la suffisance de l'ensoleillement et du vent pour intégrer ces sources d'énergie de manière significative dans le mix énergétique. Par ailleurs, il convient également de réfléchir aux alternatives ou aux moyens de production complémentaires qui pourraient compenser

les périodes où les panneaux solaires ou les éoliennes ne peuvent pas fonctionner en raison d'un manque de soleil ou de vent.

#### 4.3.5 Performance énergétique des renouvelables vs nucléaire : un défi de taille

De plus, l'analyse de l'hypothèse 3 dans le chapitre des résultats nous a permis d'approfondir ces éléments. Il est important de souligner que les rendements énergétiques, exprimés en facteur de charge, des installations éoliennes et photovoltaïques sont respectivement d'environ 23,6 % et 8,4 %, tandis que celui du nucléaire avoisine les 95 %. Ces chiffres révèlent que les sources renouvelables sont actuellement beaucoup moins performantes que le nucléaire, ce qui s'explique principalement par leur intermittence. Même si les technologies associées progressent continuellement, il reste difficile d'envisager un mix énergétique où une grande part de la production repose sur des sources affichant de tels facteurs de charge.

#### 4.3.6 Contraintes d'implantations et de délais pour les nouvelles installations renouvelables

Le fait qu'il faille déployer un grand nombre de panneaux solaires et d'éoliennes pour que ces sources représentent une part significative du mix énergétique a déjà été abordé dans le chapitre des résultats ainsi que dans les points positifs. Cependant, il est essentiel de rester critique et réaliste : rien ne pourra se faire sans l'acceptation des habitants pour l'implantation de nouvelles infrastructures. T. Jacques se montrait plutôt optimiste à ce sujet, mais il s'agit d'un défi important, car trouver des emplacements adaptés prendra du temps, sans parler des permis d'urbanismes, ainsi que la mise en service effective de ces installations. Étant donné que la transition énergétique est prévue dans un horizon proche, il est légitime de se demander si la Belgique sera en mesure d'équiper toutes ces zones en sources renouvelables dans les délais impartis, afin de répondre aux exigences européennes.

#### 4.3.7 Impacts environnementaux et sanitaires

Enfin, il est important de rappeler que, bien que le photovoltaïque et l'éolien émettent peu de gaz à effet de serre durant leur fonctionnement, il faut prendre en compte les émissions en équivalent CO<sub>2</sub> sur l'ensemble de leur cycle de vie, comme cela a été présenté plus en détails dans le chapitre des résultats. Par ailleurs, ces technologies peuvent avoir un impact sur le sol, notamment sur son efficacité après la construction des infrastructures. Elles peuvent aussi affecter la faune et la flore, en obligeant certaines espèces à se délocaliser ou en blessant directement des animaux, par exemple des oiseaux, à cause des rotations des pales des éoliennes. Lors du démantèlement des panneaux solaires ou des fermes solaires, des matériaux toxiques peuvent être libérés, ce qui peut causer des dommages, voire des maladies respiratoires chez les personnes exposées. Ces risques pourraient être plus fréquents qu'on ne le pense, puisque la durée de vie moyenne des panneaux solaires et des éoliennes est actuellement d'environ 25 ans.

### 4.4 Cas concrets d'analyse : l'Allemagne

#### 4.4.1 Introduction

Nous avons choisi d'analyser la situation énergétique actuelle ainsi que les transitions qui se sont opérées ces dernières années en Allemagne, car ce pays offre un exemple particulièrement pertinent pour enrichir notre réflexion sur la Belgique. Pour cela, nous avons mené des recherches complémentaires afin d'obtenir la vision la plus globale et objective possible de la réalité sur le terrain.

#### 4.4.2 Description de la situation en Allemagne

Tout comme en Belgique au début des années 2000, et plus précisément en 2002, l'Allemagne avait acté la sortie du nucléaire via un accord entre les exploitants et le gouvernement. Cet accord fixait la durée d'exploitation des centrales à 32 ans et interdisait la construction de nouvelles installations. Cependant, en 2010, face aux défis de la transition énergétique et aux objectifs climatiques fixés pour 2050, cette décision a été réévaluée, conduisant à une prolongation de l'utilisation du nucléaire. Néanmoins, l'incident de Fukushima en 2011 a profondément bouleversé la situation, accélérant la décision d'une sortie nucléaire planifiée pour 2022, marquant un tournant majeur dans la politique énergétique allemande.

Selon les hypothèses et études allemandes, cette sortie du nucléaire reposait sur deux conditions : une diminution de la consommation électrique d'environ 10 % et des prix relativement abordables pour le gaz russe. Malgré ces incertitudes, l'Allemagne a choisi de maintenir le cap vers la sortie nucléaire.

Toutefois, les événements ne se sont pas déroulés comme prévu : la consommation d'électricité a augmenté notamment du à l'essor économique dans plusieurs secteurs, et le conflit en Ukraine a provoqué une flambée des prix du gaz affectant également l'Allemagne.

Par ailleurs, les exploitants ont la charge du démantèlement de 23 centrales nucléaires et de la gestion des déchets, ce qui représentent des opérations très coûteuses et complexes dont la durée a été estimée se prolonger jusqu'en 2047 (Allemagne Energies, 2018).

En parallèle de cette situation, et dans un souci de limitation des émissions de gaz à effet de serre afin de contribuer aux objectifs européens, l'Allemagne a décidé d'investir massivement dans les énergies renouvelables tout en réduisant au maximum sa dépendance aux énergies fossiles. Des centaines de milliards d'euros ont ainsi été consacrés au développement des panneaux photovoltaïques, des éoliennes, à la modernisation des réseaux électriques, mais aussi à la gestion de la sortie du nucléaire (Lauer, 2024).

Pour illustrer cette situation par des données concrètes, voici un aperçu du mix énergétique allemand en 2024.

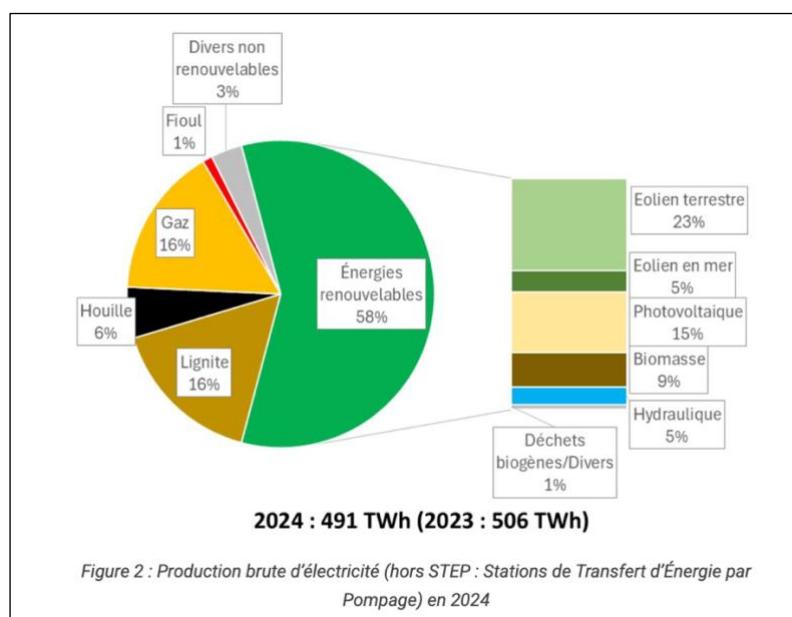


Figure 33: Production brute d'électricité en Allemagne en 2024 - (Lauer, 2025 : 8)

Nous pouvons donc constater que le nucléaire ne fait désormais plus partie du mix énergétique allemand, tandis que les énergies renouvelables représentent en 2024, 58 % de la production d'électricité, principalement grâce à l'éolien et au photovoltaïque. Cependant, il est important de souligner que le gaz naturel contribue toujours pour 16 % à ce mix, et que la houille<sup>17</sup> ainsi que le lignite restent également présents.

En ce qui concerne les émissions de gaz à effet de serre, l'Allemagne demeure le pays de l'Union européenne qui en émet le plus, situation qui était toujours d'actualité en 2023, comme l'illustre le graphique suivant.

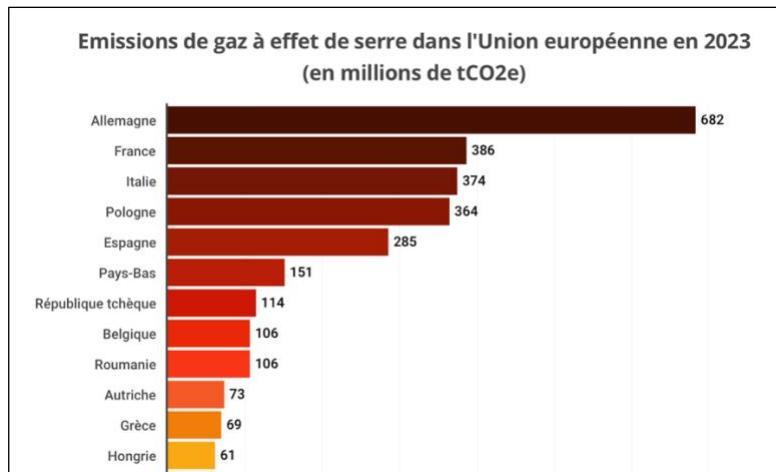


Figure 34: Émissions de gaz à effet de serre dans l'UE en 2023 - (Olivier, 2024 : 3)

Cette situation s'explique en partie par l'utilisation continue du charbon dans la production électrique. En effet, cet état de faits a certainement incité le gouvernement à réagir rapidement et à mobiliser des moyens importants afin d'améliorer la situation énergétique du pays et, surtout, de respecter ses engagements européens.

#### 4.4.3 Analyse des résultats de la politique énergétique allemande

Concernant la sortie du nucléaire, plusieurs études montrent qu'environ 600 milliards d'euros auraient pu être économisés par l'Allemagne si le parc nucléaire avait été maintenu, tout en atteignant les mêmes réductions d'émissions de CO<sub>2</sub> (Lauer, 2024).

Un autre résultat marquant indique que si des investissements avaient été faits dans de nouvelles centrales nucléaires, les dépenses totales auraient pu être divisées par deux, avec en plus une réduction des émissions de gaz à effet de serre de 73 % par rapport à la situation actuelle.

Certaines décisions prises semblent même contradictoires par rapport aux pratiques précédentes. Depuis 2005, dans le secteur industriel, les grandes entreprises consommant plus de 7 000 heures d'électricité en continu pouvaient bénéficier de réductions tarifaires pour l'utilisation du réseau électrique. Aujourd'hui, la tendance s'inverse : ces entreprises sont encouragées à devenir très flexibles, en adaptant leur production à la disponibilité quotidienne de l'électricité solaire et éolienne. Celles qui réduisent leur production lors des jours où le renouvelable est faible sont récompensées, tandis que celles qui produisent davantage à ces moments sont pénalisées. Cette nouvelle politique est perçue par l'industrie allemande comme un « signal dévastateur », car elle limite leur capacité à produire quand elles le souhaitent, ou les constraint à des coûts très élevés (Lauer, 2025).

<sup>17</sup> Roche carbonée sédimentaire pouvant jouer le rôle de combustible (Société Chimique de France, s. d.)

Deux grandes contraintes pèsent sur le développement des énergies renouvelables en Allemagne. La première, que nous avons analysée en profondeur dans cette thèse, concerne l'intermittence et donc la variabilité de la production d'électricité solaire et éolienne. Il est donc nécessaire de disposer d'autres sources pour compenser les périodes où la production renouvelable est insuffisante. Malheureusement, le nucléaire n'étant plus exploitable et la biomasse peu développée dans le pays, l'hydraulique reste très limitée. Il existe donc peu d'autres énergies pilotables en Allemagne. C'est essentiellement le gaz et le charbon qui remplacent le renouvelable quand il n'est pas disponible, ce qui pose problème puisque, comme nous l'avons vu dans la revue de littérature, dans toute l'Union européenne, le prix de l'électricité dépend du coût de l'unité de production la plus chère utilisée.

La deuxième contrainte majeure réside dans la répartition géographique des installations. La majorité des éoliennes est installée au nord du pays, là où le vent est plus favorable, alors que la plupart des industries se trouvent au sud. Ce déséquilibre nécessite de transporter l'électricité produite vers le sud, ce qui implique d'importants travaux sur les réseaux électriques. Cependant, la population locale s'oppose souvent à l'installation de nouvelles grandes tranchées électriques ou de pylônes à proximité de leurs habitations, ce qui entraîne des retards importants et des surcoûts conséquents. Pour donner un ordre de grandeur, en dix ans, seulement 20 % des travaux prévus avaient été réalisés.

La hausse des factures d'électricité a un impact négatif sur la compétitivité industrielle allemande en général. En effet, certains industriels rencontrent désormais des difficultés accrues pour régler leurs factures d'électricité, ce qui conduit parfois à des licenciements, voire même à la fermeture d'entreprises (Atlantico, 2024).

Il convient également de souligner que cette situation concerne uniquement le marché de l'électricité, qui ne représente que 21 % de la consommation totale d'énergie en Allemagne (Carleone, 2022). Il faudrait donc considérer l'énergie dans toutes ses composantes afin d'obtenir des résultats significatifs.

#### 4.4.5 Futurs objectifs

Un objectif clairement exprimé pour l'avenir est de poursuivre le développement des énergies renouvelables sur le territoire allemand afin d'atteindre au moins 80 % d'électricité produite à partir de sources renouvelables d'ici 2030, et de se rapprocher des 100 % pour 2035 (Lauer, 2025).

De plus, l'Allemagne vise à cesser totalement l'utilisation du charbon d'ici 2030 (Livet, 2023).

Enfin, le pays souhaite améliorer considérablement le stockage des surplus de production issus des énergies renouvelables, afin de mieux gérer les pics de production (Carleone, 2022).

#### 4.4.6 Belgique et Allemagne : points communs et divergences dans la transition énergétique

Nous concluons ce chapitre de discussion en soulignant quelques similitudes et différences entre la situation actuelle en Belgique et celle observée en Allemagne.

Tout d'abord, il est évident que la Belgique reste encore dans une phase de réflexion quant à son avenir énergétique, tandis que l'Allemagne est déjà pleinement engagée dans sa transition et se trouve plutôt dans une phase d'analyse des résultats obtenus et d'adaptation.

Par ailleurs, une différence majeure réside dans le fait que l'Allemagne a totalement cessé l'utilisation du nucléaire, contrairement à la Belgique qui peut encore compter sur cette source de production lorsque les énergies renouvelables ne suffisent pas.

En ce qui concerne les similitudes, on observe que l'éolien représente une part très importante des énergies renouvelables utilisées en Allemagne. Cette situation pourrait également se reproduire en Belgique, compte tenu de sa position géographique, notamment sa proximité avec la mer du Nord, ainsi que de ses conditions météorologiques actuelles.

Enfin, il est clair que toute personne, qu'elle soit citoyen ou professionnel, qui s'appuie sur l'éolien et le solaire pour alimenter son réseau électrique devra s'adapter à la nature intermittente de ces sources. Nous avions évoqué la nécessité de changements d'habitudes pour les Belges, et le cas des industriels allemands illustre concrètement cette réalité, avec une adaptation obligatoire de leur production à la disponibilité du renouvelable, sous peine de sanctions financières.

## 5. Conclusion

Après avoir analysé en détails la situation énergétique en Belgique et étudié les points positifs ainsi que les inconvénients que peuvent présenter les énergies renouvelables sélectionnées, il est désormais temps de conclure cette thèse en rapportant les éléments de réponses obtenus pour la question de recherche suivante : « *Comment les belges pourraient-ils répondre à leur demande en électricité, en tenant compte des réalités de terrain, du contexte européen et géopolitique, face à une éventuelle réduction ou un arrêt progressif de la production d'électricité nucléaire belge ?* »

Nous rappelons qu'un élément crucial de notre réflexion, a été l'adaptation nécessaire de notre recherche à la suite de l'abrogation de la loi de 2003, qui implique la prolongation de l'utilisation du nucléaire désormais officielle pour la Belgique. Cette décision nous impose finalement un changement de réflexion. Nous nous sommes éloignés du remplacement du nucléaire par une source alternative et avons concentré nos efforts à l'analyse d'une solution complémentaire venant s'associer à cette dernière dans notre bouquet électrique. Ainsi, notre évaluation des énergies renouvelables ne s'est plus faite dans un but de substitution mais plutôt de complément à notre mix actuel.

Tant à travers les interviews, le sondage que l'analyse de la situation d'un pays voisin ayant déjà investi massivement dans ces énergies renouvelables, nous avons recueilli des éléments de réponses. Ceux-ci ne permettront bien évidemment pas de résoudre directement toutes les difficultés liées à l'approvisionnement et à la sécurité de l'électricité belge. Néanmoins, ils nous offrent la possibilité de prendre du recul sur cette situation afin d'en comprendre les enjeux et les implications. Cette tentative de distanciation permet de proposer une solution modérée pour de potentiels futurs changements du mix énergétique belge.

Pour conclure, il n'est pas possible d'affirmer avec certitude qu'augmenter considérablement la part de production renouvelable constitue une solution directe pour répondre à la demande en électricité des belges. Toutefois, en restant concentrés sur le court et le moyen terme, nous pouvons affirmer que cet éventuel passage à une proportion significative d'électricité issue des énergies renouvelables dans notre mix pourrait présenter un supplément efficace aux côtés du nucléaire.

Il nous semble pertinent de synthétiser une dernière fois de manière non exhaustive les avantages et les inconvénients de ces dernières. Pour les rappeler brièvement et de manière synthétique, nous pouvons citer, parmi les points positifs, leur impact limité sur l'environnement, notamment leur contribution à la réduction des émissions de gaz à effet de serre, mais aussi à la diminution de l'utilisation des énergies fossiles. Le faible risque d'incidents auquel elles sont exposées est également à souligner et à prendre en considération. De plus, ces sources d'électricité semblent relativement bien acceptées par l'opinion publique belge. Les progrès et avancées technologiques, ainsi que l'expansion mondiale du solaire et de l'éolien, constituent également des signaux très encourageants.

Par ailleurs, la situation territoriale, notamment la proximité de la mer du Nord, offre des opportunités intéressantes, tout comme le caractère relativement accessible de l'installation en comparaison avec le nucléaire. Nous avons d'ailleurs pu constater que de nombreux projets de nouvelles constructions d'installations renouvelables étaient déjà en cours de négociation et de discussion. Enfin, le dernier point positif abordé concerne la possibilité de complémentarité avec le nucléaire qui s'offre à la Belgique. En effet, contrairement à l'Allemagne qui y a totalement renoncé, nous utilisons toujours le nucléaire et pourrions envisager une situation où le choix entre le nucléaire et le renouvelable ne se poserait pas réellement, mais où la question centrale serait plutôt de déterminer comment les utiliser de manière complémentaire afin de sécuriser l'approvisionnement et la sécurité énergétique du pays.

D'autre part, concernant les inconvénients que nous avons identifiés, il y a tout d'abord la possible dépendance que cette situation pourrait engendrer vis-à-vis de la Chine, ainsi que la vulnérabilité potentielle que ce choix pourrait entraîner. S'ajoutent à cela les dépenses budgétaires considérables qu'un tel développement impliquerait, que ce soit pour la construction de nouvelles installations ou pour les adaptations importantes du réseau électrique actuel, et ce dans un contexte où le budget national fait déjà face à de nombreux défis et contraintes. De plus, l'intermittence que ces sources de production génèrent nécessiterait une véritable adaptation des habitudes pour l'ensemble de la population belge. Il convient également de se demander si le climat dont nous disposons en Belgique est réellement propice à cette alternative. Enfin, bien que les rendements énergétiques du renouvelable s'améliorent continuellement, ils demeurent limités. Cela signifie que, pour atteindre une production d'électricité conséquente, il faudrait installer un très grand nombre de structures, nécessitant une superficie totale importante, ce qui pourrait également poser problème.

En conclusion, l'avenir énergétique de la Belgique repose avant tout sur une transformation profonde des mentalités et des habitudes de consommation. Une éducation nouvelle des citoyens, orientée vers la sobriété et une consommation plus raisonnée, apparaît comme la première étape indispensable afin de réduire la demande en électricité et de rendre possible l'intégration des énergies renouvelables. Ces dernières représentent en effet un levier majeur de la transition, riches en opportunités pour notre territoire, malgré certains inconvénients qui ne doivent pas être ignorés. Toutefois, le développement des énergies renouvelables ne suffira pas à lui seul à répondre aux besoins croissants en électricité. Dans ce contexte, le recours au nucléaire reste incontournable, d'autant plus que la prolongation du nucléaire a été officialisée par les décideurs politiques. Néanmoins, cette complémentarité ne pourra être cohérente et stable que si la Belgique améliore considérablement la gestion de ses déchets nucléaires, afin de garantir une politique énergétique à la fois responsable, crédible et conforme aux exigences européennes.

Il est primordial de rappeler une dernière fois que la sécurité énergétique et l'approvisionnement en électricité sont des problématiques qui doivent être gérées en coopération avec les autres pays de l'Union européenne, compte tenu des interconnexions existantes entre les différents États membres et des mécanismes déjà en place. Certes, chaque pays doit veiller en priorité au bon fonctionnement de son propre système, mais il s'agit d'un sujet qui doit être étudié et traité en collaboration au sein de l'Union européenne.

## 5.1 Limites rencontrées

Dans l'élaboration de cette thèse, l'une des principales limites auxquelles nous avons dû faire face a été de conserver notre esprit critique. En effet, il s'agit d'un sujet pouvant être controversé, avec des intervenants exprimant parfois des avis très subjectifs, dont il nous fallait extraire les éléments pertinents de manière objective.

De plus, l'électricité demeure un sujet de discussion vaste et complexe, influencé par de nombreuses variables. Il n'était cependant pas possible, dans le cadre de cette thèse, de toutes les aborder ou de les approfondir. La difficulté a donc été de définir clairement les limites et l'étendue de cette recherche.

Enfin, un certain flou persiste autour de ce sujet, puisqu'il reste au cœur de l'actualité. Cela signifie que des décisions sont prises quotidiennement en fonction des négociations et discussions en cours, ce qui a rendu l'obtention d'informations permettant d'avancer des éléments de réponses réellement difficile.

## 5.2 Émergence de potentielles futures recherches

Lors de l'analyse de la situation actuelle en Belgique, une interrogation qui pourrait faire l'objet d'une future recherche concerne la manière dont il serait possible de procéder pour construire une ou plusieurs futures centrales nucléaires. En effet, nous avons remarqué qu'il n'était pas évident d'imaginer un tel projet compte tenu des contraintes budgétaires, techniques et liées aux sites disponibles que cette opération impliquerait.

Il pourrait également être pertinent d'analyser plus en détails l'acceptation de l'opinion publique face à des constructions situées à proximité de leurs habitations, à l'aide d'exemples concrets permettant de mieux comprendre leur position à ce sujet. Même si nous avons pu recueillir l'avis des répondants à travers le sondage, celui-ci demeurait limité et partiellement exhaustif, car les participants devaient sélectionner une réponse parmi les choix proposés et n'avaient donc pas nécessairement l'occasion de s'exprimer pleinement sur cette question.

## 6. Annexes

### Annexe 1 – Questionnaire du sondage réalisé

**NB : Ce sondage a été réalisé sur Google Forms. Le texte qui suit constitue donc une reconstitution des questions initiales, présentées de la sorte par souci de clarté.**

**Chaque question était formulée sous la forme d'un QCM à réponse unique. Les questions dont la réponse était obligatoire étaient signalées par un astérisque en fin d'énoncé, tandis que celles qui n'en comportaient pas étaient facultatives.**

**Les résultats de ce sondage sont disponibles à la consultation dans un document Excel joint.**

### Introduction

1. Dans quelle tranche d'âge vous situez-vous ? \*
  - Moins de 18 ans
  - 18 - 25 ans
  - 26 - 33 ans
  - 34 - 41 ans
  - 42 - 49 ans
  - 50 – 57 ans
  - 58 ans et plus
  
2. Quel est votre dernier diplôme obtenu ? \*
  - CE1D (Certificat d'études du premier degré de l'enseignement secondaire) ou inférieur
  - CESS (Certificat d'Enseignement Secondaire Supérieur)
  - Diplôme de l'enseignement supérieur de type court / Bachelier (ou équivalent)
  - Master
  - Doctorat
  
3. Êtes-vous partiellement ou totalement responsable du paiement des factures d'électricité de votre logement ? \*
  - Oui, partiellement (par exemple : en colocation, dans un immeuble comportant plusieurs appartements, etc.)
  - Oui, totalement
  - Non
  
4. Combien de personnes au total vivent dans votre logement (vous compris) ? \*
  - 1
  - 2
  - 3
  - 4
  - 5
  - Plus de 5

5. Quel est votre niveau de consommation d'électricité, en fonction de votre facture annuelle ? \*
  - Faible consommateur : Moins de 1 000 € / an (soit  $\approx$  2 500 kWh ou moins).
  - Consommateur moyen : Entre 1 000 € et 2 000 € / an (soit  $\approx$  2 500 à 5 000 kWh).
  - Grand consommateur : Plus de 2 000 € / an (soit  $\approx$  5 000 kWh ou plus).
6. Disposez-vous d'équipements énergivores pour des besoins personnels ou professionnels (par exemple : Boiler chauffe-eau, piscine, voiture électrique, etc.) ? \*
  - Oui
  - Non
7. Votre logement est-il équipé d'énergies renouvelables (panneaux solaires, éoliennes, etc.) pour couvrir une partie ou la totalité de vos besoins en électricité ? \*
  - Oui, totalement
  - Oui, partiellement
  - Non

## Environnement

8. Selon vous, les énergies renouvelables (panneaux solaires, éoliennes, etc.) sont-elles respectueuses de l'environnement lorsqu'on considère l'ensemble de leur cycle de vie (fabrication, transport, installation, entretien, démantèlement) ? \*
  - Pas du tout respectueuses
  - Peu respectueuses
  - Moyennement respectueuses
  - Très respectueuses
  - Totalement respectueuses
9. L'impact environnemental des énergies renouvelables (positif ou négatif) influence-t-il votre décision d'y investir à un niveau purement individuel ? \*
  - Pas du tout
  - Un peu
  - Modérément
  - Beaucoup
  - Totalement
10. L'impact environnemental des énergies renouvelables (positif ou négatif) influence-t-il votre décision d'y investir à un niveau collectif au sein de la population ? \*
  - Pas du tout
  - Un peu
  - Modérément
  - Beaucoup
  - Totalement
11. L'obtention d'un subside ou d'une prime influencerait-elle votre décision d'investir dans ces énergies renouvelables ? \*
  - Pas du tout
  - Un peu
  - Modérément
  - Beaucoup
  - Totalement

12. Dans quelle mesure l'impact visuel causé par la présence d'énergies renouvelables (modification du paysage, réverbérations, etc.) pourrait-il affecter votre décision d'investir ou non ? \*
- Pas du tout
  - Un peu
  - Modérément
  - Beaucoup
  - Totalement

## Légal et financier

13. Si vous ne disposez pas d'énergies renouvelables, envisagez-vous d'y investir à l'avenir ?
- Oui
  - Non
  - Peut-être
14. Si vous ne souhaitez pas investir dans des énergies renouvelables, quelles en sont les raisons ?
- Pas intéressant financièrement
  - Les lois actuelles ne sont pas favorables
  - Les gains de l'investissement sont trop à long terme
  - Je n'en ai pas la possibilité chez moi
  - Autre réponse (veuillez préciser) : .....
15. Si vous disposez d'énergies renouvelables, quelle a été la raison qui a motivé votre investissement ?
- Être plus respectueux de l'environnement
  - Raisons financières
  - Autonomie en électricité
  - Autre réponse (veuillez préciser) : .....
16. À quel point pensez-vous que les panneaux solaires ou les éoliennes sont intéressants financièrement, compte tenu de la législation actuelle ? \*
- Pas du tout
  - Un peu
  - Modérément
  - Fortement
  - Totalement
17. Votre lieu de travail utilise-t-il des énergies renouvelables pour se fournir en électricité ? \*
- Non
  - Oui
18. Savez-vous ce que représentent les « certificats verts » pour les énergies renouvelables ? \*
- Non, je ne sais pas du tout
  - J'en ai entendu parler, mais je ne sais pas précisément
  - Oui, tout à fait

19. Pensez-vous que les lois concernant les panneaux solaires (comme les compteurs qui tournent à l'envers, ...) ont évolué de manière avantageuse ou désavantageuse en Belgique ? \*
- Plutôt avantageuse
  - Plutôt désavantageuse
  - Je ne sais pas ce qui a changé

## Contexte géopolitique

20. Pensez-vous qu'un jour les énergies renouvelables pourraient représenter une part importante de notre mix énergétique en électricité en Belgique ? \*
- Non
  - Oui
  - Peut-être
21. Dans quelle mesure pensez-vous que les autorités belges devraient investir massivement dans les énergies renouvelables pour en augmenter la portée et réduire la production d'électricité à partir du nucléaire ? \*
- Pas du tout
  - Un peu
  - Moyennement
  - Fortement
  - Totalement
22. Pensez-vous que les énergies renouvelables pourraient contribuer à réduire la dépendance énergétique de la Belgique ? \*
- Pas du tout
  - Un peu
  - Moyennement
  - Fortement
  - Totalement

## Annexe 2 – Préparation de l'interview semi-structurée avec T. Jacques

**NB :** Les questions ci-dessous ont été préparées en amont de l'entretien. Elles constituaient principalement des points d'entrée destinés à orienter et nourrir la discussion. D'autres questions complémentaires ont pu être posées au cours de l'échange, et les intervenants avaient également la possibilité d'apporter des précisions ou développer librement leurs réponses.

### Introduction

1. Pour commencer, pourrais-tu te présenter brièvement, ainsi que ton poste et les principales tâches que tu effectues chez Enersol ?

### Énergies renouvelables (Panneaux photovoltaïques/éoliennes)

2. La tendance actuelle semble indiquer un développement croissant des énergies renouvelables en Belgique, en particulier des panneaux photovoltaïques et des éoliennes. Quel est ton regard sur cette évolution ?
  - Quelles sont, selon toi, les principales causes de ce développement ?
  - Ce développement concerne-t-il principalement les particuliers, les professionnels, ou les deux ?
3. Pourrais-tu évoquer brièvement les principaux avantages et inconvénients des panneaux photovoltaïques et des éoliennes ?
4. D'où proviennent principalement les matériaux utilisés pour ces installations ? Et, plus spécifiquement, comment cela se passe-t-il chez Enersol : produisez-vous en Belgique, travaillez-vous avec des importations ou avez-vous recours à la sous-traitance ?

### Mix énergétique belge

5. En 2024, les énergies renouvelables (éolien et solaire) représentaient 42 % de l'électricité produite en Belgique (respectivement 26 % pour l'éolien et 16 % pour le solaire), tandis que le nucléaire en constituait encore 40 % (source : Forum Nucléaire, avril 2024). Dans le cadre de la sortie progressive du nucléaire prévue dans les années à venir, penses-tu que les énergies renouvelables pourraient occuper une place plus importante dans le mix énergétique belge ?
  - Si **oui**, selon toi, comment cette évolution pourrait-elle se concrétiser ? Le réseau électrique (lignes de transport, capacités de stockage, etc.) est-il actuellement en mesure de soutenir cette transition ? Quelles seraient les principales limites éventuelles ?
  - Si **non**, pour quelles raisons cette augmentation te semble-t-elle difficile ? Quels obstacles techniques, économiques ou réglementaires pourraient freiner cette progression ?
6. Penses-tu qu'un arrêt complet du nucléaire soit envisageable avec l'état actuel du réseau électrique belge, ou est-il nécessaire de prévoir d'autres alternatives pour garantir l'approvisionnement en électricité ?

## **Contexte Légal**

7. Les énergies renouvelables ont fait l'objet de modifications législatives au cours des dernières années. Quelles sont les principales évolutions ou les plus impactantes?
  - Comment votre entreprise s'est-elle positionnée face à ces changements ? Ont-ils eu un impact positif ou négatif sur vos activités ?
8. Quels sont les principaux défis ou contraintes rencontrés dans le cadre de vos installations d'énergies renouvelables, ou plus globalement dans vos projets ?

### Annexe 3 – Retranscription de l'interview avec T. Jacques

**NB :** *Les entretiens ont été retranscrits intégralement afin de préserver l'ensemble des éléments évoqués. Bien qu'un fil conducteur ait été préparé à l'avance, la discussion est restée ouverte, permettant aux intervenants d'ajouter librement des idées ou d'aborder des thèmes complémentaires.*

**Léo :** Bonjour Monsieur Jacques, tout d'abord je voulais vous remercier pour votre temps et votre disponibilité. Pour commencer, je vais peut-être vous présenter brièvement mon mémoire, pour que vous puissiez voir vers où je voudrais aller dans cette discussion. Donc j'ai décidé d'aborder dans mon travail la chaîne d'approvisionnement de l'électricité en Belgique et plus précisément du mix énergétique. Puisqu'avec la sortie du nucléaire qui est prévue dans les années à venir, je me demande un petit peu comment est-ce qu'on pourrait envisager des alternatives pour compenser ce manque d'énergie produit par le nucléaire lui-même. Dans ce cadre-là, j'aborde ainsi les énergies renouvelables. Et c'est pour cette raison, que je me suis tourné vers Enersol, qui était selon moi un interlocuteur très pertinent dans cette réflexion, c'est alors ainsi qu'on m'a redirigé vers vous, qui êtes le profil le plus percutant pour cet échange.

Commençons, pourriez-vous nous présenter brièvement, ainsi que votre poste et les principales tâches que vous effectuez au sein d'Enersol ?

**Monsieur Jacques :** Oui, alors j'ai déjà un petit peu analysé ce que tu m'as envoyé et j'y ai mis des petites notes pour que ce soit plus facile. Alors bon déjà, pour la sortie du nucléaire, et bien ça tombe dans l'actualité (rires), donc ça c'est terminé.

Alors pour me présenter, je travaille donc au sein d'Enersol, qui est une société connue comme installateur, on développe des projets pour le résidentiel, le particulier, mais aussi pour les entreprises de toutes tailles. On fait donc des centrales de plusieurs mégawatts, on s'arrête souvent à trois ou quatre mégawatts, mais donc déjà ce qu'on appelle l'utility. Et on a installé en tout, plus de 130 mégawatts en solaire depuis 20 ans, donc on a déjà fait pas mal. Au sein d'Enersol, moi je suis au bureau d'études, donc je fais des offres pour nos clients, puisqu'on ne vend pas qu'un devis, on fait des études sur les besoins du client, ce qu'on va y mettre et bien entendu ce que ça peut lui rapporter. Et alors chez Enersol, on fait du photovoltaïque mais aussi de l'éolien, batteries, bornes de recharges, et aussi tout ce qui est pompes à chaleur, chauffages ventilation. Et donc on fait souvent des offres multi techniques où on va vraiment proposer le package complet. Je m'occupe aussi au sein du bureau d'études d'une partie de la veille, c'est donc regarder aux marchés, aux nouveautés, aux adaptations aux réglementations. Et donc chez nous, chacun s'occupe un peu d'un domaine, et moi chez Enersol je m'occupe de tout ce qui est photovoltaïque : les onduleurs, le marché d'électricité et la veille réglementaire avec un collègue. Donc voilà, en effet, j'étais la bonne personne pour discuter de tout ça. Et, il y a aussi toute une partie formation, puisqu'il faut bien former les autres collègues avec tout ce qu'on apprend de nouveau. Voilà brièvement, ce que je peux faire chez Enersol.

**Monsieur Jacques :** Alors tu disais que la tendance actuelle semble indiquer un développement croissant des énergies renouvelables en Belgique, en particulier des panneaux photovoltaïques et des éoliennes. Je vais t'envoyer un petit graphique de la production sur les dernières années. Donc, tu y allais un petit peu avec des pincettes en disant « ça semble indiquer un développement croissant », mais non, il y a réellement un vrai développement. Si tu vois sur le deuxième graphique, c'est pas exponentiel, mais c'est quand même déjà vraiment important sur les vingt dernières années, le développement est énorme. Pas qu'au niveau de la capacité installée, mais vraiment en termes de térawattheures produits. Voilà, comme ça tu as aussi un peu des sources.

**Léo :** Ah oui, je vois bien, c'est parfait, merci beaucoup.

**Monsieur Jacques** : Alors, les principales causes de ce développement ? Déjà il y a la transition, on sait qu'il y a un soucis au niveau de nos émissions, de notre empreinte sur la planète et que ça ne peut pas durer comme ça. Là-dessus, il y a deux choses : d'abord le contexte global où chacun essaie de faire des petites choses pour réduire son empreinte et puis il y a le contexte réglementaire. Il y a des choses qui sont appliquées via des lois pour encourager le développement par exemple, des énergies renouvelables, et ça c'est une des causes du développement. Mais il y a aussi des réglementations qui défavorisent les énergies fossiles et donc qui causent aussi du développement renouvelable.

Il y a aussi le prix de l'énergie, donc ça bien entendu quand il y a eu la crise énergétique avec la guerre en Ukraine, notre téléphone ne s'arrêtait plus, c'était une période très très intense, où les gens ont vu les prix grimper et ils se disaient qu'il leur fallait les panneaux dès le lendemain parce qu'ils voulaient produire leur énergie. C'est aussi une des causes du développement, le fait que les prix de l'énergie augmentent, il y a une incertitude et on aime bien de se protéger. Et donc ce que j'ai investi et ce que je produis moi-même, je ne suis plus dépendant de mon fournisseur, ni obligé de lui acheter au prix du marché. Donc l'incertitude des prix du marché est aussi une cause de l'évolution du renouvelable.

L'électrification, puisqu'on consomme toujours de plus en plus et donc il faut de toutes façons des nouvelles capacités de production et les capacités de production renouvelables sont quand même assez faciles à mettre en place, j'en reparlerai un petit peu plus loin. Une centrale nucléaire, même si maintenant on pourrait en reconstruire une nouvelle, je ne sais pas qui va la construire, en tous cas sûrement pas les opérateurs privés comme Engie, il n'y a que des États qui construisent des centrales nucléaires. Donc voilà, l'électrification c'est aussi des effets boost du renouvelable.

Et bien entendu, sur les dernières années, c'est aussi la maturité des technologies. Depuis plus de vingt ans, nous on en installe et ça augmente, mais les technologies ont surtout vraiment évolué et là maintenant on arrive sur des produits, qui certes augmentent en rendement, mais là déjà actuellement c'est vraiment top.

Et alors, il y a aussi la compétitivité des solutions, comme je disais c'est assez facile d'installer du renouvelable supplémentaire et c'est aussi peu cher, et donc ça aussi ça participe au développement du renouvelable.

*Léo* : D'accord, alors je voudrais rebondir sur ce que vous dites. Est-ce que les certificats verts, autrement dit leurs réglementations qui ont évoluées au cours du temps, ont impacté votre activité ?

**Monsieur Jacques** : Oui clairement, tout ce qui est certificats verts fait partie de la réglementation. Les politiques ont décidé qu'il fallait installer, pour pleins d'autres raisons, du renouvelable et donc ont introduit les certificats verts et les compteurs qui tournent à l'envers. On a décidé de ne pas changer les compteurs électromécaniques quand on installait des panneaux solaires, ça permettait qu'on produise l'été l'équivalent annuel de la consommation et donc la consommation aussi de l'hiver sur l'été. Donc ces deux choses-là, ont permis d'installer beaucoup. Après, les certificats verts en résidentiel c'est terminé depuis 2013 ou 2014, mais au niveau industriel, il y en a toujours. C'est juste que pour le moment ils sont à zéro, donc on ne reçoit plus de certificat vert mais on peut toujours en demander quand on fait une installation, on en aura pas, mais le système existe toujours et il est là en cas de baisse extrême des prix de l'énergie pour que les installations puissent continuer à être rentables.

Tout ça, ça aide, mais c'est à double tranchant, car dès que la réglementation change et qu'elle devient moins favorable, ça fait des creux. On est dans un domaine où c'est les montagnes russes, il y a des moments où il y avait trop de demandes, et d'autres juste après où on ne sait plus quoi faire. Ca a été un peu le cas, ici fin 2023, avec la fin de la compensation donc la fin du compteur qui tourne à l'envers

où ceux qui installaient jusque fin 2023 avaient encore le principe du compteur qui tourne à l'envers garanti par décret jusque fin 2030. Mais ceux qui avaient installé après, en 2024, étaient nettement plus frileux, car ils disaient que c'était plus intéressant. Alors, c'était un peu moins intéressant mais c'était toujours intéressant quand même. Mais voilà, maintenant en industrie on continue toujours, parce que c'est intéressant niveau financier en tous cas de produire.

Et donc voilà, tu demandais si ça concerne plutôt les particuliers, les professionnels, ou les deux, et bien c'est l'ensemble : les particuliers, les professionnels, et aussi les producteurs d'énergie. Eux, ce ne sont pas des clients, mais ils produisent et eux aussi ils ont installés pleins de panneaux solaires et d'éoliennes.

Nous on n'est pas producteur, on installe chez les particuliers et chez les professionnels, donc on fait des installations dites en autoconsommation. Là la différence à chercher, elle n'est pas entre les particuliers et les professionnels, mais c'est plutôt en fonction de l'activité. Parce qu'il y a bien entendu un aspect surfacique au niveau du renouvelable, ça prend de la place, donc une activité de type supermarché, très dense en énergie, on va remplir tout son toit mais on ne va pas réussir à remplir tous ses besoins car il n'y a pas assez de place. Un hall logistique, on va mettre sur un petit bout de toit des panneaux qui vont produire la consommation des bureaux, mais tout le reste va être inutilisé puisqu'ils n'ont pas de consommation sur place. C'est vraiment une différence au niveau de la densité énergétique de la consommation de l'entreprise.

Et alors tu vas aussi avoir la situation entre les propriétaires et les locataires. Quelqu'un qui est propriétaire, c'est très facile d'installer sur son toit, c'est lui qui décide. Et là, la prochaine étape c'est d'équiper les locataires, et ça c'est nettement plus compliqué car si à un moment ils s'en vont, c'est compliqué de reprendre l'installation solaire avec eux. Il y a tout un tas de logement qui ne sont pas équipés parce que ce sont des locataires. Donc là il y aurait tout un travail, et ça devrait plutôt passer par des règlementations plus favorables ou plus strictes, simplement que les logements doivent être équipés et là alors, les locataires pourraient en bénéficier.

*Léo* : Ok je vois, je vais bien prendre note de tout ça. Alors la question suivante, elle était un peu trop vaste, je m'en suis rendu compte quand je l'ai rédigée mais je voulais parler des avantages et des inconvénients si les énergies renouvelables prenaient plus de place dans le mix énergétique belge. Et donc autrement dit, quels seraient ceux-ci si on intégrait les énergies renouvelables de manière plus conséquente dans notre mix énergétique, selon vous ?

**Monsieur Jacques** : Le premier avantage c'est la production renouvelable, donc elle a une faible intensité carbone. La production elle est locale, donc c'est intéressant, notamment parce que quand on agit localement donc derrière son propre compteur, on va jouer sur différents types d'économies. Tu produis ton énergie, donc tu ne paies pas ton fournisseur quand tu te la produis toi-même, mais cette énergie, elle ne passe pas non plus par le réseau, donc tu ne paies pas non plus les frais de réseau liés à cette énergie. Et ensuite, c'est aussi un bel avantage, sur cette énergie tu ne paies d'accise et de TVA. Et donc ça c'est vraiment un des avantages parce que c'est de la production locale, placée derrière les compteurs en autoproduction, c'est que tu économises toute une partie de la facture. Tandis que si tu construis ta centrale au gaz, et bien souvent elle est centralisée quelque part et tout le monde paie les frais de réseaux pour consommer l'énergie qui est produite, et tout ce qui va avec : la TVA, les accises et tout ça. Donc ça c'est quand même un des avantages des panneaux photovoltaïques et des éoliennes.

Et aussi, d'un point de vue visibilité, si je mets des panneaux sur mon parking, et bien les clients voient que je fais un effort et que j'investis aussi dans la transition. Si je construis une grosse centrale au gaz pour produire l'énergie de mon usine, ça fait un peu plus tâche parfois.

Et ça permet aussi la production renouvelable quand elle est derrière le compteur, là je compare vraiment par rapport aux installations centralisées, comme les grosses centrales, et bien ça permet d'être autosuffisant. Tout ce qui est produit, je ne l'achète plus sur le réseau, je suis indépendant du marché et je peux maîtriser mes coûts et ça c'est vraiment important aussi pour les clients. C'est un avantage qu'on peut offrir avec la production renouvelable.

Pour les autres avantages, il y a le LCOE qui est compétitif, on est sur des prix au kilowattheure produit qui sont très bas et pour le solaire, ils n'ont jamais été aussi bas que maintenant. Ça permet aussi d'installer dans de nombreuses configurations. On s'est bien adaptés, on sait faire des toitures résidentielles, on sait faire des toitures industrielles, on sait équiper des carports, des parkings, on peut faire pas mal de choses. Tandis que voilà, si je veux mettre une cogénération, je ne le fais pas n'importe où, c'est parfois des tailles plus grandes, ça demande des équipements annexes. Le renouvelable comme une éolienne, c'est assez facile, ça a peu d'emprise au sol par exemple. Le photovoltaïque ça nécessite des surfaces, mais le bâtiment existant peut être adapté pour l'accueillir. Donc ça c'est intéressant c'est une solution d'investissement rentable, dans le sens où il y a très peu de frais d'utilisation et de frais récurrents. Le coût marginal d'utilisation du renouvelable, il est en gros plus ou moins de zéro. Donc une fois que tu as fait ton investissement, il faut le rentabiliser, mais ça produit et tu n'as plus de frais annexes. Donc pour certaines entreprises c'est vraiment une solution d'investissement, ils ont des sous à dépenser, et bien ils vont les dépenser en une fois dans leurs installations photovoltaïques et puis après il n'y a plus de frais. Tandis qu'une centrale au gaz par exemple, tu es quand même dépendant des intrants. Tu dois acheter chaque année ton gaz, et tu es dépendant des cours du marché du gaz, tandis que le photovoltaïque, et c'est un des inconvénients, c'est le fait que tout est payé en une fois au démarrage. Alors il y a des solutions, tu peux faire un prêt à la banque, tu peux faire du tiers-investissement, il y a différentes solutions pour imaginer des autres tarifs et des autres coûts. Mais dans les faits, le photovoltaïque on doit acheter les panneaux, on les installe, puis il y a un petit peu de maintenance mais ça ne coûte rien à produire comparé aux autres types de production d'énergie.

La longue durée de vie, ça c'est un des gros avantages, les panneaux sont garantis 25 ans et la performance sur 30 ans, donc quand tu installes un panneau maintenant, tu peux te dire qu'il va durer 40 ans.

**Léo** : Oui, c'est ça je vois. Pour rebondir sur ce que vous me disiez, vous parlez d'éolien, vous en installez aussi ?

**Monsieur Jacques** : Oui.

**Léo** : Est-ce que ça représente une grosse part de votre activité aussi ?

**Monsieur Jacques** : Non, c'est quasiment rien du tout.

**Léo** : J'ai fait mon stage chez Safran justement il y a une grosse éolienne, vous faites ce genre d'installation ?

**Monsieur Jacques** : Non, on fait vraiment du plus petit, des modèles deux à dix fois plus petit. Mais par contre chez Safran, on a fait les panneaux photovoltaïques sur les carports. Nos éoliennes sont quand même hautes, environ 30 ou 40 mètres mais au niveau de la puissance de la machine, ce sera plus petit que celle-là. Mais on ne fait même plus une par an, c'est vraiment très marginal. Au niveau des réglementations, il faut faire des permis, et c'est aussi une technologie très chère le petit éolien. Et au niveau kilowattheure produit, ça n'a rien à voir avec le solaire. Si tu consommes vraiment toute la production de ton éolienne, ça peut être intéressant parce que ça produit aussi à des moments où, on parle de l'intermittence aussi dans les inconvénients. S'équiper de panneaux et d'une éolienne

avec, c'est vachement complémentaire. Mais le petit éolien comme on fait, il est relativement cher. L'éolien le plus rentable c'est celui en mer, l'éolien offshore tant qu'il y a de la place, il a encore de l'avenir.

**Monsieur Jacques** : Donc au niveau des inconvénients, le démarrage de toutes ces technologies, elles étaient très chères au départ, et donc elles ont nécessité des aides, des subsides et ça pour moi c'est un inconvénient, de devoir passer par ça. Il y a eu tout un tas de montagnes russes avec des législations trop favorables, puis trop restrictives, où les gens avaient pris peur ou perdu confiance. Un autre inconvénient, c'est d'être très dépendant de la réglementation, c'est vraiment très compliqué en Belgique, après dans les autres pays d'Europe ce n'est pas mieux.

Enfin, un de inconvénients, c'est que le réseau électrique n'était pas adapté, ou en tous cas pas conçu pour, il était prévu pour des grosses centrales qui étaient situées à des nœuds du réseau et qui injectaient, et les ménages en bout de course, on leur mettait un transformateur qui mettait la tension un petit peu plus haut pour être sûr qu'au bout de la ligne, la tension soit suffisante. Une fois qu'on réinjecte dans l'autre sens, là c'est plus du tout pareil et les réseaux décrochent, et c'est assez compliqué. Le problème de l'énergie décentralisée, le réseau n'était pas prévu comme ça au début, ça marche hein regarde où on en est, mais on arrive aux limites.

Un des inconvénients, c'est l'intermittence, c'est pas tout le temps dispo et c'est dépendant de la météo. Et alors, la densité, comme je dis, au niveau des panneaux, si on veut remplacer une centrale, il faut vraiment beaucoup de surface. Les rendements s'améliorent, et il y a encore énormément de surfaces inutilisées, sur les toits en ville par exemple, il n'y a rien comme panneau. Il y a encore des industries avec des grands toits qui ne sont pas équipées, et pleins d'autres endroits comme des parkings, des terrains agricoles, etc. Le facteur de charge aussi n'est quand même pas terrible, au niveau du solaire, on est sur 10%. Je vais t'envoyer les statistiques de la FEDEC, c'est la Fédération des producteurs d'énergie. Donc le facteur de charge, c'est : par rapport à 1 kilowatt de panneau solaire, combien ça produit ? Ca ne va pas produire un kilowatt tout le temps, ça va produire 1 kilowatt au moment où il fait frais et où le soleil est au zénith, et donc si tu regardes le graphique, tu vois que les centrales au gaz naturel, elles fonctionnent 40% du temps à pleine charge, même si ça dépend de la demande. Le nucléaire, comme c'est pas cher, on essaie de l'utiliser au maximum, et on est capables de l'utiliser ici en 2023, 93% du temps à pleine charge. Donc ça veut dire qu'il sait donner beaucoup. Après, le reste ça dépend de la météo et de l'intermittence. L'hydraulique sur l'ensemble des centrales, ici en 2023 qui était une année pluvieuse, c'était quasiment l'équivalent de 40% du temps à pleine charge sur l'ensemble de l'année. L'éolien on shore on est à 23%, l'offshore c'est 40% et le PV en 2023, c'était 8,4%, donc aux alentours de 10%. Donc ça veut dire que quand tu mets un kilowatt de PV il va produire en gros 1 kilowatt 10% du temps. Une éolienne onshore/offshore, c'est un près les mêmes machines, sauf qu'il y en a une qui va produire deux fois plus que l'autre. Parce que l'offshore elle a de meilleurs vents en mer que l'éolienne qui est sur la terre.

Mais tout ça, ça a d'autres problèmes c'est qu'il n'y a pas que les panneaux et l'onduleur, il y a aussi tous les câblages, les transformateurs, tu vas avoir pleins de choses. Et un des problèmes que je vois dans le renouvelable, c'est qu'on sous-utilise le matériel. Au niveau du câble en cuivre, on utilise beaucoup de câbles ou des transformateurs pour du solaire, qui finalement la nuit ne produit rien et avoir un transformateur qui dort. Tandis qu'avec la nucléaire, un câble de X mégawatt, il y a tout le temps X mégawatt qui transitent dedans parce qu'il produit tout le temps à fond. Et donc en gros avec le renouvelable, puisqu'il a un facteur de charge qui est assez bas, il y a une partie des ressources qu'on gaspille un petit peu. Ou alors, il faut mettre du solaire, et derrière le transformateur une batterie, pour mutualiser les usages pour essayer d'éviter un gaspillage des ressources d'infrastructures.

Et alors le fait que l'ensemble des couts se fait à l'investissement, ça peut être un frein. Quand j'achète une centrale au charbon, il y a le coût de ma centrale mais tout le reste, je le paierai tout le long de la

vie de la centrale. Tandis que le solaire il est acheté et à part si les prix sont négatifs on ne l'arrête pas, même si les marchés sont à 0, ça ne coûte rien de continuer à produire donc on produit. Et si on a les certificats verts, et qu'on gagne 20 euros du mégawattheure, on est prêt aussi à laisser filer l'énergie même quand le marché est à moins de 20 euros du mégawattheure, parce que le certificat vert permettra de combler le manque et d'arriver à zéro. C'est ce qui explique notamment les prix négatifs. Voilà je viens de te lister les principaux inconvénients de ces nouvelles technologies.

**Léo :** Super, tout était très clair, merci beaucoup. La prochaine question était surtout portée vis-à-vis de votre entreprise, car j'ai déjà eu des discussions avec des installateurs de panneaux photovoltaïques qui m'ont expliqué qu'avant, l'Europe produisait certains photovoltaïques et qu'ensuite la Chine a pris les devants et est devenue nettement moins chère. D'où proviennent principalement les matériaux utilisés pour ces installations ? Et, plus spécifiquement, comment cela se passe-t-il chez Enersol : produisez-vous en Belgique, travaillez-vous avec des importations ou avez-vous recours à la sous-traitance ?

**Monsieur Jacques :** Non, on ne produit pas sur place, ça il n'y a qu'une entreprise qui produit encore des panneaux solaires en Belgique, et c'est un peu anecdotique comme production par rapport aux besoins du marché. On avait à cœur de vendre des produits européens car l'Europe a été pionnière aux alentours des années 2010, là c'était énorme. Et puis oui, il y a eu la Chine et ils ont cassé tout le marché. Donc c'est toujours un peu compliqué, on se met toujours de belles règles en Europe, d'un point de vue social, environnemental, mais on ne les impose pas à ceux qui produisent ailleurs et donc on biaise un peu notre propre marché. Si on veut produire ici ça coûte un peu plus cher parce que les produits sont plus vertueux mais bon du coup on les produit ailleurs et on fait pire que bien. Nous, jusqu'il y a deux/trois ans, en résidentiel donc pour des petites installations, on poussait beaucoup les panneaux européens et aussi les onduleurs européens. En industriel, ça fait de nombreuses années qu'on est passé sur des panneaux chinois, on propose toujours des panneaux européens, mais la plupart maintenant des fabricants on fait faillite. Alors ça me fait rire quand j'entends qu'on réindustrialise, tout ceux qui restent font faillite, je ne vois pas pourquoi quand on aura fait table rase, il y en aurait d'autres qui vont pousser. On les propose toujours, mais c'est nettement plus cher, parfois ça va jusqu'à deux fois plus cher. Donc depuis deux ans, même en résidentiel, ce n'est plus que du chinois pour les panneaux. Au niveau des onduleurs, ça il y a encore quelques marques européennes, mais on installe aussi de moins en moins car les chinois ont un plus grand marché, donc nettement plus de sous et donc plus de recherches et de développements, donc ils font des produits finalement nettement meilleurs. Le gros risque de la Chine, c'est la cyber sécurité, il n'y en a aucune, il n'y a pas de réglementation, il n'y a rien, et donc si la Chine appuie sur un bouton rouge, je pense qu'elle pourrait éteindre un paquet de centrales et faire tomber le réseau européen assez facilement. Les onduleurs sont connectés à Internet et sont connectés aux serveurs des fabricants, après voilà ils ne sont pas tous à la saute du gouvernement chinois mais bon ça reste un gros problème. Il y a des choses à mettre en place, notamment des marques européennes qu'on peut soutenir, mais bon le client lui ce qu'il veut c'est toujours le meilleur rapport qualité-prix, et il ne se tracasse pas du reste. Une chose qui peut être intéressante à expliquer, le fait que si tu as l'ONJ qui a une centrale d'un giga, si sa centrale elle tombe, il est responsable, et peut être aussi responsable de faire tomber le réseau de tout un pays. Quand les installations sont toutes décentralisées, personne ne se sent responsable du réseau, alors qu'au final on l'est tous. Et donc si tout le monde installe du chinois et puis qu'un moment on ne s'entend plus avec la Chine, tout le monde se dire pourquoi on n'a plus de réseau, mais tout le monde est responsable. Mais comme la responsabilité est diluée, ça doit être alors l'Etat à prendre des mesures pour garantir que tout se maintienne. Alors, ils cherchent, ELIA nous a déjà contacté pour faire un petit peu des réunions et discuter de la cyber sécurité et tout ça mais pour le moment il y a encore rien. Au niveau des batteries, ça c'est la Chine, il n'y a que ça. Il y avait un fabricant européen de cellules, qui vient de faire faillite. Il y en a d'autres pour l'automobile qui essayent de se créer mais ça ne prend pas beaucoup. L'éolienne ça c'est encore relativement européen, c'est un des derniers

secteurs du renouvelable qui est encore européen. Sinon, voilà j'ai fait le tour. Les pompes à chaleur, tout ça c'est aussi fait en Europe.

**Léo** : D'accord parfait, pour la première partie, je crois que c'est bon, on est bien complet. On a déjà un peu parlé de ça, mais on peut y revenir, au niveau du mix énergétique, j'ai quelques chiffres qui viennent du Forum Nucléaire, en 2024, les énergies renouvelables (éolien et solaire) représentaient 42 % de l'électricité produite en Belgique (respectivement 26 % pour l'éolien et 16 % pour le solaire), tandis que le nucléaire en constituait encore 40 %. Dans le cadre de la sortie progressive du nucléaire prévue dans les années à venir, pensez-vous que les énergies renouvelables pourraient occuper une place plus importante dans le mix énergétique belge ? Si oui, quelles seraient les principales limites éventuelles ?

**Monsieur Jacques** : Alors oui, selon moi, en tous cas on doit essayer, enfin on doit continuer d'installer le renouvelable. Mais alors les limites, la plus grande limitation, elle vient de la flexibilité de la demande. Il faut qu'on arrête d'imaginer que l'énergie, elle est disponible tout le temps et à tout moment, elle est disponible quand elle est produite, parce qu'on ne la stocke pas, on ne la stocke pas bien. Donc voilà, il faut un shift des mentalités et que tout une éducation soit faite. Ca doit aussi être le rôle des politiques, il faudrait qu'il y ait un Ministre des énergies qui explique que celui qui va brancher sa voiture électrique à 18h30 en rentrant du boulot, c'est un criminel, car si tout le monde fait ça, on finit comme en Espagne et il n'y a plus de réseau. L'énergie elle est disponible, quand il y a du soleil, donc le temps de midi et de 11h à 17h. Il y a des initiatives, notamment de la part des gestionnaires de réseaux, qui vont faire différentes plages pour inciter les gens à consommer aux moments les plus intéressants. Au niveau des fournisseurs, il y a l'apparition des tarifs dynamiques, où celui qui travaille un petit peu intelligemment avec un EMS chez lui et une batterie, il va pouvoir payer son électricité vraiment peu cher. Tout ça nécessite un accompagnement, et une éducation de la population, et les gens voient leurs besoins comme plus flexible, et ça une fois qu'on va arriver là-dedans, on va pouvoir continuer. Mais là actuellement, mon patron il dit qu'il faut continuer, car on a besoin du renouvelable, mais moi ce que je vois aujourd'hui encore c'est que les prix sont négatifs, donc on atteint une limite si rien ne bouge. Mais par contre il y a des solutions, la flexibilisation de la demande ça c'est en cours mais il faut accentuer la démarche, il y a le stockage soit stationnaire soit les batteries sur roulettes qu'il faudrait utiliser pour faire du V2G, ça serait idéal donc les vehicle-to-grid avec les véhicules électriques. Le problème au niveau du stockage qu'il soit stationnaire ou pour les véhicules, c'est la réglementation, on en parlera un tout petit peu plus tard, il n'y a jamais aucune vision à long terme et aucune anticipation, et là pour le moment le stockage en Wallonie c'est mort. Une grosse batterie pour un industriel, on ne peut pas l'installer parce que le GRD nous refuse pour le moment. Parce qu'ils ont peur que tout le monde commence à mettre des batteries et puis à nouveau que dès que les prix sont un peu chers, tout le monde injecte en même temps, ou dès que les prix sont un peu trop intéressants, que tout le monde consomme en même temps et fasse tomber le réseau local. Mais tout ça, ce n'est pas maintenant qu'il faut y réfléchir, c'était déjà il y a deux ans. On sait que ça va arriver. Donc voilà, ça c'est encore une barrière, c'est la réglementation qui n'avance pas suffisamment vite par rapport à nos besoins. La mobilité électrique, dans deux ans, combien il y en aura de voitures électrique en plus ? Ca sera énorme, donc tout ça il faut s'adapter rapidement. Et idem au niveau du réseau, ça il va falloir que le réseau s'adapte aussi et qu'on le fasse intelligemment, là où il y a de la place on continue à rajouter et là où s'est trop chargé, on essaie de mettre du stockage et des choses pour délester. Mais voilà, pour le moment, tout ça n'avance pas des masses.

Pour y arriver, il va aussi falloir simplifier tout ce qui est démarches administratives, on a énormément de demandes d'autorisations. Parfois on a l'impression qu'on installe 20 kilowatts de panneaux, et on met presque une centrale nucléaire. Quand tu souhaites faire une installation, tu dois demander l'avis au gestionnaire de réseau, il fait sa petite étude, il y a des délais, ensuite il te dit ok c'est bon, on procède à l'installation avec toutes les règles qui sont mises en place, il faut mettre des relais de découplage et tout n'est pas simple. Et ensuite, une fois que ton installation est prête, tu dois retourner

auprès du gestionnaire de réseau pour lui demander de venir tester le matériel pour pouvoir mettre en service et là encore tu attends. Donc ce n'est pas seulement la facilité administrative, mais c'est aussi toute une question de délais. Et si on veut avancer vers la transition, il y a un moment où il faut accélérer. Il y a je ne sais pas combien de gigawatt d'éolien qui sont toujours en attente de permis. On n'arrivera pas à remplacer les 40% de nucléaire, si on avance pas là-dessus. Au niveau des batteries, il y a combien de gigawattheure de batterie qui sont dans l'attente et qui ne peuvent pas se faire parce qu'ils n'ont pas adapté leurs règles, ça c'est une vraie barrière pour avancer vers un mix plus renouvelable.

Ce qui est nécessaire aussi, c'est les interconnexions entre les pays, si on regarde aujourd'hui nous là on a des prix négatifs, donc on pourrait se dire qu'il faut éteindre toutes les centrales solaires, enfin pas toutes sinon les prix seraient de nouveau à 150 euros mais il faudrait limiter en tous cas. Et par contre quand tu regardes au Royaume-Uni, ils ont toujours des prix hauts, donc pourquoi pas nous, leur envoyer notre énergie, puisqu'elle est de toutes façons ici et produite. Mais tout ça, ça demande des interconnexions entre les pays. Donc le RTE, c'est le ELIA français, le gestionnaire du réseau de transport, et j'aime bien son site parce qu'il compare un peu tous les pays au niveau du marché. Tu vois que l'Angleterre ils n'ont pas assez d'interconnexion, donc ils ont un peu avec la France, la Belgique et les Pays-Bas mais pas suffisamment puisque s'ils sont plus cher c'est que leur interconnexion elle est saturée. Idem avec la Péninsule Ibérique, qui a des prix très bas tout le temps, cette nuit ils étaient à 5 euros du mégawattheure en Espagne. A nouveau, il faut partager cette énergie, et s'ils ont plus de vent là-bas, qu'on rajoutent des éoliennes là-bas et qu'on transporte l'énergie jusqu'ici, donc il faut renforcer les interconnexions entre les pays. C'est donc aussi une clé pour pouvoir y arriver.

Il faut aussi électrifier les usages, ça ne va pas régler le problème du nucléaire, mais ça va régler le problème de toutes les consommations autres. Quand il y a du renouvelable qui coute zéro euro qui est là, pourquoi aller encore à la pompe et rajouter de l'essence dans sa voiture si tu peux finalement te charger quasiment gratuitement sur l'énergie parce que là elle est disponible ? Donc ça, c'est l'électrification.

Et enfin, il faudrait une politique un peu plus stratégique sur l'énergie, pour le moment en Belgique il n'y a rien du tout, c'est terrible mais il n'y a pas de vision. Donc à chaque gouvernement, ça change, il y a des pros nucléaire, des contre nucléaire. Et de toutes façons les pros nucléaire ne pourront plus demander même aux français de l'aide pour construire des centrales, car ça coute un pont, par exemple la centrale qui est construite au Nord de la France là, elle ne sera jamais rentable. Plus personne ne sait le faire de toutes façons, ou alors les chinois ? Ils font des réacteurs peu chers, mais à nouveau c'est comme les onduleurs, on est dépendants après. Donc il n'y a aucune politique stratégique sur l'énergie et ça tu peux en parler un peu, mais c'est en partie dû à la libéralisation du secteur de l'énergie. Dans l'idée, la libéralisation ça permet d'avoir des prix plus compétitifs, mais dans les faits ça marche pas pour un secteur de l'énergie. Il y a trop peu d'acteurs déjà, c'est un oligopole. En Belgique, il y a 40% qui vient d'un seul et même acteur, ENGIE, et ça c'est pas possible, ça ne peut pas venir d'une entreprise privée. Surtout que les entreprises privées, ne cherchent qu'à faire du bénéfice donc par exemple à installer des onduleurs et des panneaux chinois parce que c'est pas cher et ça rentabilise bien mais ça n'aide pas à la stabilité du réseau, sauf si c'est bien fait, mais les risques de cyberattaque par exemple, ça ne va pas aider. Donc il n'y a pas de politique stratégique, mais les politiques ne peuvent pas avoir de stratégie car le marché est libéralisé et il n'est plus dans les mains de l'État. Voilà un des gros problèmes du marché de l'électricité. Si à un moment, la Belgique dit qu'elle veut construire une centrale nucléaire, jamais aucune banque ne va prêter des dizaines de milliards à ENGIE pour créer une centrale nucléaire. Donc ça voudrait dire que ça va encore être l'État qui va devoir investir dans une centrale et dire à ENGIE qu'ils vont faire un petit marché et voir qui va pouvoir utiliser la centrale et se faire des bénéfices. Et puis en plus, encore maintenant c'est terminé les déchets qui va encore s'en débarrasser, ce n'est pas l'opérateur privé, ça sera encore l'État qui va

devoir s'en débarrasser. Donc à un moment, ça suffit un peu. Voilà, c'était mon petit coup de gueule (rires).

Et enfin, dernière chose, si on veut arriver à ça, il y a un gros travail à faire sur la sobriété, il faut arrêter de gaspiller l'énergie. Ca se joue dans pleins de domaines, il y a l'efficacité, avoir des processus plus efficaces, mais si c'est trop efficace c'est aussi pas non plus robuste, il faut faire attention. Et alors la sobriété, moi quand j'installe des panneaux chez des clients pour qu'il fassent tourner leur jacuzzi, est ce que c'est vraiment nécessaire ? Alors la voiture électrique c'est bien, mais si c'est pour commencer à partir en vacances avec toutes les trois semaines, est ce que c'est vraiment nécessaire ? Il y a vraiment un travail à faire sur la sobriété, car je suis sûr qu'avec le mix actuel qu'on a, on pourrait très bien s'en sortir mais il faut consommer moins et ça c'est toute une question d'éducation. Je pense que ça bouge car pendant la crise énergétique, on a bien vu que les gens ont réduit leur consommation, ça touchait à la facture, c'est parce que l'énergie était chère. Mais ça veut dire que c'est possible, si ça doit passer par des taxes sur l'énergie pour que les gens diminuent leur consommation, et qu'on ait pas à construire 100 000 centrales parce que les gens consomment toujours plus, et bien voilà on pourra y arriver aussi. Donc voilà, la sobriété c'est vraiment un point important pour continuer à produire le renouvelable et à l'utiliser.

*Léo* : Ok, donc voilà, on a déjà parlé du nucléaire, et j'ai pu comprendre que vous n'étiez pas tout à fait pour mais pas tout à fait contre non plus et que construire des nouvelles centrales ça allait être compliqué (rires).

**Monsieur Jacques** : Oui (rires), et les déchets, moi c'est surtout ça, pour l'instant ils sont sur le parking à Tihange et ça fait 60 ans qu'on dit qu'on va les enterrer, et il n'y a toujours rien. Ils veulent les enfuir dans des couches spéciales, mais il n'y a rien. Donc les déchets on ne sait rien en faire, personne ne sait comment les utiliser. Avant on les balançait à la mer, maintenant on a interdit tout ça, et ils sont stockés à Tihange, et je ne suis pas pour car ce sont des trucs qui durent longtemps.

*Léo* : Oui, je vois. Donc on entre maintenant dans la dernière section, on a déjà parlé des certificats verts et des compteurs qui tournent à l'envers, mais est ce qu'il y a quelque chose d'autre dans le contexte légal qui a vraiment impacté votre activité ?

**Monsieur Jacques** : Comme je te disais, il y a toutes les contraintes au niveau GRD – GRT, et alors les délais et le gros manque d'anticipation dans toutes les réglementations. On arrive toujours dans les nouvelles technologies, et on nous dit qu'on n'a pas fait le travail nécessaire pour qu'on puisse procéder à l'installation, donc on doit attendre. C'est ce qu'il se passe avec les batteries, c'est la prochaine révolution, ça se passe bien en Flandre, la réglementation est moins adaptée, et ils ont aussi un réseau qui est mieux maillé et qui est plus robuste. Mais là en Wallonie, nous on pourrait installer des mégawattheure et des mégawattheure de batteries, ce n'est pas les clients qui manquent, quand tu vois les prix du marché ici de l'énergie, c'est assez intéressant. Mais le problème c'est que si j'installe aujourd'hui une batterie chez un industriel, et ça peut être par conteneurs de batteries, je ne pourrais pas le mettre en service. Le gestionnaire de réseau va me dire : non les règles ne sont pas encore là, on est en train de voir avec les ministres pour soit faire une solution de transition pour cette année, soit alors on en rediscute l'année prochaine. Et donc là, les prix négatifs ne vont pas bouger tant qu'il n'y a pas de stockage ou le changement de mentalités pour la consommation. Mais le stockage dans la transition, à un gros rôle à jouer.

*Léo* : Ok, donc voilà ça c'est bon. Et donc la dernière question qui est un peu plus globale mais on en a déjà un peu parlé aussi dans les contraintes de réglementations et les délais, mais si vous deviez résumer, quels sont les principaux défis rencontrés dans le cadre de vos installations d'énergies renouvelables, ou plus globalement dans vos projets ?

**Monsieur Jacques** : Non, c'est vraiment ça que j'avais noté, c'est principalement ça. On ne peut pas toujours laisser tout faire, ça je le comprends, mais si les règles pouvaient être parfois plus logiques et mises en place au bon moment pour que quand la technologie soit là, on puisse l'appliquer, ça serait beaucoup mieux.

**Léo** : D'accord je vois. Je pense avoir posé toutes mes questions mais je me demandais juste, même en dehors de mon mémoire, si vous connaissiez les règles et les contraintes pour installer de l'éolien, comme chez Safran, par exemple ?

**Monsieur Jacques** : Oui, tout à fait, donc les règles sont les mêmes pour le petit éolien comme on l'installe nous, tu dois d'abord faire un permis d'urbanisme, et donc en fonction de la taille et de la puissance de l'éolienne, tu as différentes règles, notamment une distance à respecter avec les habitations, les aéroports, les radars de l'armée, etc. Il y aussi la faune et la flore, quand tu fais un permis, ils envoient à tout un tas de personnes, comme par exemple la DNF, le département Nature et Forêt de la Wallonie qui va donner son avis, il y aura aussi une enquête publique, et donc si tu as des riverains à côté, ils peuvent se mettre contre. Donc ça c'est l'étape permis d'urbanisme, qui n'est pas facile et souvent d'ailleurs, si c'est une commune, ils sont frileux, et ils vont refuser ton permis. Après tu peux aller en recours, auprès de la Région Wallonne, qui elle va statuer sur ton permis. Et la Région Wallonne, elle est responsable d'atteindre ses objectifs de développement renouvelable, eux ils vont dire ok c'est bon, ce n'est pas pour les quelques villageois qui vont râler, au moins ce n'est pas le bourgmestre qui le fait et que les gens vont aller reprocher. Alors là, le permis est octroyé, mais tout ça, ça prend du temps, c'est déjà 6 mois pour le premier permis, puis 6 mois pour le recours et avec ça tu n'as encore rien commandé ni l'éolienne ni le transformateur. Entre temps, tu auras fait les démarches auprès du gestionnaire de réseau, que ce soit pour l'éolien ou les PV, on dit on produit telle puissance et alors est-ce qu'on peut mettre ou pas sur le réseau ? Donc chez Safran, ça a été fait pour le photovoltaïque et l'éolien, puis on procède au raccordement et à la mise en service. Voilà un petit peu pour le processus.

**Léo** : D'accord, c'est super intéressant, c'était par simple curiosité, mais je suis content de l'entendre. Je pense avoir posé toutes mes questions, je vous remercie pour toutes vos réponses, votre expertise et votre temps. Et pour votre disponibilité aussi, car vous m'avez répondu super vite et c'était vraiment sympa.

**Monsieur Jacques** : Pas de problème, avec plaisir, j'espère que ça t'a été utile. Bonne fin de journée et bonne continuation.

## Annexe 4 – Préparation de l'interview semi-structurée avec P. Letawe

**NB :** Les questions ci-dessous ont été préparées en amont de l'entretien. Elles constituaient principalement des points d'entrée destinés à orienter et nourrir la discussion. D'autres questions complémentaires ont pu être posées au cours de l'échange, et les intervenants avaient également la possibilité d'apporter des précisions ou développer librement leurs réponses.

### Introduction

1. Pour commencer, pourriez-vous nous présenter brièvement ainsi que les postes occupés et les principales tâches que vous avez effectuées précédemment ?

### Énergies renouvelables

2. Et concernant vos activités d'installation de panneaux photovoltaïques, comment cela se passait-il à l'époque ? Est-ce que vous produisiez en Belgique, faisiez appel à de la sous-traitance, ou vous passiez plutôt par l'importation ?
3. Quels étaient les principaux défis ou les contraintes majeures auxquels vous deviez faire face dans le cadre de cette entreprise ?
4. Une question un peu plus personnelle ici : Dans quel contexte avez-vous décidé d'arrêter vos activités liées aux panneaux photovoltaïques ? Est-ce que cette décision a été motivée par des changements législatifs, ou y avait-il d'autres facteurs qui ont influencé ce choix ?
5. Que pensez-vous des modifications législatives concernant les énergies renouvelables ? Selon vous, ont-elles eu un impact plutôt positif ou négatif, que ce soit du point de vue des particuliers ou des professionnels ?
6. Pourriez-vous me dire, selon vous, quels sont les principaux avantages et inconvénients des énergies renouvelables (photovoltaïques) ?

### Mix énergétique belge

7. En 2024, les énergies renouvelables (éolien et solaire) représentaient 42 % de l'électricité produite en Belgique (respectivement 26 % pour l'éolien et 16 % pour le solaire), tandis que le nucléaire en constituait encore 40 % (source : Forum Nucléaire, avril 2024). Dans le cadre de la sortie progressive du nucléaire prévue dans les années à venir, pensez-vous que les énergies renouvelables pourraient occuper une place plus importante dans le mix énergétique belge ?
  - Si oui, selon vous, comment cette évolution pourrait-elle se concrétiser ? Le réseau électrique (lignes de transport, capacités de stockage, etc.) est-il actuellement en mesure de soutenir cette transition ? Quelles seraient les principales limites éventuelles ?
  - Si non, pour quelles raisons cette augmentation vous semble-t-elle difficile ? Quels obstacles techniques, économiques ou réglementaires pourraient freiner cette progression ?
8. Quel est votre regard sur la sortie totale du nucléaire prévue dans les années à venir ?

## Annexe 5 – Retranscription de l'interview avec P. Letawe

**NB :** *Les entretiens ont été retranscrits intégralement afin de préserver l'ensemble des éléments évoqués. Bien qu'un fil conducteur ait été préparé à l'avance, la discussion est restée ouverte, permettant aux intervenants d'ajouter librement des idées ou d'aborder des thèmes complémentaires.*

**Léo :** Bonjour Monsieur Letawe, tout d'abord merci de m'accorder votre temps pour cet entretien. J'ai eu l'occasion de parler un petit peu avec votre fille qui m'a un peu expliqué votre parcours dans le monde de l'électricité. Je vais commencer par déjà mettre un peu en contexte mon mémoire, comme ça on peut voir un petit peu dans quelle direction moi je me positionne.

Alors, j'ai décidé de choisir la chaîne d'approvisionnement de l'électricité et donc plus particulièrement d'analyser le mix énergétique belge avec la sortie du nucléaire prévue et ainsi d'aborder les énergies renouvelables.

**Monsieur Letawe :** C'est fini la sortie du nucléaire, je ne sais pas si tu le sais ? [rires].

**Léo :** Oui oui, j'ai vu, je suis un petit peu l'actualité du coup.

**Monsieur Letawe :** Depuis hier, tu vas donc pouvoir refaire un article sur ton TFE, en disant que tout compte fait, c'est pas fini, on recommence [rires].

**Léo :** Oui exactement, c'est vraiment ça. Et donc je vais vous demander d'un petit peu présenter les différents postes et fonctions que vous avez occupé dans le cadre de ce sujet-là, et également les principales tâches que vous avez exercées dans ce contexte, ainsi je pourrais un petit mieux cerner votre parcours.

**Monsieur Letawe :** De formation je suis ingénieur, j'ai terminé à Gramme, puis je suis parti un an à Louvain, j'y ai fait un master en gestion d'entreprise. Suite à ça, j'ai trouvé du travail directement dans une société à Ivoz-Ramet, qui fait l'isolation thermique et acoustique en milieu industriel. Donc ingénieur de formation, je le suis en nucléaire, mais ici rien à voir avec l'énergie nucléaire. J'ai commencé comme gestionnaire de chantier pendant plusieurs années, et puis de fil en aiguille, j'ai plus fait de l'acoustique industrielle. Et puis, ça s'est bêtement fait, un jour j'étais en week-end, je naviguais sur mon PC, et j'ai vu qu'on commençait à parler du photovoltaïque en Belgique. Et le lundi, j'ai proposé à mes collègues de ce moment-là, de créer une société dans le photovoltaïque. Ils ont répondu que pourquoi pas, mais que c'était à moi de m'en occuper. L'avantage c'est que là-bas, on avait déjà les hommes, les camionnettes, donc ça nous permettait de démarrer avec peu d'investissements. Donc, on a créé la société, et au début je me suis occupé du commercial. Après mes heures, j'allais remettre prix pour la famille au début, c'était les cousins, cousines. On a eu nos premières commandes, et là il a fallu savoir comment on allait gérer la société. A ce moment-là, moi j'avais toujours une activité dans l'acoustique industrielle, donc on s'est dit qu'on allait engager quelqu'un qui allait gérer Eco6 et que je le superviserai ; je travaillerai un peu comme deux départements : un acoustique et un photovoltaïque. Donc on a engagé quelqu'un qui devait développer la société et puis ça a un peu végété pendant deux ans, car ce n'était pas vraiment la personne qu'il fallait. Et puis, à un certain moment, on s'est dit qu'on allait arrêter avec lui et chance pour nous, la semaine où on avait décidé de le licencier, il est venu près de moi et m'a dit : écoute Pierre, je me rend bien compte que ça ne va pas, j'arrête et j'ai trouvé un travail autre part. On s'entendait bien et il n'y avait pas de souci, donc lui était un petit peu tout gêné et peiné de m'annoncer ça, et moi je me disais : yes ! Donc à ce moment-là, il n'y avait plus personne, donc on s'est dit que j'allais gérer la société, on a un peu inverser les rôles, donc je suis passé en temps plein à Eco6 et acoustique quand j'en avais le temps. Et là, on est arrivés dans les années où c'était vraiment le boom

du photovoltaïque, aux alentours de 2010, 2011, 2012, et là on a quand même assez vite grandi. On est passé de deux à une petite vingtaine de personnes en deux ans de temps. Dans les tâches que j'ai effectué chez Eco6 c'est un peu tout : j'ai d'abord créé la société, puis il a fallu acheter nos propres camionnettes, notre propre matériel, puis faire les devis, gérer les hommes, payer les salaires, passer les commandes. Et puis quand on a grandi, on a engagé des commerciaux, on en avait deux/trois, puis on a engagé deux gestionnaires d'affaires en plus de moi, qui était le troisième, enfin le patron, je faisais un peu tout. Et on avait aussi un gestionnaire de chantier, qui lui préparait tous les chantiers, et organisait tout pour que ça fonctionne. On a connu des belles années, vraiment deux belles années. Puis est arrivé 2013, où le gouvernement wallon a arrêté tout le système de primes de certificats verts. Donc à ce moment-là, on a essayé de quand même continuer l'activité parce qu'en fait le système des certificats verts était remis en question tous les six mois. Donc c'était chaque fois le même schéma, un mois ou deux avant la fin du système des certificats verts, on avait un boom des commandes qui nous permettait de tenir plusieurs mois après le changement. Et puis le nouveau système était relancé, et là c'était toujours des hauts et des bas et ainsi de suite, c'était toujours une activité en dents de scie. Sauf qu'en 2013, ils ont vraiment arrêté le système, donc ils ont dit on arrête le système des certificats verts et ils ont sorti un nouveau système qui s'appelait « Qualiwatt », où ils voulaient avoir des certifications des installateurs et avoir quelque chose de plus structuré dans le domaine du photovoltaïque. Sauf que le système Qualiwatt a été reporté d'abord de trois mois, puis de six mois, puis d'un an, donc entre temps on avait très peu de travail. On a essayé de faire des toitures, mais la structure de la société était trop lourde, parce que j'avais cinq employés et je n'avais plus que six ouvriers. Donc à un certain moment, il a fallu qu'on arrête car on perdait de l'argent tous les mois, on a donné le préavis à tout le monde et on a arrêté et puis voilà donc toute l'histoire d'Eco6.

**Léo :** D'accord, très intéressant, merci pour toute cette explication. Et donc au niveau des activités d'installation de panneaux photovoltaïques, comment cela se passait-il exactement ? Est-ce que vous produisiez en Belgique, faisiez appel à de la sous-traitance, ou vous passiez plutôt par l'importation ?

**Monsieur Letawe :** Non non, ça on les achetait, il y avait deux sociétés qui produisent ici en Belgique, une à Baillonville, qui s'appelait Final24 et maintenant c'est devenu BeSolar, et il y avait une deuxième c'était Issol, qui existe toujours, je crois, à Verviers, qui était spécialisé dans les panneaux solaires architecturaux, donc pour faire des verrières solaires avec des cellules intégrées. Mais je sais qu'ils ont eu des problèmes, car c'est tous des projets architecturaux, ça prend du temps donc entre la demande de prix, la conception de l'architecte et l'exécution, il y a vite deux/trois ans qui sont passés. Et ici à Baillonville, ils avaient racheté une chaîne, c'était une société qui s'appelait Solar Lux, qui avait été fondée au Luxembourg, puis revendue à Saint-Gobain. En fait au départ tous les producteurs pionniers étaient européens, chez les allemands il y avait des grosses lignes de fabrication, il y avait en Allemagne des gros groupes industriels comme Solar World, qui avait très bonne réputation, par exemple. Mais à un moment dans les années 2010-2015, la Chine a massivement investi dans le photovoltaïque et ils ont subventionné toutes des nouvelles lignes de fabrication là-bas. Le prix de revient des panneaux produits là-bas était tellement bas que toute la filiale photovoltaïque européenne s'est effondrée. Toutes les sociétés de fabrication de panneaux ont arrêté les unes après les autres et il en reste aujourd'hui quelques-unes mais il n'en reste quasi plus rien. Et ce qu'il y a c'est que dans les panneaux, quasi toutes les cellules, c'est vraiment tout ce qui compose le panneau, donc le moteur du panneau, et bien tout est fabriqué en Chine. Il n'en existe pas qui sont fabriqués en Europe. Ce qui reste ici en Europe, c'est uniquement l'assemblage. C'est histoire de dire, on fabrique sur le sol européen, donc on a des critères de qualités européens, mais en pratique, les chinois inondent le marché, et tout vient de chez eux.

**Léo :** D'accord, et vous quand vous étiez au plus haut de votre activité, vos panneaux provenaient toujours d'Europe ?

**Monsieur Letawe** : Non c'était déjà la Chine, enfin on avait les deux, on avait encore des panneaux allemands de chez Solar World mais ils ont fait faillite avant qu'on arrête notre activité. Il y avait un autre fabricant qui avait très bonne réputation aussi, c'était Sun Power qui avait été racheté par Total Énergie. Mais ici pour eux, même chose, alors que c'était une immense boîte américaine, ils ont fait faillite, sans pouvoir concurrencer le prix des chinois. Mais pour les onduleurs, c'était du SMA, donc ça c'était allemand.

**Léo** : D'accord. Une autre question : quels étaient les principaux défis ou les contraintes majeures auxquelles vous deviez faire face dans le cadre de votre entreprise ?

**Monsieur Letawe** : Dans mon cas personnel, c'était vraiment la gestion de la croissance, passer de deux personnes à vingt en deux ans de temps, ça revenait à devoir tout faire : acheter du matériel, trouver des nouveaux fournisseurs, etc. Les problèmes de trésoreries on n'en a pas vraiment eu car on avait la chance de travailler sur acompte, donc les gens payaient un acompte, ce qui nous permettait d'acheter le matériel. Mais oui, le principal défi c'était la croissance et la gestion des fluctuations de charges de travail en fonction des changements politiques constants. On avait pleins de commandes d'un coup à se demander comment y parvenir, car les commandes qu'on avait, pour bénéficier du régime des certificats verts, on devait les installer endéans les six mois qui suivaient. Donc par exemple, si on prenait 200 commandes, elles devaient être faites dans les six mois, sinon les gens n'avaient pas leurs certificats verts et donc forcément ils n'étaient pas contents. Il fallait absolument que l'installation soit posée et réceptionnée endéans les six mois, et ça c'était compliqué parce que lors du boom du photovoltaïque en 2011, on aurait pu prendre jusqu'à 200 commandes en plus mais à un moment j'ai dû dire stop, car à ce moment-là on n'avait pas les équipes pour pouvoir gérer tout ça. Et en plus, c'était les changements de saison, à la fin novembre, on avait la période d'hiver où on ne savait pas travailler sur les toitures, ou pas tous les jours du moins puisqu'il pleut ou il y a du gel ou de la neige. Donc on ne savait pas dire si on allait pouvoir faire 200 installations ou 4000. Et puis ce qu'on a eu aussi, mais ça c'était spécifique à la période, comme il y a eu une explosion du nombre d'installations et bien on a subi une pénurie de panneaux et d'onduleurs. Et donc, il fallait toujours un peu jongler, dès qu'il y avait des panneaux, on achetait et on stockait quasi des conteneurs entiers et puis après il fallait gérer ce stock-là, car c'était beaucoup d'argent.

**Léo** : D'accord, oui je m'en doute. On en a déjà un petit peu parlé justement avec les certificats verts et tout ça mais est-ce que vous pensez que les modifications législatives ont vraiment eu un impact négatif sur les énergies renouvelables, que ce soit du point de vue des professionnels ou des particuliers ?

**Monsieur Letawe** : Dans mon cas, c'est clairement ça qui m'a fait arrêter ma société. Franchement c'était une chouette société, qui tournait bien, dont on était contents et où on s'amusait bien. Les clients étaient contents, le personnel était content aussi, donc c'était une société saine qui tournait bien. C'est simplement le manque d'organisation politique, et l'incompétence politique qui a fait qu'on a du arrêter. Parce qu'en fait on faisait partie d'un groupement d'installateurs et à un certain moment tout le monde voyait bien arriver le fait qu'il y avait une bulle de certificats verts qui était en train de se créer, que les gens mettaient du photovoltaïque uniquement pour l'aspect financier parce que c'était mega super rentable. Et là, il y a avait eu un groupement d'installateurs qui avait prévenu le gouvernement de la nécessité de diminuer le nombre de certificats verts, sinon ça n'allait pas aller. Et puis ils ont tellement trainé, la Région Wallonne a été si peu réactive, qu'on est arrivé à une bulle de certificats verts et ils se sont demandés comment payer tout ça, et puis ont subitement tout coupé. Et c'est cette coupure qui a fait que j'ai dû arrêter la société, et moi comme beaucoup d'autres qui étaient dans le domaine du photovoltaïque en 2013. Il y a peut-être, je ne sais pas, 90% des sociétés qui ont dû arrêté.

**Léo** : D'accord, et c'est super intéressant que vous en parliez parce que je me rends compte que je n'en ai pas du tout assez parlé dans mon mémoire. Est-ce que vous pourriez un petit peu réexpliquer l'évolution du fonctionnement des certificats verts, comment est-ce qu'ils se présentaient au début ? Vous dites qu'ils ont beaucoup évolué, comment est-ce que ça se passait ?

**Monsieur Letawe** : Oui l'histoire des certificats verts ça, tu dois en parler dans ton mémoire parce que c'est ce qui a lancé mais aussi tué le domaine du photovoltaïque. Au début c'était un incitant, car tu avais vraiment pleins de primes. Pour parler d'une installation normale, environ 3500/4000 kWc qui valait environ 20 000 euros, au niveau de la Région wallonne tu pouvais avoir 3500 euros de prime. Maintenant, une installation de ce type peut coûter 8000 euros, c'est le tiers du prix. Un autre avantage était que tu pouvais avoir une déduction fiscale, donc 40% du prix de ton installation tu l'avais en crédit d'impôt. Donc fin de l'année, sur ta fiche d'impôt, si c'était 10 000 euros dans les énergies renouvelables, tu avais 40% donc 4000 euros qui pouvait être diminué de tes impôts. Et puis après, il y avait les certificats verts, donc par 1000 kW produits tu avais 7 certificats verts, enfin c'était des tranches dans les installations en réalité : entre 0 et 5 KVA c'était 7 certificats verts, entre 5 et 10 KVA c'était 5 certificats verts. Et 10 KVA, c'est la limite d'installation chez un particulier. Et donc par tranche de production de ton installation, tu avais 7 certificats verts pour les petites installations. Si je reprends l'exemple de mon installation de 4000 kWc, tu avais une production de 4000 kW par an, donc tu avais  $4 \times 7 = 28$  certificats verts multiplié par 65 euros. Donc ça te faisait une rentrée de 1800 euros par an de certificats verts. Donc, tu totalisais 1800 euros de certificats verts + 3500 euros de primes à l'installation, 40% de déduction fiscale, tu arrivais avec des retours sur investissements de l'ordre de deux/trois ans. Après deux/trois ans, ton installation photovoltaïque était payée et tu avais droit pendant encore 12 ans, le solde donc car les certificats verts c'était 15 ans, à 1800 euros de certificats verts tous les ans. Donc au total, ton installation qui t'avait couté 20 000, elle était payée après 3 ans on va dire, et elle te rapportait quasi 20 000 euros à la fin. Ce système-là était super avantageux. C'était le ministre Antoine du CdH à ce moment-là qui en avait fait la propagande en disant : « il faut faire du photovoltaïque, il faut aider la Région wallonne à atteindre des objectifs de l'Union européenne ». Puisqu'en effet l'origine des certificats verts c'est l'Europe qui s'est fixé des objectifs de réduction de CO<sub>2</sub>, et pour quantifier ces réductions de CO<sub>2</sub> là, ils ont dit : « par kW d'électricité produite, on va octroyer X certificats verts, qui vont donner l'assurance que c'est de l'énergie propre, soit par de la cogénération, soit par de l'éolien, soit par de l'hydraulique, soit par du photovoltaïque. C'est donc les quatre secteurs qui avaient droit à avoir des certificats verts. Donc la Région wallonne a fait la promotion des certificats verts, mais c'était beaucoup beaucoup trop rentable. Les gens se sont rués dessus, il y a eu une explosion des coûts pour la Région wallonne, car c'était elle qui s'était engagée à racheter les certificats verts à un prix minimum de marché de 65 euros. Dès l'explosion des coûts, ils ont tout arrêté car ils ont mal géré ça malheureusement. Plutôt que de donner un incitant au départ et puis de diminuer graduellement, et à partir du moment où le photovoltaïque était rentable même sans apport de certificats verts, ils auraient dû arrêter à ce moment-là. Les gens auraient continué à en mettre parce que c'était beaucoup moins rentable mais c'était quand même plus rentable que de ne rien faire.

**Léo** : D'accord, donc il n'y a pas eu de baisse ?

**Monsieur Letawe** : Si, il y en a eu. Tous les six mois, puis tous les ans, il y a eu une baisse graduelle. C'était d'abord 7 certificats verts, puis il y en a eu 5, puis 4, mais le temps de diminution était trop lent. Donc entre temps, les gens avaient le temps de se ruer dessus, et l'explosion des coûts est arrivée pour la Région wallonne. S'ils avaient été plus proactif et plus rapide, ça ne serait pas arrivé. Quand on y regarde de plus près, c'est un peu ce qui vient de se reproduire avec le compteur qui tourne à l'envers. Même sans les certificats verts, les gens ont mis du photovoltaïque, et avec les compteurs qui tournent à l'envers, il y a eu également un énorme boom pour pouvoir justement profiter encore pendant quelques années de la compensation. Mais maintenant qu'il n'y a plus ce système de compteur qui tourne à l'envers, la pose chez les particuliers s'est encore réduite à une peau de chagrin. Tous les

installateurs qui croulaient sous les demandes l'année passée, il y en a de nouveau pleins qui ont dû arrêter, car la demande n'y est plus.

**Léo :** D'accord, oui je vois. Si vous pouviez m'expliquer ce système de compteurs qui tournent à l'envers, ça m'intéresserait d'avoir l'avis d'un professionnel.

**Monsieur Letawe :** Jusque l'année passée, quand tu produisais du courant, par exemple la journée quand c'est plein soleil, mais que tu ne consommes rien à la maison car tu es au travail, l'électricité est réinjectée sur le réseau. Donc ça passe par ton compteur électrique de ta maison qui décompte, par exemple tu étais à 1000 kW le matin, tu rentres le soir et tu es à 970 kW. Tu as donc produit 30 kW. Le soir ainsi, tu vas consommer de l'électricité, à ce moment-là ton compteur va tourner dans le bon sens, ton compteur va aller vers 971,972,..., jusqu'à repasser au-dessus des 1000. Mais ça veut dire que toute l'électricité que tu as produit avec ton installation était gratuite, car elle était stockée sur le réseau et puis revendue à d'autres consommateurs. Et toi, quand tu consommais le soir, on ne te facturait pas ça, puisque ton compteur tournait dans les deux sens. Tandis que ce qui se passe maintenant, c'est qu'ils ne recomptent pas, donc si tu réinjectes sur le réseau, c'est perdu, il n'y a personne qui te rachète ton électricité, par contre le soir quand tu reviens, il faut quand même que tu paies. Donc en fait, tu ne gagnes jamais que l'électricité que tu consommes en temps réel. Quand tu es à la maison, c'est super, tu consommes ton électricité. Mais quand tu n'es pas à la maison, les gens ne consomment presque rien, puisque la journée à part mettre tourner une machine ou faire chauffer un boîtier d'eau chaude, ou faire recharger ta voiture électrique si tu ne la prends pas pour aller travailler, tu ne sais pas faire grand-chose avec l'électricité que tu as produite avec tes panneaux. Donc, en conclusion, c'est encore une chose qui n'a pas été forcément bien gérée. Pour contre balancer ça, maintenant il y a des stockages par batterie, il existe des onduleurs bidirectionnels, qui rechargent la batterie quand il y a trop d'électricité produite. Et le soir, quand tu consommes, plutôt que de la prendre sur le réseau, il décharge les batteries et il réutilise l'électricité que tu as produite pendant la journée. Mais le problème, c'est que le prix des batteries est encore trop élevé, et que pour l'instant ça coutera plus cher de faire ça, que d'acheter ton électricité sur le réseau.

**Léo :** D'accord, parfait, je vois. J'aurais souhaité également avoir votre avis sur ceci. En 2024, les énergies renouvelables (éolien et solaire) représentaient 42 % de l'électricité produite en Belgique (respectivement 26 % pour l'éolien et 16 % pour le solaire), tandis que le nucléaire en constituait encore 40 % (source : Forum Nucléaire, avril 2024). Dans le cadre de la sortie progressive du nucléaire prévue dans les années à venir, pensez-vous que les énergies renouvelables pourraient occuper une place plus importante dans le mix énergétique belge ?

**Monsieur Letawe :** Il y aura de toutes façons une limite à un certain moment. Parce que par exemple l'électricité photovoltaïque, elle est produite quand il y a du soleil, mais en Belgique en hiver, il n'y en a pas beaucoup du soleil. Il faut une autre source de production d'énergie à ce moment-là. Et puis, l'électricité photovoltaïque, n'est pas non plus constante, ce n'est pas comme une centrale nucléaire qui a une puissance stable dès qu'on la démarre. C'est pour cela qu'on tente des mixes énergétiques pour compenser avec des éoliennes, mais personne n'en veut des éoliennes. Selon moi, ça ne sera quand même pas suffisant pour produire toute l'électricité dont on a besoin. Je le dis depuis le début, mais pour moi, on ne pourra pas se passer du nucléaire. Ou alors, il faudra repasser avec des centrales à énergie fossile pour compenser, mais on ne sait pas tout faire sur l'électricité verte. Ou alors encore, il faudrait des parcs de stockage de batteries énormes mais je ne pense pas que ça soit rentable et les batteries pollueront aussi.

**Léo :** Oui, en effet, je pense notamment à l'Allemagne qui ont essayé d'arrêter totalement le nucléaire et d'augmenter les énergies renouvelables. Mais ils sont en train de revenir sur cette décision.

**Monsieur Letawe** : Oui, tout à fait, ils sont en train de faire marche arrière. Et puis je pense qu'ils sont aussi un peu dépendants des pays limitrophes. Il existe des contrats d'échange d'électricité entre pays, et des fois, l'Allemagne achète à la France ou peut-être l'Italie, et c'est comme ça qu'ils compensent. S'il y a des pays autour qui veulent bien aider en cas de pénurie d'électricité ça va, mais si tout le monde se met à faire ça, je ne crois pas que ça ira.

**Léo** : Oui, donc pour vous la principale limite serait le climat peu favorable en Belgique pour les énergies renouvelables. Mais pensez-vous qu'en termes de réseau électrique (lignes de transport, capacités de stockage, etc.) il est actuellement possible de soutenir cette transition ?

**Monsieur Letawe** : Je n'en sais rien, je ne suis pas gestionnaire de réseau mais on voit quand même bien qu'il y a à l'heure actuelle beaucoup de gens qui se plaignent de décrochage d'installation de panneaux photovoltaïques, parce que sur les onduleurs il y a une limite de tension. Quand une installation réinjecte du courant sur le réseau, quand le courant arrive, il repart, s'il est consommé chez le voisin il n'y a pas de souci. En bout de ligne, il y a souvent un transformateur, et tous les transformateurs ont été conçus pour normalement bien fonctionner dans un sens. Avant, tu avais la centrale nucléaire au centre et qui alimentait toutes les maisons, tandis que maintenant c'est les maisons qui produisent qui réinjectedent sur le réseau, mais les transformateurs font un peu comme bouchon. Donc ça bouche la réinjection de l'électricité, et les gestionnaires de réseaux sont obligés de faire des modifications de leur réseau et mettre des nouveaux transformateurs pour faire en sorte que ça fonctionne bien. Mais en fin de compte, on voit que ça fait 15 ans qu'on parle du photovoltaïque, mais même après toutes ces années, il existe encore des problèmes. Je pense que ça restera pendant encore un bon petit bout de temps, un problème à régler. Tout le monde le dit, c'était un peu une utopie de dire qu'on allait arrêter les centrales nucléaires. Quand ça a été signé, c'était une époque où tout le monde voulait sauver la planète. Mais quand on a dit qu'on aurait plus de courant pour regarder la télévision le soir, même si c'est écologique, tout le monde en veut un peu moins et devient un peu moins écologique (rires).

**Léo** : Oui c'est vrai. Je pense avoir eu le temps de vous poser toutes mes questions, je vous remercie beaucoup pour le temps que vous m'avez accordé pour cette interview et vous annonce déjà qu'elle a été très enrichissante pour la réflexion de mon mémoire.

## 7. Bibliographie

- Adam, A. M. (2020). Sample Size Determination in Survey Research. *Journal of Scientific Research and Reports*, 90-97. <https://doi.org/10.9734/jsrr/2020/v26i530263>
- Aditya, F., Pratama, R. S., Silaban, F., Hasibuan, M., Siregar, R., & Manurung, M. F. (2023). Krisis Lingkungan Dan Implikasinya Terhadap Keamanan Manusia : (Studi Kasus Pembuangan Limbah Nuklir Oleh Jepang). *Student Research Journal*, 1(6), Article 6. <https://doi.org/10.55606/srijyappi.v1i6.829>
- Agoria. (2024, juin 12). Transition énergétique et climatique : L'industrie technologique wallonne à un moment charnière de son histoire. *Planet Business*. <https://fr.planet-business.be/transition-energetique/transition-energetique-et-climatique-lindustrie-technologique-wallonne-a-un-moment-charniere-de-son-histoire/>
- Agrell, P., & Gautier, A. (2015a). Marchés énergétiques en transition : Le cas de la Belgique. *Reflets et perspectives de la vie économique*, LIV(1), 5-6. <https://doi.org/10.3917/rpve.541.0005>
- Agrell, P., & Gautier, A. (2015b). *Reflets et perspectives de la vie économique 2015/1 (Tome LIV)*. <https://shs.cairn.info/revue-reflets-et-perspectives-de-la-vie-economique-2015-1>
- Allemagne Energies. (2018, janvier 15). Historique de la sortie du nucléaire. *Allemagne Energies*. <https://allemande-energies.com/sortie-du-nucleaire/>
- Atlantico. (2024, décembre 13). *Cette catastrophe énergétique et environnementale dans laquelle s'enfonce l'Allemagne (et les écologistes n'y sont pas pour rien...)*. Atlantico. <https://atlantico.fr/article/decryptage/cette-catastrophe-energetique-et-environnementale-dans-laquelle-senfonce-lallemande-et-les-ecologistes-ny-sont-pas-pour-rien-fabien-bougle>
- Brénon, F., & Harari, A. (2023, avril 21). *Avec quels matériaux sont fabriquées les éoliennes et comment les recycler ?* Mediachimie. <https://www.mediachimie.org/actualite/avec-quels-mat%C3%A9riaux-sont-fabriqu%C3%A9es-les-%C3%A9oliennes-et-comment-les-recycler?>
- Breteau, P. (2024, mai 9). *Les dérapages de l'EPR de Flamanville en graphiques : Le coût multiplié par six, la durée du chantier par quatre.* [https://www.lemonde.fr/les-decodeurs/article/2024/05/09/les-derapages-de-l-epr-de-flamanville-en-graphiques-le-cout-multiplie-par-six-la-duree-du-chantier-par-quatre\\_5480745\\_4355771.html](https://www.lemonde.fr/les-decodeurs/article/2024/05/09/les-derapages-de-l-epr-de-flamanville-en-graphiques-le-cout-multiplie-par-six-la-duree-du-chantier-par-quatre_5480745_4355771.html)
- Carleone, A. (2022, septembre 13). *Les causes de la faillite de la politique énergétique allemande*. Ecole de Guerre Economique. <https://www.ege.fr/infoguerre/les-causes-de-la-faillite-de-la-politique-energetique-allemande>
- Climact. (2025, mars 13). *L'évolution de la stratégie énergétique de la Belgique : De la sortie du nucléaire au doublement du potentiel*. Climact. <https://climact.com/fr/le-virage-nucleaire-de-la-belgique-quelles-sont-les-consequences-pour-lavenir-energetique/>

- Collard, F. (2023). Les producteurs d'énergie en Belgique: Electrabel et les autres opérateurs historiques. *Courrier hebdomadaire du CRISP*, 25812582(16), 5-101. <https://doi.org/10.3917/cris.2581.0005>
- Collignon, A. (2025, juin 5). Le Ministre Bihet freine le développement de l'éolien offshore. *Canopea*. <https://www.canopea.be/le-ministre-bihet-freine-le-developpement-de-leolien-offshore/>
- Connaissances des énergies. (2024a, mai 31). *Lignite : Définition et exploitation des briquettes de houille brune. Connaissances des énergies.* <https://www.connaissancesdesenergies.org/fiche-pedagogique/lignite>
- Connaissances des énergies. (2024b, août 19). *Centrale à gaz classique & à cycle combiné pour production électrique. Connaissances des énergies.* <https://www.connaissancesdesenergies.org/questions-et-reponses-energies/quest-ce-qui-differentie-une-centrale-gaz-cycle-combine-d'une-centrale-classique>
- Conseil européen. (2025a, mars 21). *Législation sur les matières premières critiques.* Consilium. <https://www.consilium.europa.eu/fr/infographics/critical-raw-materials/?>
- Conseil européen. (2025b, avril 10). *Comment l'électricité de l'UE est-elle produite et vendue?* Consilium. <https://www.consilium.europa.eu/fr/infographics/how-is-eu-electricity-produced-and-sold/>
- CREG. (s. d.-a). *Parts de marché des fournisseurs d'énergie.* Consulté 28 février 2025, à l'adresse <https://www.creg.be/fr/consommateurs/le-marche-de-lenergie/parts-de-marche-des-fournisseurs-denergie>
- CREG. (s. d.-b). *Qui fait quoi sur le marché de l'énergie ?* CREG. Consulté 2 août 2025, à l'adresse <https://www.creg.be/fr/consommateurs/le-marche-de-lenergie/qui-fait-quoi-sur-le-marche-de-lenergie>
- CREG. (2024). *Étude sur l'impact de l'intégration des énergies renouvelables sur le fonctionnement des marchés de l'électricité à court terme.* <https://www.creg.be/fr/publications/etude-f2866?>
- CRISP. (1976). Le secteur nucléaire en Belgique : Développement et structures actuelles. *Courrier hebdomadaire du CRISP*, 718719(12), 1-41. <https://doi.org/10.3917/cris.718.0001>
- Czupryk, M. (2024, février 12). *La Belgique va devoir économiser 27 milliards d'euros : "Une bombe atomique".* 7sur7.be. <https://www.7sur7.be/economie/la-belgique-va-devoir-economiser-27-milliards-deuros-une-bombe-atomique~a9bf117f/>
- Echávarri, L. E. (2006). Énergie nucléaire. *L'Observateur de l'OCDE*, 258/259, 17-19.
- ECOinfos. (s. d.). *Les émissions de CO2 par source d'énergie (ACV).* ECOinfos. Consulté 12 juin 2025, à l'adresse <https://www.les-energies-renouvelables.eu/conseils/bilan-carbone/emission-co2-energie/>
- European Commission. (2022, mai 18). *REPowerEU.* [https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/repowereu-affordable-secure-and-sustainable-energy-europe\\_en](https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/repowereu-affordable-secure-and-sustainable-energy-europe_en)

Eurostat. (s. d.). *Glossary : Carbon dioxide equivalent*. Consulté 12 juin 2025, à l'adresse [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Carbon\\_dioxide\\_equivalent](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Carbon_dioxide_equivalent)

Eurostat. (2024a, juin). *Energy production and imports*. [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy\\_production\\_and\\_imports](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy_production_and_imports)

Eurostat. (2024b, décembre). *Statistiques sur les énergies renouvelables*. [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Renewable\\_energy\\_statistics](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Renewable_energy_statistics)

Fedossenko, K. (2025, février 12). *Loi industrie verte : Un levier pour accélérer la transition énergétique des entreprises*. Idex. <https://www.idex.fr/le-blog/loi-industrie-verte-un-levier-pour-accelerer-la-transition-energetique-des-entreprises>

Friedman, S. M. (2011). Three Mile Island, Chernobyl, and Fukushima : An analysis of traditional and new media coverage of nuclear accidents and radiation. *Bulletin of the Atomic Scientists*, 67(5), 55-65. <https://doi.org/10.1177/0096340211421587>

G. P., G., & S., V. (2013). Determinants of Electricity Price in Competitive Power Market. *International Journal of Business and Management*, 8(21), p70. <https://doi.org/10.5539/ijbm.v8n21p70>

Gasparella, A., Koolen, D., & Zucker, A. (2023). *The Merit Order and Price-Setting Dynamics in European Electricity Markets*. JRC Publications Repository. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC134300>

Gouvernement Bart De Wever. (2025). *ACCORD DE COALITION FÉDÉRALE*. [https://www.belgium.be/fr/publications/accord\\_de\\_gouvernement\\_du\\_gouvernement\\_federal\\_bar\\_t\\_de\\_wever](https://www.belgium.be/fr/publications/accord_de_gouvernement_du_gouvernement_federal_bar_t_de_wever)

Hache, E. (2018). Do renewable energies improve energy security in the long run? *International Economics*, 156, 127-135. <https://doi.org/10.1016/j.inteco.2018.01.005>

Ho, S. S., & Kristiansen, S. (2019). Environmental Debates over Nuclear Energy : Media, Communication, and the Public. *Environmental Communication*, 13(4), 431-439. <https://doi.org/10.1080/17524032.2019.1603018>

Högselius, P., & Kaijser, A. (2019). Energy dependence in historical perspective : The geopolitics of smaller nations. *Energy Policy*, 127, 438-444. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.12.025>

Hölsgens, R. (2019). Resource dependence and energy risks in the Netherlands since the mid-nineteenth century. *Energy Policy*, 125, 45-54. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.10.020>

Hupin, B. (2015, décembre 6). *La Belgique pourrait-elle fonctionner avec 100% d'énergie renouvelable?* RTBF. <https://www.rtbf.be/article/la-belgique-pourrait-elle-fonctionner-avec-100-d-energie-renouvelable-9152305>

- Hupin, B. (2023, juin 28). *Enfouissement des déchets nucléaires : Le chantier du siècle au budget incertain.* RTBF. <https://www.rtbf.be/article/enfouissement-des-dechets-nucleaires-le-chantier-du-siecle-au-budget-uncertain-11175509>
- Idoko, I. P., Ayodele, T. R., Abolarin, S. M., & Ewim, D. R. E. (2023). Maximizing the cost effectiveness of electric power generation through the integration of distributed generators : Wind, hydro and solar power. *Bulletin of the National Research Centre*, 47(1), 166. <https://doi.org/10.1186/s42269-023-01125-7>
- IEA. (2024). *Belgium—Countries & Regions*. IEA. <https://www.iea.org/countries/belgium/electricity>
- International Energy Agency. (2020). *Power systems in transition : Challenges and opportunities ahead for electricity security*. OECD. <https://doi.org/10.1787/4ad57c0e-en>
- IRENA. (2023). *Global landscape of renewable energy finance 2023*. <https://www.ourenergypolicy.org/resources/global-landscape-of-renewable-energy-finance-2023>
- Jensen, J. P. (2019). Evaluating the environmental impacts of recycling wind turbines. *Wind Energy*, 22(2), 316-326. <https://doi.org/10.1002/we.2287>
- Kunsch, P. L., & Friesewinkel, J. (2014). Nuclear energy policy in Belgium after Fukushima. *Energy Policy*, 66, 462-474. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.11.035>
- La FEBEG. (s. d.). *Statistiques électricité*. Consulté 30 mai 2025, à l'adresse <https://www.febeg.be/fr/statistiques/statistiques-electricite>
- Lauer, H. (2024, septembre 12). La sortie du nucléaire aurait coûté des centaines de milliards d'Euros à l'Allemagne sans amener une amélioration de son bilan de gaz à effet de serre. *Allemagne Energies*. <https://allemagne-energies.com/2024/09/12/la-sortie-du-nucleaire-aurait-coute-des-centaines-de-milliards-deuros-a-lallemagne-sans-amener-une-amelioration-de-son-bilan-de-gaz-a-effet-de-serre/>
- Lauer, H. (2025, janvier 5). Allemagne : Les chiffres clés de l'énergie en 2024. *Allemagne Energies*. [https://allemagne-energies.com/2025/01/05/\\_trashed/](https://allemagne-energies.com/2025/01/05/_trashed/)
- Le Figaro. (2025, mai 15). *Belgique : Le Parlement abroge la sortie du nucléaire qui était inscrite dans la loi depuis 2003*. Le Figaro. <https://www.lefigaro.fr/international/belgique-le-parlement-abroge-la-sortie-du-nucleaire-qui-était-inscrite-dans-la-loi-depuis-2003-20250515>
- L'Echo. (2025, mai 16). *La sortie du nucléaire est abrogée, un acte pas uniquement symbolique*. L'Echo. <https://www.lecho.be/economie-politique/belgique/federal/la-sortie-du-nucleaire-est-abrogee-un-acte-pas-uniquement-symbolique/10607372.html>
- Leloux, J., Narvarte, L., & Trebosc, D. (2012). Review of the performance of residential PV systems in Belgium. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), 178-184. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.145>
- Liu, J., & Dai, W. (2019). Overview of nuclear waste treatment and management. *E3S Web of Conferences*, 118, 04037. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201911804037>

Livet, A. (2023, juin 15). *Crise énergétique : Quels enjeux pour l'Allemagne ?* <https://www.frstrategie.org/publications/defense-et-industries/crise-energetique-quels-enjeux-pour-allemagne-2023>

London Economics. (2004). *Structure and Functioning of the Electricity Market in Belgium in a European Perspective.* <https://londoneconomics.co.uk/blog/publication/structure-and-functioning-of-the-electricity-market-in-belgium-in-a-european-perspective>

Luminus. (2024). *Fin du compteur qui tourne à l'envers.* Luminus. <https://www.luminus.be/fr/particuliers/solutions-et-equipements/panneaux-solaires/fin-du-compteur-qui-tourne-a-l-envers/>

Monjon, S. (s. d.). *MARCHÉS DE DROITS À POLLUER.* Encyclopædia Universalis. Consulté 27 mai 2025, à l'adresse <https://www.universalis.fr/encyclopedie/marches-de-droits-a-polluer/>

Nazir, M. S., Ali, N., Bilal, M., & Iqbal, H. M. N. (2020). Potential environmental impacts of wind energy development : A global perspective. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 13, 85-90. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2020.01.002>

Nucleair Forum. (2024, juin 5). *Sondage mars 2024 : Les électeurs de tous les partis sont de fervents partisans des réacteurs nucléaires existants et nouveaux.* <https://www.forumnucleaire.be/sondage-nucléaire-politique-2024>

Nucleair Forum. (2025, juillet 3). *Mix électrique belge 2024 : L'énergie nucléaire reste la principale source d'électricité domestique, les importations sont considérables et la consommation de gaz est historiquement faible.* Nucleair Forum. <https://www.forumnucleaire.be/actus/mix-electrique-belge-2024>

Nuclear Energy Agency & Internationale Atomenergie-Organisation (Éds.). (2012). *Uranium 2011 : Resources, production and demand* (24th ed.). OECD Nuclear Energy Agency.

Oberhuber, A., Mariniello, S., & Asselin, O. (2011). *L'ère électrique—The Electric Age.* University of Ottawa Press / Les Presses de l'Université d'Ottawa.

Olivier, A. (2024, novembre 21). Infographies : Les émissions de gaz à effet de serre dans l'Union européenne. *Touteurope.eu.* <https://www.touteurope.eu/environnement/les-emissions-de-gaz-a-effet-de-serre-dans-l-union-europeenne/>

Oxford Institute for Energy Studies. (2025). *Global electricity demand : What's driving growth and why it matters?* <https://www.oxfordenergy.org/publications/global-electricity-demand-whats-driving-growth-and-why-it-matters/>

Palm, J. (2018). Household installation of solar panels – Motives and barriers in a 10-year perspective. *Energy Policy*, 113, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.10.047>

- Portley, J. (2021, août 10). *Énergies alternatives : La maintenance des éoliennes*. KnowHow. <https://knowhow.distrelec.com/fr/energie-et-alimentation-electrique/energies-alternatives-comment-entretenir-les-eoliennes/>
- Prime, J., Ahmed, I. A., Akande, D., Elhassan, N., Melnikov, Y., & Whiteman, A. (2025). *RENEWABLE CAPACITY STATISTICS 2025*. <https://www.irena.org/Publications>
- Rahman, A., Farrok, O., & Haque, M. M. (2022). Environmental impact of renewable energy source based electrical power plants : Solar, wind, hydroelectric, biomass, geothermal, tidal, ocean, and osmotic. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 161, 112279. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112279>
- Ramana, M. V. (2009). Nuclear Power : Economic, Safety, Health, and Environmental Issues of Near-Term Technologies. *Annual Review of Environment and Resources*, 34(1), 127-152. <https://doi.org/10.1146/annurev.environ.033108.092057>
- Rej, S., Bandyopadhyay, A., Awan, A., & Abbasi, K. R. (2024). Analyzing the role of nuclear energy in the nexus of economic growth and environmental pollution in Belgium? Evidence from wavelet coherence method. *Environment, Development and Sustainability*. <https://doi.org/10.1007/s10668-024-05193-1>
- Renouvelle. (2025, janvier 1). *Électricité renouvelable*. Renouvelle. <https://www.renouvelle.be/fr/faits-chiffres/electricite-renouvelable/>
- 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>
- Siksnelyte-Butkiene, I. (2023). Defining the Perception of Energy Security : An Overview. *Economies*, 11(7), 174. <https://doi.org/10.3390/economies11070174>
- Silva, N., Fuinhas, J. A., Koengkan, M., Kazemzadeh, E., & Kaymaz, V. (2023). Renewable energy deployment in Europe : Do politics matter? *Environment, Development and Sustainability*. <https://doi.org/10.1007/s10668-023-03839-0>
- Société Chimique de France. (s. d.). *Houille—Produits SCF*. Société Chimique de France (SCF). Consulté 16 août 2025, à l'adresse <https://new.societechimiquedefrance.fr/produits/houille/>
- SPF Affaires étrangères. (2024, novembre 8). *Énergie et climat*. SPF Affaires étrangères - Commerce extérieur et Coopération au Développement. <http://diplomatie.belgium.be/fr/politique/coordination-des-affaires-europeennes/la-politique-de-la-belgique-au-sein-de-lue/energie-et-climat>
- SPF Economie. (2019). *Le marché belge de l'électricité et la libéralisation*. SPF Economie. <https://economie.fgov.be/fr/themes/energie/sources-et-vecteurs-denergie/electricite/le-marche-belge-de>
- SPF Economie. (2025, janvier 1). *Compétitivité énergétique*. SPF Economie. <https://economie.fgov.be/fr/themes/analyses-et-etudes/tableau-de-bord-de-la/determinants-de-la/competitivite-energetique>

Statbel. (2024, juin 5). *Ménages*. Statbel. <https://statbel.fgov.be/fr/themes/population/structure-de-la-population/menages>

Statista. (2025). *Global electricity consumption 2023*. Statista. <https://www.statista.com/statistics/280704/world-power-consumption/>

Stucki, M., Götz, M., de Wild-Scholten, M., & Frischknecht, R. (2024). *Environmental Life Cycle Assessment of Electricity from PV systems – 2023 data update*. <https://iea-pvps.org/fact-sheets/factsheet-environmental-life-cycle-assessment-of-electricity-from-pv-systems/>

Synergrid. (2024). *31 Milliards à investir dans les réseaux d'énergie belges d'ici 2030*. <https://www.synergrid.be/fr/news-centre/press-room>

Trebbien, J., Rydin Gorjão, L., Praktiknjo, A., Schäfer, B., & Withaut, D. (2023). Understanding electricity prices beyond the merit order principle using explainable AI. *Energy and AI*, 13, 100250. <https://doi.org/10.1016/j.egyai.2023.100250>

Tsoutsos, T., Frantzeskaki, N., & Gekas, V. (2005). Environmental impacts from the solar energy technologies. *Energy Policy*, 33(3), 289-296. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(03\)00241-6](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(03)00241-6)

Union of Concerned Scientists. (2013, mars 5). *Environmental Impacts of Solar Power*. <https://www.ucsusa.org/resources/environmental-impacts-solar-power>

U.S. Departement of ENERGY. (s. d.). *Advantages and Challenges of Wind Energy*. Energy.Gov. Consulté 14 mai 2025, à l'adresse <https://www.energy.gov/eere/wind/advantages-and-challenges-wind-energy>

U.S. Departement of ENERGY. (2015). *Wind Energy Benefits*. <https://www.osti.gov/biblio/1169772>

U.S. Energy Information Administration (EIA). (s. d.). *Glossary*. Consulté 8 mai 2025, à l'adresse <https://www.eia.gov/tools/glossary/index.php>

Uzondu, N. C., & Lele, D. D. (2024). Comprehensive analysis of advancements in wind turbine design and offshore wind energy integration : Technological innovations, economic viability, and environmental impacts. *International Journal of Applied Research in Social Sciences*, 6(8), 1538-1556. <https://doi.org/10.51594/ijarss.v6i8.1369>

Wallonie énergie SPW. (s. d.). *Les accords de branche 2014-2020-2023*. Site énergie du Service public de Wallonie. Consulté 24 juillet 2025, à l'adresse <https://energie.wallonie.be/fr/les-accords-2014-2020-2023.html?IDC=7863>

Weron, R. (2006). *Modeling and Forecasting Electricity Loads and Prices : A Statistical Approach* (1<sup>re</sup> éd.). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118673362>

Wilquin, M. (2023, janvier 16). *Peut-on toujours croire au 100 % renouvelable à l'horizon 2050 ? Comment la Belgique s'y prépare-t-elle ?* RTBF. <https://www.rtbf.be/article/peut-on-toujours-croire-au-100-renouvelable-a-l-horizon-2050-comment-la-belgique-s-y-prepare-t-elle-11137291>

Winzer, C. (2012). Conceptualizing energy security. *Energy Policy*, 46, 36-48. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.02.067>

World Nuclear Association. (2024, mai 13). *Nuclear Power in Belgium*. World Nuclear Association.

<https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-a-f/belgium?>

Yamamura, E. (2012). Experience of technological and natural disasters and their impact on the perceived risk of nuclear accidents after the Fukushima nuclear disaster in Japan 2011 : A cross-country analysis.

*The Journal of Socio-Economics*, 41(4), 360-363. <https://doi.org/10.1016/j.socec.2012.04.002>

## EXECUTIVE SUMMARY

This research analyzes the Belgian energy mix in the context of the gradual phase-out of nuclear power and the rise of renewable energy. The central research question is: *“How could Belgium meet its electricity demand, considering on-the-ground realities, as well as the European and geopolitical context, in light of a potential reduction in nuclear production?”* The sub-questions explored the feasibility of increasing reliance on renewables, their attractiveness for long-term investments, and the risks they may pose for society.

The methodology adopted combines three approaches: a survey of more than 400 citizens to gather their perceptions, interviews with two professionals from the electricity sector, and a document-based analysis. This triangulation allowed for the confrontation of initial hypotheses with diversified qualitative data.

The results highlight both the strengths and the limitations of renewable energy in the Belgian context. While renewables offer major opportunities for the energy transition, their large-scale integration faces technical, economic, and societal challenges.

It is therefore not possible to claim that a massive increase in their share of the energy mix represents a direct and unique solution to meet demand. However, in the short and medium term, they provide a relevant complement to nuclear power, whose extension has already been decided by policymakers.

Belgium's energy future thus relies above all on changes in mindsets and consumption behaviors. Energy sobriety and more rational use of electricity appear as prerequisites for the stable integration of renewables. These remain an essential lever of the transition, but their deployment must be accompanied by a responsible management of nuclear power, particularly regarding waste, in order to ensure a credible energy policy aligned with European requirements.

### MOTS-CLÉS/KEYWORDS:

Électricité, nucléaire, renouvelable, mix énergétique, Belgique, environnement, sécurité énergétique, interconnexions, dépendance énergétique, investissements, infrastructures électriques, politiques énergétiques, éolien, photovoltaïque.

**NOMBRE DE MOTS/WORD COUNT: 28461**



---

*Ecole de Gestion de l'Université de Liège*