
Research-Thesis, COLLÉGIALITÉ

Auteur : Stobbe, Bart

Promoteur(s) : Gautier, Axel

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

Diplôme : Master en sciences économiques, orientation générale, à finalité spécialisée en macroeconomics and finance

Année académique : 2019-2020

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/10750>

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.



Le coût de l'énergie verte en Wallonie pour la période 2003-2019

Mémoire présenté par

Bart Stobbe

En de l'obtention du diplôme de

**Master en sciences économiques, orientation générale, à
finalité spécialisée en macroeconomics and finance**

Année académique **2019-2020**

Promoteur

A. Gautier

Lecteurs

R.Fonteneau

B.Thiry

Remerciements

Tout d'abord je souhaiterais remercier mon promoteur, Monsieur Gautier, qui m'a donné l'opportunité de travailler sur cette question de recherche. Je le remercie également pour sa disponibilité et ses conseils donnés tout au long de ce travail.

Ensuite, je remercie Monsieur Fonteneau et Monsieur Thiry pour la lecture de mon mémoire ainsi que leurs futures remarques qu'ils m'adresseront durant la défense orale de ce travail.

Finalement, je tiens à remercier ma famille, mes amis et ma copine pour leur soutien inconditionnel apporté tout au long de mon parcours universitaire et tout particulièrement durant cette dernière année marquant la transition entre les études et le monde professionnel.

Executive Summary

Cette recherche estime le coût des mécanismes de soutien à la production d'électricité issue de sources d'énergie renouvelables et de cogénération en Wallonie pour la période de 2003 à 2019. Ce coût est exprimé en soutien octroyé par MWh d'électricité produit ainsi qu'en tonne de CO₂ évité.

D'une part, le soutien/MWh est calculé sur base des certificats octroyés sous le mécanisme des certificats verts ainsi que des primes QualiWatt. Le soutien accordé représente un montant total de 6.340.694.002€, soit 100,11€/MWh produit pour l'ensemble des filières. De ce montant global, l'étude montre que le solaire photovoltaïque a reçu le soutien le plus important comparativement aux autres filières, soit 449,24€ sur la période 2003 à 2019.

D'autre part, le coût de la tonne de CO₂ évité par les filières est calculé sous l'hypothèse que chaque MWh d'électricité verte injecté sur le réseau éviterait le taux d'émission de CO₂ du mix énergétique moyen wallon « polluant » (sans les énergies vertes). En divisant le subside moyen pour l'ensemble des filières par ce taux d'émission de CO₂, un coût de la tonne de CO₂ de 880,87€ a été trouvé. La filière du solaire photovoltaïque ressort à nouveau avec le coût le plus élevé estimé à 3.953,03€ t/CO₂.

Ces résultats ont pu être comparés à d'autres pays de l'Union européenne ainsi qu'à des taux de référence issues de la littérature. Il en est ressorti que la Wallonie est l'une des régions les plus généreuses dans son soutien accordé à la production d'électricité verte. De plus, son coût de la tonne de CO₂ évité est extrêmement élevé.

INTRODUCTION.....	5
1 LE MARCHÉ DE L'ÉLECTRICITÉ VERTE ET RENOUVELABLE EN WALLONIE	6
1.1 INTRODUCTION.....	6
1.2 DÉFINITIONS	7
1.3 CHIFFRES SUR L'ÉLECTRICITÉ VERTE EN WALLONIE.....	7
1.4 CHIFFRES SUR L'ÉLECTRICITÉ RENOUVELABLE EN WALLONIE.....	10
2 LES MÉCANISMES DE SOUTIEN À LA PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ VERTE EN WALLONIE	13
2.1 INTRODUCTION.....	13
2.2 LE SYSTÈME DES CERTIFICATS VERTS EN WALLONIE.....	13
2.2.1 <i>Historique et fonctionnement du mécanisme des certificats verts</i>	14
2.2.2 <i>Chiffres sur le marché des certificats verts</i>	15
2.3 LA RÉFORME « QUALIWATT »	19
2.4 L'ÉTAT ACTUEL EN WALLONIE.....	19
3 LE COÛT DES MÉCANISMES DE SOUTIEN À LA PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ VERTE EN WALLONIE.....	20
3.1 INTRODUCTION.....	20
3.2 MÉTHODOLOGIE	20
3.2.1 <i>Méthodologie de calcul pour les certificats verts</i>	20
3.2.2 <i>Méthodologie de calcul pour les primes « Quali watt »</i>	21
3.3 LE COÛT DES SOUTIENS À LA PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ VERTE	22
3.3.1 <i>Le coût du système des certificats verts</i>	22
3.3.2 <i>Le coût du système « Quali watt »</i>	23
3.3.3 <i>Le coût total du soutien à la production d'électricité verte</i>	24
3.4 COMPARAISONS INTERNATIONALES DES DIFFÉRENTS MÉCANISMES DE SOUTIEN	24
3.4.1 <i>La place de la Belgique</i>	25
3.4.2 <i>Le soutien accordé pour l'ensemble des filières SER</i>	26
3.4.3 <i>La filière du solaire photovoltaïque</i>	27
3.4.4 <i>La filière de l'hydraulique</i>	28
3.4.5 <i>La filière de l'éolien</i>	29
3.4.6 <i>La filière de la biomasse</i>	30
3.5 DISCUSSION SUR LES RÉSULTATS.....	31
4 LE COÛT DE LA TONNE DE CO2 ÉVITÉ PAR LES FILIÈRES VERTES EN WALLONIE	32
4.1 INTRODUCTION.....	32
4.2 MÉTHODOLOGIE	33
4.3 LE COÛT DE LA TONNE DE CO2 ÉVITÉ EN WALLONIE.....	33
4.3.1 <i>Selon la méthodologie « CWaPE »</i>	33
4.3.2 <i>Selon la méthodologie « Mix énergétique »</i>	35
4.4 COMPARAISONS INTERNATIONALES.....	39
4.4.1 <i>Comparaisons par filière</i>	41
4.4.2 <i>Coût de la tonne de CO2 évité wallonne en fonction du mix énergétique</i>	45
4.5 DISCUSSION SUR LES RÉSULTATS.....	46
5 CONCLUSIONS DE L'ÉTUDE.....	47
6 BIBLIOGRAPHIE.....	49
7 ANNEXES.....	53

Introduction

La Belgique ainsi que la Wallonie s'inscrivent depuis des années dans une démarche de transition durable. Un des volets de cette transition concerne la production d'électricité issue de sources d'énergie renouvelables et l'électricité verte. Les différentes lois adoptées par le Gouvernement wallon s'inscrivent dans une volonté européenne de promouvoir la production d'électricité à partir de sources d'énergie renouvelables et de la cogénération. En effet, plusieurs directives européennes vont dans ce sens comme la directive 2001/77/CE¹ qui a été modifiée et abrogée par la directive 2009/28/CE², elle-même modifiée plus récemment par la directive 2018/2001³ portant sur les objectifs à l'horizon 2030 de l'Union. La directive 2004/8/CE⁴ est quant à elle plus spécifique à la cogénération. Ces différentes directives obligent les états membres à mettre en place des mesures, comme par exemple des régimes d'aide, afin de promouvoir la production d'électricité à partir de sources d'énergie renouvelables ou verte.

Les différents mécanismes de soutien peuvent se classer dans deux grandes catégories ; ceux axés sur le prix comme les tarifs d'injection⁵ (FIT) et ceux sur la quantité comme les certificats verts échangeables⁶ (CV). Ce dernier, est le système choisi par la Wallonie. Nicolini & Tavoni (2017) ont montré dans leur étude sur les cinq plus grands pays de l'Union européenne, qu'il existe une corrélation positive entre le soutien octroyé et la production d'électricité. Le système des tarifs d'injection est reconnu par de nombreux auteurs comme le meilleur système parmi ceux existants. En effet, d'après Hass & al. (2010) le système FIT dynamique permet, à court terme, un certain déploiement des installations de sources d'énergie renouvelables (SER) au moindre coût pour la société. Comparativement au système CV, deux avantages ressortent ; (1) une facilité d'implémentation et de modification et (2) des coûts administratifs plus bas. Le système des CV coûterait plus cher aux consommateurs, surtout si les producteurs reçoivent beaucoup de soutien pour les filières où le prix de production de l'installation est bas. Dans ce sens, Falconett et Nagaska (2009) concluent dans leur analyse comparative de différents mécanismes de soutien, que le mécanisme des CV favorise les technologies les plus compétitives (comme l'hydraulique) tandis que le système FIT favorise les technologies plus matures (comme le photovoltaïque ou l'éolien) en appliquant des tarifs spécifiques pour les différentes technologies. Haas &

¹ Directive 2001/77/CE du Parlement européen et conseil du 27 septembre 2001 relative à la promotion de l'électricité produite à partir de sources d'énergie renouvelables sur le marché intérieur de l'électricité.

² Directive 2009/28/CE du Parlement européen et conseil du 23 avril 2009 relative à la promotion de l'utilisation de l'énergie produite à partir de sources renouvelables et modifiant puis abrogeant les directives 2001/77/CE et 2003/30/CE.

³ Directive 2018/2001 du Parlement européen et du conseil du 11 décembre 2018 relative à la promotion de l'utilisation de l'énergie produite à partir de sources renouvelables.

⁴ Directive 2004/8/CE du Parlement européen et du conseil du 11 février 2004 relative à la promotion de la cogénération sur la base de la demande de chaleur utile dans le marché intérieur de l'énergie.

⁵ Aussi appelés les feed-in-tariffs (FIT). Avec les FIT, le producteur d'énergie verte reçoit un prix supérieur à celui du marché pour l'électricité qu'il produit.

⁶ Expliqué plus en détails dans la suite de ce rapport.

al.(2011) ont cependant montré que le mécanisme de CV avait évolué à l'égard de certaines filières. Bergek et Jacobsson (2010) ont également montré que le mécanisme des CV serait un moyen efficace pour atteindre un certain niveau de part d'électricité SER produite dans la production totale.

L'objectif de ce rapport est ainsi de déterminer le coût des mécanismes de soutien à la production d'électricité verte en Wallonie pour la période 2003-2019. En premier lieu, c'est le coût du soutien par MWh produit qui est calculé et analysé. Ceci permettra notamment d'estimer le soutien apporté à chaque filière productrice d'énergie verte en Wallonie. Ensuite, le coût du soutien apporté aux énergies renouvelables est mis en perspective avec le coût d'autres mécanismes de soutien dans des pays de l'Union européenne afin d'estimer la générosité ou non du système wallon. Dans un second temps, le coût du soutien est exprimé en tonne de CO₂ évité afin de mesurer l'efficacité du système quant à l'objectif d'une réduction des émissions de CO₂ au moindre coût. Ici aussi, des comparaisons ont été faites avec d'autres pays et certaines références du prix carbone dans le but cette fois d'estimer si la décarbonisation du mix énergétique wallon se fait au moindre coût ou non.

1 Le marché de l'électricité verte et renouvelable en Wallonie

1.1 Introduction

Outre l'objectif global pour l'ensemble de l'Union européenne d'ici 2020, que 20% de la consommation totale d'énergie du territoire soit de l'énergie produite à partir de sources d'énergie renouvelables **Erreur ! Signet non défini.**, il existe également des objectifs pour chaque État membre. La Belgique a l'objectif d'atteindre une part de 13% **Erreur ! Signet non défini.** d'énergie produite à partir de sources renouvelables. La Belgique étant un état fédéral, un accord de coopération, nommé le « Burden sharing » a été conclu par l'État fédéral et les Régions ⁷. L'article 30 de cet accord répartit l'objectif de la Belgique pour chaque région. L'objectif total de 13% représente une valeur absolue de 4.224 millions de tonnes équivalent pétrole (Mtep). Pour ce faire, la Wallonie devrait, via la production d'énergie à partir de sources d'énergie renouvelables et la consommation d'énergie à partir de sources renouvelables dans le secteur du transport, obtenir une réduction de 1.277 Mtep. Dès l'année 2008, l'objectif d'atteindre un part de 8% de production d'électricité renouvelable dans la consommation totale en Wallonie en 2010 était atteint. À l'horizon 2030, la Wallonie s'est fixée l'objectif d'atteindre une production totale d'électricité renouvelable de 10.081 GWh, ce qui équivaut à une part de 23,50% (CWaPE, 2018).

⁷ 12 février 2018 – Accord de coopération entre l'État fédéral, la Région flamande, la Région wallonne et la Région de Bruxelles-Capitale relatif au partage des objectifs belges climat et énergie pour la période 2013-2020.

Cette première section vise donc tout d'abord à donner certaines définitions de termes utilisés dans ce rapport, comme la notion d'électricité verte ou celle de sources d'énergie renouvelables (SER). Ensuite, quelques graphiques montrent la place de l'électricité verte et de l'électricité SER dans la production totale d'électricité en Wallonie ou encore la part des différentes filières dans le total de la production.

1.2 Définitions

L'électricité verte est définie, dans le décret du 12 avril 2001 relatif à l'organisation du marché régional de l'électricité, comme toute *électricité produite à partir de sources d'énergie renouvelables ou de cogénération de qualité dont la filière de production génère un taux minimum de 10% d'économie de dioxyde de carbone par rapport aux émissions de dioxyde de carbone, définies et publiées annuellement par l'administration, d'une production classique dans des installations modernes de référence*⁸. Les différentes filières qui produisent de l'électricité verte sont donc les sources d'énergie renouvelables dans lesquelles on retrouve notamment le solaire, l'éolien, l'hydraulique, la biomasse et les installations de cogénération de qualité comme la cogénération biomasse et la cogénération fossile.

L'électricité issue de sources d'énergie renouvelables peut être définie comme l'électricité produite à partir de sources d'énergie, comme le soleil, l'eau, le vent ou encore la biomasse, pour lesquelles la consommation de celles-ci ne limite pas son utilisation future⁹.

On parle de cogénération lorsque, dans un même processus, de l'énergie thermique et électrique et/ou mécanique sont produites de manière simultanées¹⁰. La cogénération de qualité est définie dans ce même décret comme, comme la *production combinée de chaleur et d'électricité, conçue en fonction des besoins de chaleur ou de froid du client, qui réalise une économie d'énergie par rapport à la production séparée des mêmes quantités de chaleur, d'électricité et, le cas échéant, de froid dans des installations modernes de référence dont les rendements annuels d'exploitation sont définis et publiés annuellement par l'Administration*.

Dans la suite de ce rapport, ces différents termes seront utilisés, il est donc important de bien les différencier car elles ne représentent pas la même chose et peuvent varier d'un pays à l'autre ou d'une définition à l'autre.

1.3 Chiffres sur l'électricité verte en Wallonie

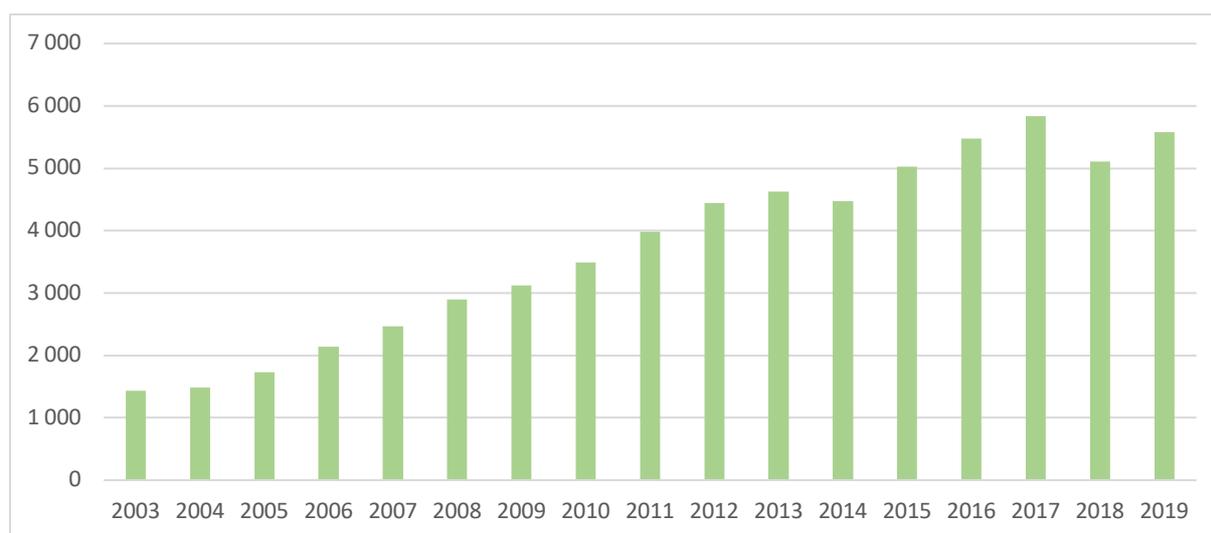
⁸ Article 2, 11^e décret du 12 avril 2001 sur l'organisation du marché régional de l'électricité

⁹ Article 2, 9^e décret du 12 avril 2001 sur l'organisation du marché régional de l'électricité

¹⁰ Article 2, 6^e et 7^e décret du 12 avril sur l'organisation du marché régional de l'électricité

Les chiffres évoqués dans la suite proviennent des rapports annuels spécifiques sur l'évolution du marché des certificats verts publiés par la Commission Wallonne pour l'Énergie, la CWaPE et du SPW Énergie.

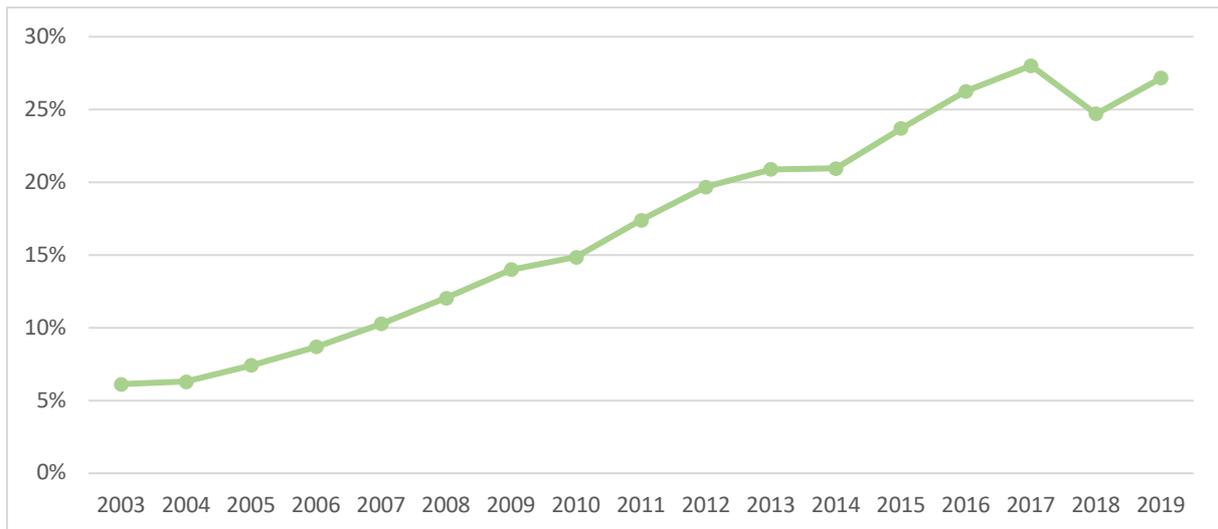
La production de l'ensemble des filières vertes pour la période de 2003 à 2019 se trouve dans le graphique ci-dessous. Hors du graphique, il peut être observé que l'ensemble de la production d'énergie verte en Wallonie a une tendance à la hausse. Notons tout de même une baisse de la production en 2014 et 2018 par rapport aux années qui précèdent les deux années en question. La production d'électricité verte a chuté pour la première fois en 2014, suite à une production moins importante des installations utilisant des combustibles fossiles et/ou biomasse. Cette diminution est principalement due à une conjoncture économique (CWaPE,2014). En 2018, c'est également à cause d'une récession de l'économie que la production des OPEX-driven technologies¹¹ a chuté. Ainsi, certains sites de production de taille conséquente ont vu leur production décroître (CWaPE, 2018). La production d'électricité verte atteignait en 2003 un total de 1.433 GWh et en 2019 un total de 5.580 GWh, soit une augmentation de 289%.



Graphique 1 - Production d'électricité verte (en GWh)

Le graphique suivant montre la part de l'électricité verte dans la totalité des fournitures d'électricité en Wallonie entre 2003 à 2019. En 2003, la part de l'électricité verte était de 6% et de 27% en 2019. Hormis les mêmes diminutions observables en 2014 et 2018 que dans le graphique 1, la part de l'électricité verte dans les fournitures d'électricité a augmenté durant la période analysée.

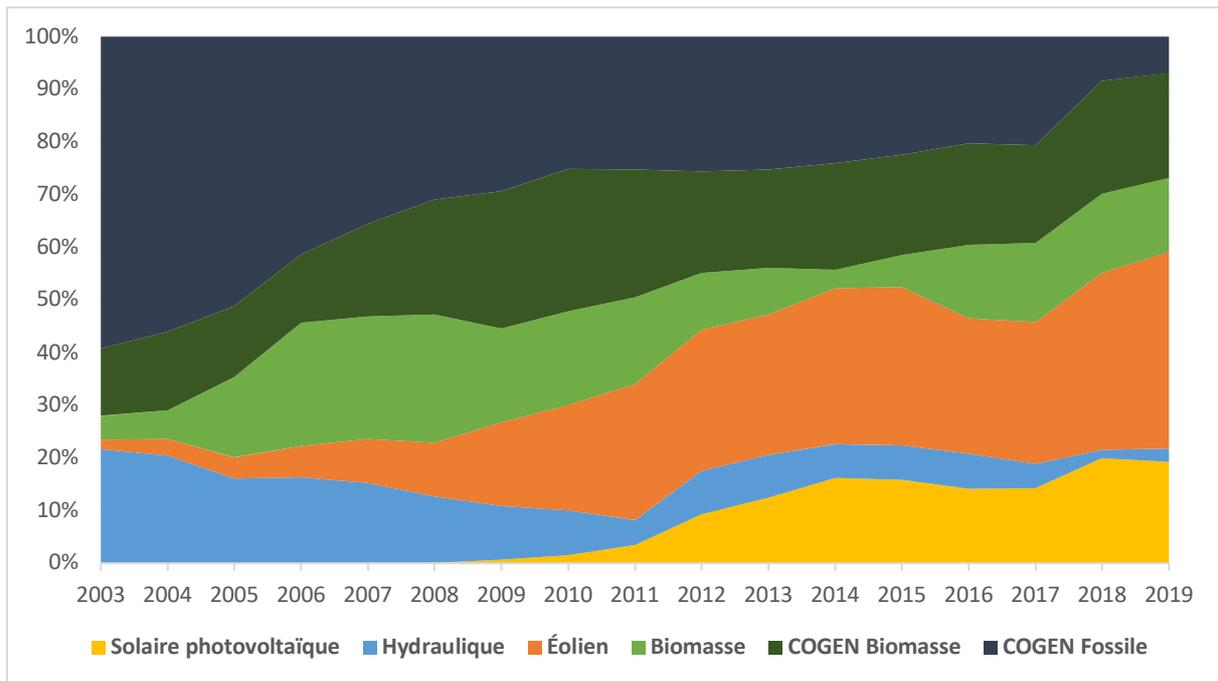
¹¹ Les OPEX-driven technologies font référence aux filières de la biomasse et de la cogénération fossile



Graphique 2 - Part de l'électricité verte dans les fournitures d'électricité

Le graphique 3 reprend la part que chaque filière représente dans la production totale d'énergie verte en Wallonie pour la période de 2003 à 2019. En 2019, les différentes filières représentaient; le solaire photovoltaïque 19%, l'hydraulique 3%, l'éolien¹² 37%, la biomasse 14%, la cogénération biomasse 20% et la cogénération fossile 7%. La filière du solaire photovoltaïque a pris énormément d'ampleur durant ces années, passant d'une part dans la production totale en 2003 de 0% à 19% en 2019. La filière de l'éolien a également pris de l'importance durant, passant d'une part de 2% dans la production total à une part de 37% en 2019. L'effet inverse se dessine par contre pour les filières de l'hydraulique et de la biomasse, qui ont vu leur part dans la production d'électricité verte diminuer avec les années. La cogénération biomasse quant à elle, a gardé une part assez constante dans la production totale, avec un pourcentage variant entre 13% et 27%. Finalement, la cogénération fossile, qui représentait plus de la moitié de la production total d'électricité verte durant les premières années, a vu sa part diminuer aux alentours de 25% durant le reste de la période, pour finalement chuter à 7% en 2019.

¹² Pour la suite de ce rapport, le terme « éolien » fait uniquement référence à l'éolien on-shore.

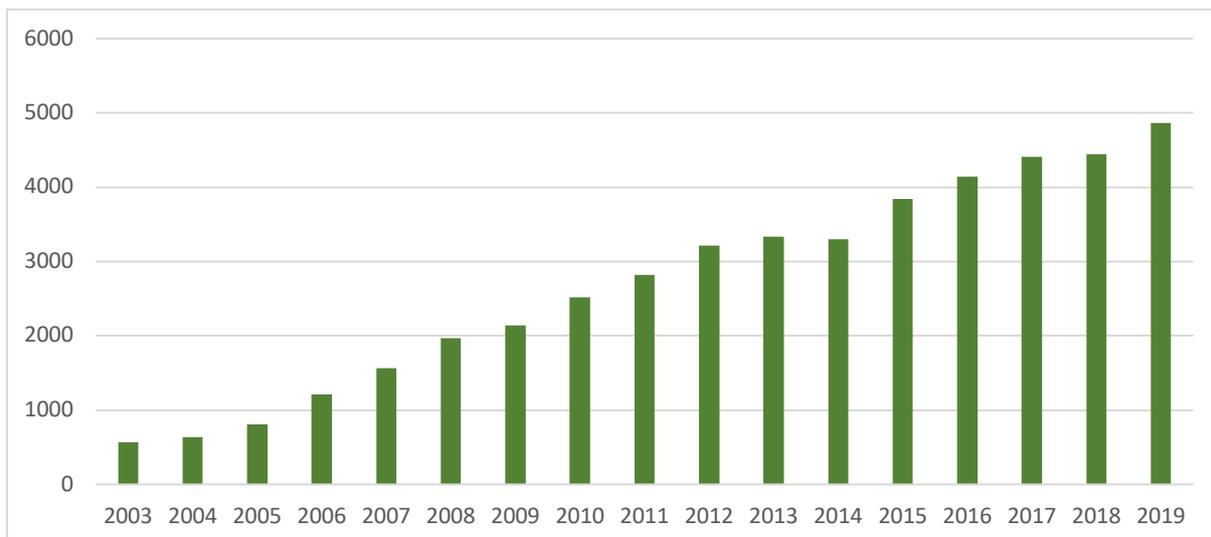


Graphique 3 - Part de chaque filière dans la production d'électricité verte

1.4 Chiffres sur l'électricité renouvelable en Wallonie

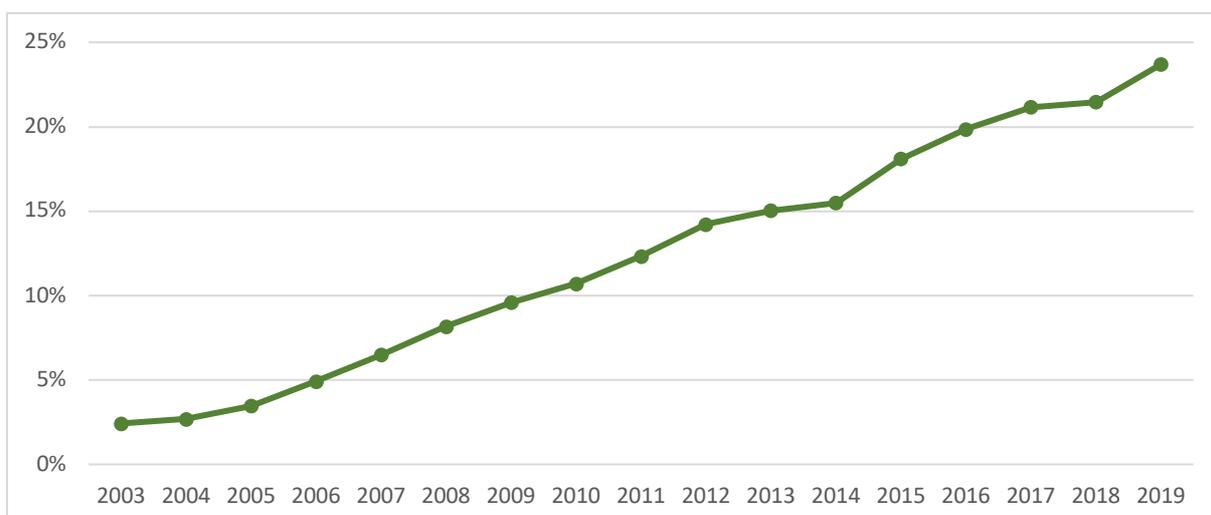
Regardons maintenant de manière plus précise la place des filières renouvelables dans l'ensemble de la production d'électricité en Wallonie. Les filières rentrant en compte sont donc ; le solaire photovoltaïque, l'hydraulique, l'éolien et la biomasse. En plus de cela, vient s'ajouter la production SER de la cogénération biomasse, dont la part est relativement importante dans la production d'énergie verte de cette filière, et la production SER de la cogénération fossile, étant quant à elle très petite (moins de 1%) par rapport à cette filière. Ces chiffres, proviennent toujours des mêmes sources que dans la partie précédente.

Le graphique 4 montre la production d'électricité issue de sources d'énergie renouvelables en Wallonie pour la période de 2003 à 2019. La production SER n'a fait qu'augmenter durant ces années. Une toute petite baisse est à noter en 2014, suite à une diminution de production de la filière biomasse. Ceci provenant de la fermeture, pendant un trimestre, d'une grosse centrale utilisant des granulés de bois (CWaPE 2014). La production d'électricité SER a atteint un total de 567 GWh en 2003 et un total de 4.867 GWh en 2019, soit une augmentation de 758%.



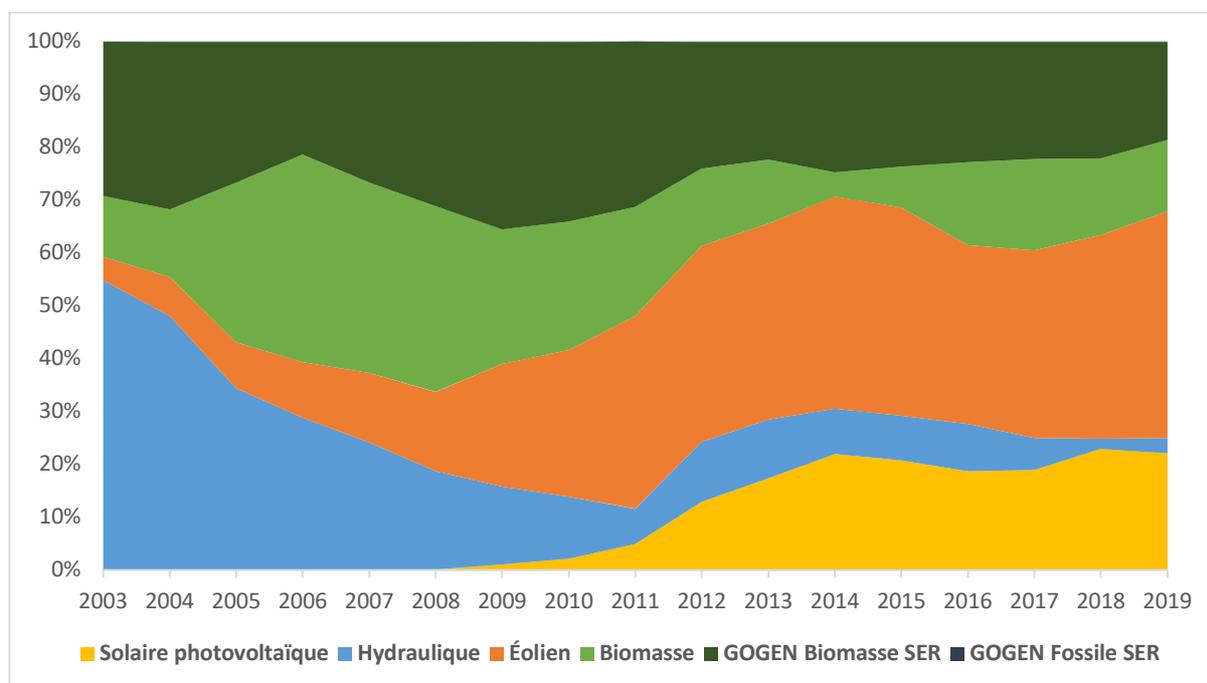
Graphique 4 - Production d'électricité SER (en GWh)

Le graphique suivant montre la part de l'électricité SER dans les fournitures d'électricité en Wallonie de 2003 à 2019. Ce graphique permet de voir l'avancement de la Wallonie par rapport aux objectifs européens et wallons. Rappelons que dans le contexte de l'objectif d'atteindre une production d'électricité SER équivalant à 13% de la consommation finale d'énergie en Belgique, la Wallonie s'était fixée comme objectif d'atteindre, en 2010, une part d'électricité SER produite de 8%. Ce dernier a bien été atteint dès l'année 2008. Suite aux bons résultats obtenus durant les premières années, la Belgique a déposé en 2010 un plan d'action national auprès de la Commission européenne. Ce plan stipulait l'objectif ambitieux, pour la région wallonne, d'atteindre une part de 25% d'électricité SER produite dans la consommation finale d'électricité pour l'année 2020, ce qui reviendrait à une production d'électricité SER en valeur absolue de 8 TWh. En terme de pourcentage, cet objectif a de fortes chances d'être atteint d'ici fin 2020.



Graphique 5 - Part de l'électricité SER dans les fournitures d'électricité

Le dernier graphique de cette section reprend la part de chaque filière dans la production totale d'électricité SER en Wallonie de 2003 à 2019. En 2019, les différentes filières représentaient 43% pour l'éolien, 22% pour le solaire photovoltaïque, 18% pour la cogénération biomasse, 14% pour la biomasse, 3% pour l'hydraulique et une part proche de 0% pour la cogénération fossile. En ce qui concerne les deux filières biomasse, elles ont toutes les deux représentées une part importante durant la période analysée. La biomasse comptait en moyenne pour 20% de la production totale d'électricité SER et la cogénération biomasse SER pour 26%. La filière de l'hydraulique, qui représentait 55% de la production totale en 2003, n'en représentait plus que 3% en 2019. La filière de l'éolien a quant à elle vu sa part dans la production totale augmenter de manière assez conséquente, passant de 4% en 2003 à 43% en 2019. L'augmentation est fortement accentuée de 2003 à 2011, où elle a pris 33% en 8 années. Pour les huit années suivantes la part a oscillé entre 34% et 43%. Finalement, la filière du solaire photovoltaïque à elle aussi vu bondir sa part dans la production SER, passant de 0% en 2003 à 22% en 2019. En 2008, lors de la mise en place du plan Solwatt¹³ visant à booster l'installation de panneaux solaires photovoltaïques, le taux d'octroi de plus de 6,5 certificats verts par MWh/produit a réellement poussé de nombreuses personnes à choisir ce type d'installation pour leur production d'électricité. En effet, pas moins de 120.528 installations de moins de 10 kWc composaient le parc de production de la filière du solaire photovoltaïque fin 2013 (deux mois avant la fin du plan Solwatt) alors qu'à la fin de l'année de lancement du plan Solwatt, en 2008, le nombre d'installations était seulement de 2.636.



Graphique 6 - Part de chaque filière dans la production totale SER

¹³ Le plan Solwatt est expliqué plus loin dans la section « Le système des certificats verts en Wallonie ».

2 Les mécanismes de soutien à la production d'électricité verte en Wallonie

2.1 Introduction

Depuis 2003, le Gouvernement wallon a mis en place le mécanisme des certificats verts pour la production d'électricité provenant de sources d'énergie renouvelables et/ou de cogénération. Ce mécanisme est, et a été, une réelle motivation pour les entreprises et les particuliers à placer des installations produisant de l'électricité verte. Le choix du mécanisme de soutien s'est porté sur un système où l'aide financière se base sur les économies de CO₂ réalisées. Ainsi, sur le marché, les personnes ont pu assister à l'émergence de nouvelles technologies plus performantes permettant de réduire les émissions de CO₂ au moindre coût. Avec les années, ce système a connu différentes modifications notamment au niveau du montant du soutien accordé à la filière du solaire photovoltaïque. D'abord le Gouvernement wallon a voulu encourager l'acquisition d'installations de moins de 10 kWc avec le plan Solwatt, où le montant du soutien était assez généreux (comme démontré plus loin dans ce rapport). Ces mêmes types d'installations ont vu, avec le plan Quali watt, le montant des subsides diminuer considérablement.

De l'introduction du système jusqu'au 30 juin 2019, c'est la CWaPE qui était responsable des différentes tâches en lien avec les mécanismes de soutien à la production d'électricité verte comme la gestion de l'octroi des certificats verts, les labels de garantie d'origine et les primes Quali watt, ... De plus, elle était notamment obligée, par la loi, de publier chaque année un rapport spécifique sur l'évolution du marché des certificats verts. Ces rapports serviront notamment de base pour les calculs de coût des mécanismes de soutien à la production d'électricité dans la suite de ce rapport. Depuis le 1^{er} mai 2019, le flambeau est passé dans les mains du SPW Énergie, qui a donc repris l'ensemble des activités de la CWaPE à ce niveau là.

Cette section vise notamment à expliquer au lecteur le fonctionnement du mécanisme des certificats verts ou encore le système Quali watt. De plus, des chiffres concernant les systèmes mentionnés ci-dessus y sont donnés.

2.2 Le système des certificats verts en Wallonie

Cette section décrit le système des certificats verts (CV) et fournit des chiffres sur le nombre de certificats verts accordés, le prix moyen par année et un état du marché des CV.

Les informations proviennent des arrêtés du Gouvernement wallon du 16 juillet 2002¹⁴ et du 30 novembre 2006¹⁵ ainsi que les différents arrêtés modifiant ces textes.

2.2.1 Historique et fonctionnement du mécanisme des certificats verts

Afin de promouvoir la production d'électricité verte, le Gouvernement wallon a mis en vigueur le 16 juillet 2002 l'arrêté royal portant sur la mise en place de mécanismes de soutien à la production d'électricité issue de sources d'énergie renouvelables.

Cet arrêté stipule la mise en œuvre du mécanisme des certificats verts. Concrètement, chaque producteur d'électricité verte reçoit un certificat vert échangeable par quantité d'électricité verte produite correspondant à un MWh. L'octroi de ces certificats dépend de chaque filière car elle se fait proportionnellement à l'économie de CO₂ réalisée par l'installation. Chaque producteur d'électricité verte voulant bénéficier du mécanisme en question doit faire certifier son installation auprès d'un organisme certifié qui vérifie si l'économie de CO₂ est d'au moins 10% par rapport à la référence prévue. Un certificat vert est ainsi attribué aux producteurs consommant 10% de CO₂ en moins que l'émission d'une centrale TGV fonctionnant au gaz naturel, soit 456 kg CO₂.

Ce sont les fournisseurs d'électricité qui doivent remettre un certain quota de certificats verts à la CWaPE. Ce quota est un pourcentage, qui change d'année en année, du nombre de MWh d'électricité vendu par chaque fournisseur. Une fois remis, le certificat vert est enlevé de la base de donnée et disparaît du marché des certificats verts. Si les fournisseurs ne respectent pas les quotas imposés par la loi, ils écotent d'une amende de 100€ par certificat non-remis. Afin de soutenir d'avantage les fournisseurs d'électricité verte, un régime d'aide a été mis en place par le Gouvernement Wallon. Ainsi, un certain pourcentage du nombre de MWh produits, qui servent de base pour le calcul des quotas de certificats verts devant être remis, n'est pas pris en considération.

Les certificats verts s'échangent de manière immatérielle sur ce qu'on appelle le marché virtuel des certificats verts. C'est ici que le prix des certificats est déterminé en fonction de l'offre et de la demande. Quelques années après le début du mécanisme de soutien, un système d'obligation de rachat des certificats verts a été mis en place. En effet, le gestionnaire de réseau de transport d'électricité (le GRT), Elia, est obligé par la loi d'acheter, au prix minimum de 65€, les certificats verts des producteurs d'énergie verte désireux de le lui vendre. Ainsi le prix des certificats verts varie entre le prix minimum de rachat d'Elia, soit

14 Arrêté du Gouvernement wallon du 16 juillet 2002 relatif à l'établissement de mécanismes visant la promotion de l'électricité produite à partir des sources d'énergie renouvelables.

15 Arrêté du Gouvernement wallon du 30 novembre 2006 relatif à la promotion de l'électricité produite au moyen de sources d'énergie renouvelables ou de cogénération.

65€, et le prix de l'amende infligée aux fournisseurs de réseaux en cas de non-remise des quotas, soit 100€.

Initialement, la durée d'octroi des certificats était de 10 ans. Dès le 1^{er} janvier 2008, la durée est passée à 15 ans. Cependant, durant les 5 dernières années le nombre de certificats verts octroyés est diminué d'un facteur « k » qui est décidé par la CWaPE et revu tous les trois ans.

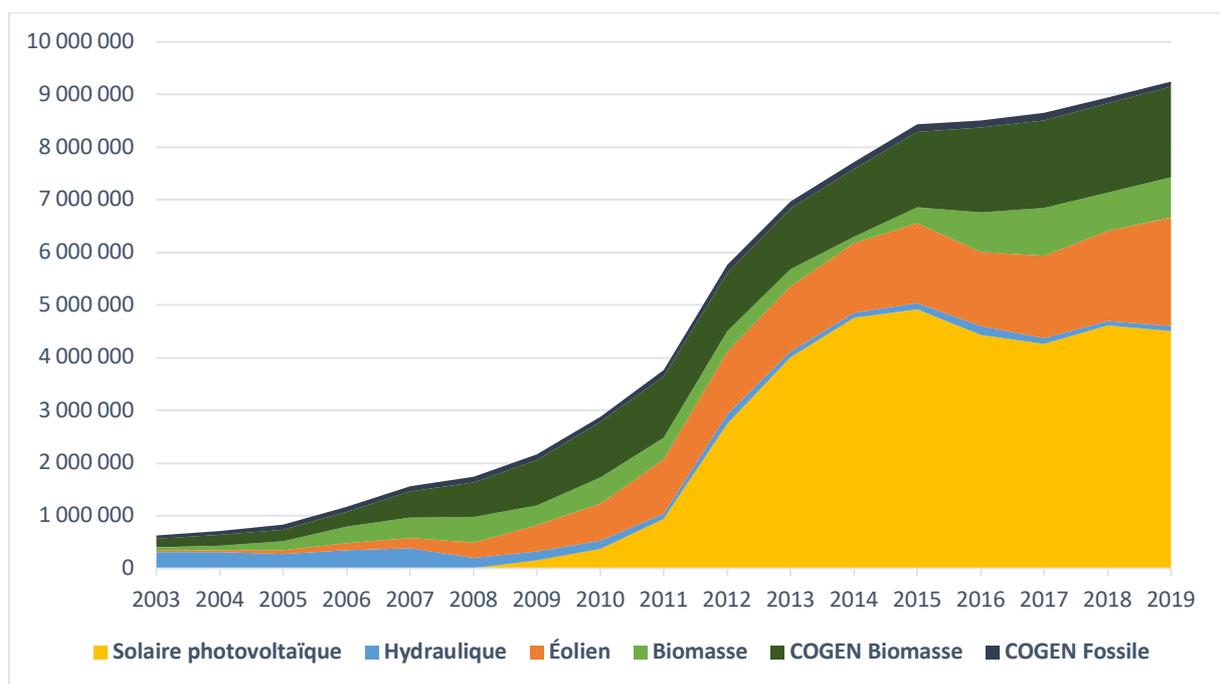
Le mécanisme a subi différentes modifications depuis sa mise en place. Parmi les plus importantes on retrouve le plan Solwatt, introduit le 1^{er} janvier 2008 et aboli le 28 février 2014. Ce plan a été mis en place dans le but d'augmenter le nombre d'installations solaires photovoltaïques de moins de 10 kWc. Sous cette réforme, le taux d'octroi de certificats accordés par MWh produit est passé de 1 en 2007 à 6,79 en 2008. Ces mêmes installations ont bénéficié des primes Quali watt pour la période du 1^{er} mars 2014 jusqu'au 30 juin 2018. Ce système est expliqué plus en détails dans la section « La réforme Quali watt, ». Au vu de cette augmentation des CV octroyés et dans l'optique de diminuer le stock de CV accumulés, le Gouvernement wallon a procédé à une opération de mise en réserve (2015) et de temporisation (2017) afin de sortir un certain nombre de CV et de le réinjecter une fois le marché moins saturé.

Depuis le 1^{er} juillet 2014, toutes les nouvelles installations productrices d'électricité verte (sauf les installations solaires photovoltaïques de moins de 10 kWc) tombent sous la nouvelle procédure de réservation des certificats verts ainsi que sous le nouveau mode de calcul de nombre de certificats verts délivrés. Le Gouvernement wallon a fixé, en 2015, la production d'électricité verte annuelle par filière requise pour atteindre les objectifs fixés en terme de production totale d'électricité verte en Wallonie. De ce fait, le nombre de certificats verts pouvant être délivrés par filière est fixé dans ce qu'on appelle les enveloppes de CV. Depuis 2014, les producteurs doivent donc réserver les certificats verts dont ils souhaitent bénéficier. Ceci doit être fait avant même d'installer l'unité de production d'électricité verte. Pour ces installations tombant sous le régime de réservation, un nouveau coefficient économique (k_{ECO}) est intégré dans le calcul du taux d'octroi de CV. Ce coefficient est calculé pour chaque filière de manière à garantir au minimum le taux de rentabilité fixé par le Gouvernement wallon.

2.2.2 Chiffres sur le marché des certificats verts

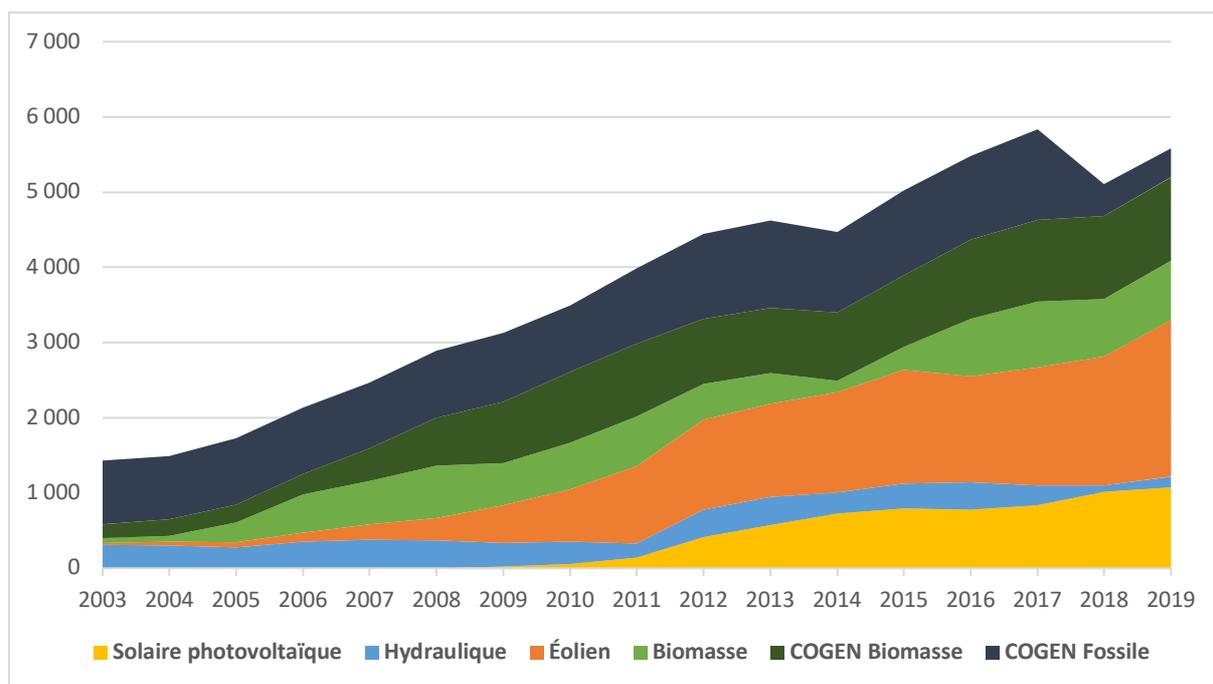
Ci-dessous, le graphique montre l'évolution du nombre de certificats accordés par filière pour chaque année de la période 2003 à 2019. Au total, sur cette période, 79.721.095 certificats verts ont été accordés pour l'ensemble des filières. En pourcentage, cela donne les nombres suivants pour chaque filière ; le solaire photovoltaïque représente 45%, la cogénération biomasse 21%, l'éolien 19%, la biomasse 9%, l'hydraulique 4% et la cogénération

fossile 2% des certificats verts accordés. On peut voir le soutien important apporté au photovoltaïque à partir de l'année 2011. Durant cette même année, 938.066 certificats verts étaient accordés pour la filière en question alors qu'en 2012 ce chiffre passait à 2.749.567 pour ensuite passer à une moyenne de 4.498.910 certificats accordés sur les années de 2013 à 2019. Le taux d'octroi des CV pour cette filière n'ayant pas fortement changé sur la période, c'est à l'augmentation importante de nouvelles installations que l'on doit ces nombres élevés. Même remarque pour l'éolien et la biomasse qui se sont vus accorder un nombre plus important de certificats à partir de l'année 2011. La cogénération fossile quant à elle n'a reçu que 1.969.794 certificats verts sur toute la période de 2003 à 2019.



Graphique 7 - Nombre de certificats verts accordés par filière

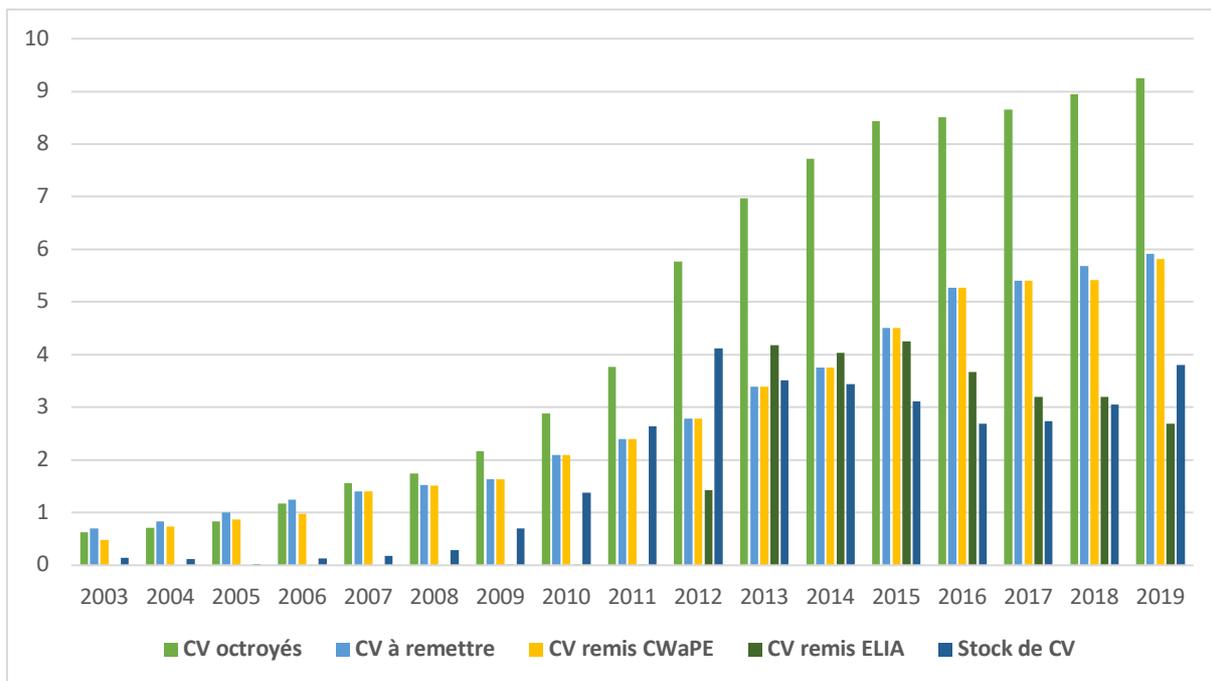
Analyser seulement le nombre de certificats accordés par filière ne suffit cependant pas. Prenons à côté de ces données, un graphique montrant la production d'électricité en MWh par filière pour la même période afin de voir quelles filières ont reçu ou non une aide plus généreuse. Deux observations importantes peuvent être faites : (1) On peut voir que la filière du solaire photovoltaïque, ne produisant que très peu de MWh par rapport aux autres filières, reçoit le plus de certificats verts. Sur l'ensemble de la période, elle a produit 10% de l'ensemble de l'électricité verte et reçu 45% des certificats. (2) Tandis que la filière de la cogénération fossile, qui reçoit le moins de certificats verts, est celle qui produit la plus grande part d'électricité verte soit 27% de la production totale. Concernant les autres filières, les pourcentages de part d'électricité produite et la part de certificats verts accordés sont fort similaires.



Graphique 8 - Production d'électricité par filière (en GWh)

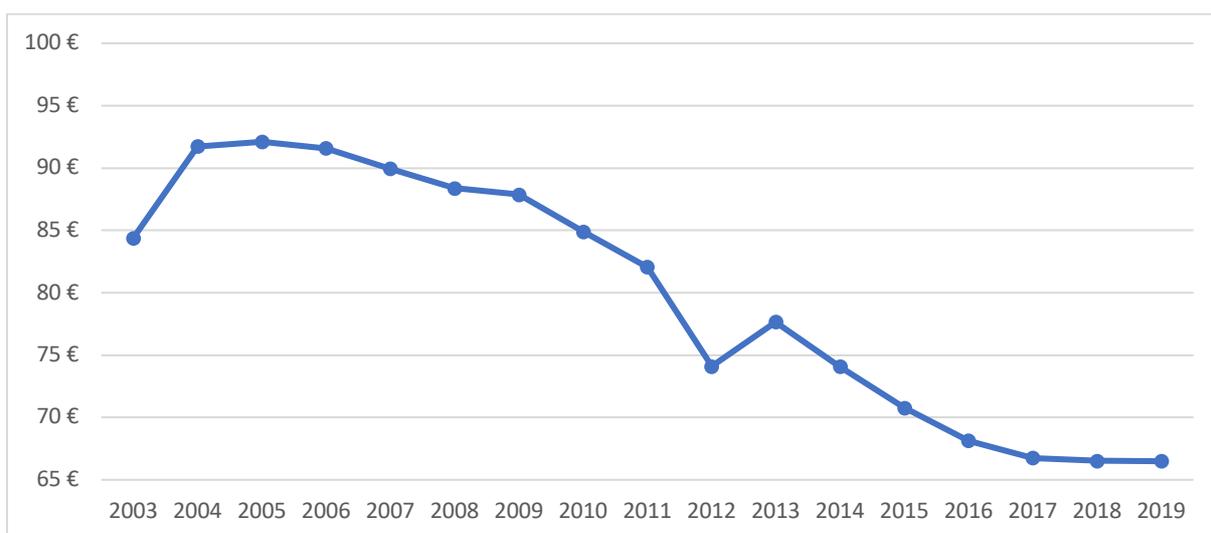
Dès le début de l'introduction du mécanisme des certificats verts, un stock assez important de certificats verts a été créé. En effet, dès le début de l'introduction du mécanisme en 2003, le prix de l'amende administrative qui s'élevait à 75€ pour le premier trimestre, a poussé les fournisseurs à plutôt payer l'amende que de racheter les certificats directement auprès des producteurs (CWaPE, 2003). Le plan Solwatt, qui même si il a boosté la filière du solaire photovoltaïque, est une des raisons principales pour le déséquilibre important sur le marché des certificats verts (Collard, 2013). C'est réellement en 2012 que le stock de certificats verts a commencé à diminuer grâce à l'achat massif par le gestionnaire du réseau de transport, Elia. Sur la période de 2013 à 2019, Elia rachetait en moyenne 3.603.157 certificats par année. Fin de l'année 2019, le stock de certificats verts s'élevait à 3.804.856. Le graphique qui suit mentionne : le nombre de CV octroyés, de CV à remettre, de CV remis à la CWaPE et de CV remis à Elia. Pour une meilleure lecture du graphique, les CV manquants ainsi que ceux remis à BUGEL¹⁶ n'apparaissent pas (à noter que ces certificats représentent de toute manière un part peu importante).

¹⁶ BRUGEL est le régulateur bruxellois sur le marché du gaz et de l'électricité.



Graphique 9 - État du marché des certificats verts (en millions)

Le graphique 10 reprend l'évolution du prix des certificats verts pour la période de 2003 à 2019. Ce prix a varié entre le montant de l'amande s'élevant à 100€, qui est quelque part le prix maximum auquel pourrait s'échanger un certificat vert, et le prix minimum garanti de 65€. Le graphique montre que le prix des certificats verts, après avoir connu une hausse durant les trois premières années avec un prix maximum de 92,10€ en 2004, a eu tendance à décroître jusqu'en 2018, pour finalement atteindre son minimum durant cette même année. Seule une nouvelle légère hausse en 2013 est observée. Le prix semble maintenant s'être stabilisé juste au-dessus du prix minimum garanti de 65€.



Graphique 10 - Évolution du prix des certificats verts

2.3 La réforme « Quali watt »

Au début du mois de mars 2014, le régime Solwatt soutenant les filières solaire photovoltaïque de moins de 10 kWc, est remplacé par le régime Quali watt. Sous ce nouveau régime, les installations photovoltaïques dotées d'une puissance inférieure ou égale à 10kW ne bénéficient plus des certificats verts. À la place, les producteurs reçoivent une prime annuelle durant 5 années à partir de la mise en fonctionnement de l'installation. Les primes sont données pour la tranche de puissance inférieure à 3 kWc, ce qui veut dire que les installations de plus de 3kWc bénéficient de la même prime que ceux disposant d'une installation de 3kWc. La prime Quali watt est donnée par le gestionnaire des réseaux de distribution (GRD) auquel est reliée l'installation. Du fait que pour chaque GRD le prix de l'électricité diffère, le montant du subside est différent pour chaque GRD. Le montant du subside accordé est défini selon un calcul établi par la CWaPE. À partir de la deuxième année d'octroi, à raison de deux fois par année, ce prix est revu à la hausse ou à la baisse si le prix de l'électricité au moment de la revue dévie de +/- 10% du prix de l'électricité utilisé dans le calcul lors de l'annonce de la prime pour la première année.

Depuis le 1^{er} juillet 2018, ce système Quali watt a été abandonné. Toutes les installations qui ont été mises en œuvre avant cette date continuent évidemment de bénéficier des primes annuelles pendant 5 ans. Les dernières primes de ce système seront donc versées durant l'année 2022.

Depuis le 2 mai 2019, un nouveau mécanisme de mobilisation destiné à financer à long terme l'achat des CV par le GRTL a été voté. Ceci devrait mettre fin à la bulle photovoltaïque, sans que les consommateurs n'en paient trop le prix.

2.4 L'état actuel en Wallonie

Depuis l'arrêt du système Quali watt, les installations photovoltaïques de moins de 10 kWc ne reçoivent plus aucun soutien financier de la part du Gouvernement wallon via les organismes responsables en Wallonie. Les propriétaires de ce type d'installation profitent uniquement de la compensation entre les prélèvements et les injections sur le réseau électrique.

Les installations photovoltaïques de plus de 10 kWc et toutes autres installations produisant de l'électricité verte ont toujours droit à des certificats verts. Cependant, l'obtention et l'attribution de ces certificats se font sous de nouvelles conditions définies par le Gouvernement wallon. En effet, des enveloppes de certificats verts ont été créés pour chaque filière. Ce qui veut dire qu'un montant fixe de certificats, attribuables chaque année, a été déterminé. L'enveloppe globale des certificats verts est déterminée sur base des objectifs de production d'énergie renouvelable en Wallonie pour l'horizon 2020-2030.

À partir du 1^{er} octobre 2020 les producteurs d'énergie verte raccordés au réseau de distribution verront s'appliquer à leur facture le « tarif prosumer ». En effet, dans le passé les prosumers¹⁷ qui prélevaient de l'électricité ne contribuaient pas aux frais de réseau. Ce tarif a donc été mis en place pour assurer une certaine équité par rapport aux autres consommateurs d'électricité, qui payent les frais de réseau.

3 Le coût des mécanismes de soutien à la production d'électricité verte en Wallonie

3.1 Introduction

Dans cette section, le coût des différents mécanismes de soutien à la production d'énergie verte est calculé. Parmi les différentes formes de soutien, il existe donc le mécanisme des certificats verts ainsi que les subsides du système « Quali watt ». Cette section aborde en premier lieu les méthodes de calcul pour trouver le coût de chacun des systèmes de soutien. Ensuite, les résultats des calculs sont montrés et commentés afin d'obtenir le coût total des mécanismes de soutien à la production d'énergie verte en Wallonie pour la période 2003-2019. Finalement, les résultats sont mis en perspectives en les comparant au coût d'autres mécanismes de soutien pour des pays de l'Union européenne.

Notons qu'il existe d'autres coûts liés à la production d'énergie verte en Wallonie. En effet, l'incorporation des productions d'énergie verte sur le réseau de distribution engendrent certains coûts comme par exemple les frais d'infrastructures. De plus les certificats verts sont fiscalement déductibles pour les entreprises lors du calcul de l'impôt des sociétés. Ces coûts ne sont pas pris en compte dans les calculs qui suivent. Cette étude vise donc seulement à trouver le coût des mécanismes de soutien.

3.2 Méthodologie

Les sections qui suivent expliquent les méthodologies utilisées pour calculer le coût des mécanismes de soutien.

3.2.1 Méthodologie de calcul pour les certificats verts

¹⁷ Le terme « prosumer » désigne chaque propriétaire d'une installation productrice d'électricité verte qui injecte et prélève de l'électricité sur le réseau de basse tension.

Pour calculer le coût du mécanisme des certificats verts plusieurs éléments ont été inclus dans l'opération ; (1) les certificats remis à la CWaPE, (2) les certificats remis au distributeur de réseau Elia, (3) les certificats remis auprès du BRUGEL, (4) les certificats qui n'ont pas été remis par les fournisseurs auprès d'un des organismes mentionnés ci-dessus et finalement (5) le stock de certificats verts accumulé depuis l'introduction du mécanisme des certificats verts en 2003. Les données nécessaires pour calculer ce coût proviennent en grande partie des rapports annuels spécifiques de la CWaPE sur l'évolution du marché des certificats verts.

- (1) Les certificats remis à la CWaPE sont valorisés au prix moyen pour chaque année de 2003 à 2018.
- (2) Les certificats remis à Elia sont quant à eux valorisés au prix fixe de 65€ par certificat vert et ce pour la période de 2009 à 2018.
- (3) Les certificats remis auprès du BURGEL sont valorisés au même prix que ceux remis à la CWaPE et ce pour la période de 2005 à 2013.
- (4) Les certificats manquants pour chaque année de 2003 à 2019 ont été valorisés au prix de l'amende administrative qui s'élève à 100€ par certificat vert.
- (5) Le stock de certificats accumulé sur la période de 2003 à 2019 est quant à lui valorisé au prix de rachat par Elia. Chaque certificat est donc valorisé à 65€.

Le prix des certificats remis à la CWaPE, à ELIA, au BRUGEL et les certificats manquants ont été actualisés à l'année 2019. Le taux d'actualisation choisi est l'indice des prix à la consommation. Chaque année, Statbel publie l'indice des prix à la consommation mesurant l'évolution des prix d'un panier de biens et services qui représente au mieux la consommation type d'un ménage Belge. L'indice du prix à la consommation utilisé dans le cadre de ce travail de recherche est celui faisant référence à l'année de base 2013.

3.2.2 Méthodologie de calcul pour les primes « Quali watt »

Pour rappel, le système Quali watt est le mécanisme de soutien pour les installations photovoltaïques de moins de 10 kWc pour la période du 1^{er} mars 2014 au 30 juin 2018. Les primes Quali watt ont remplacé les certificats verts pour ces types d'installations.

Le calcul du montant des subsides accordés à chaque installation solaire photovoltaïque dépend de plusieurs éléments, comme mentionné plus haut dans le rapport. La CWaPE et le SPW Énergie fournissent directement, dans leurs rapports annuels, le nombre de primes ainsi que le montant accordé pour chaque gestionnaire de réseau. Ainsi, nous

disposons, sans grands calculs, du coût des subsides donnés aux installations du système Quali watt.

Cependant pour l'année 2014, ces données ne sont pas disponibles. Pour trouver le montant total des primes Quali watt pour cette période il faudrait dès lors faire le calcul. Pour cela, il faudrait disposer de données sur le nombre d'installations photovoltaïques pour chaque GRD ainsi que la puissance de chaque installation. Ces informations n'apparaissent malheureusement dans aucun des rapports de la CWaPE. Dès lors, le montant du soutien pour l'année 2014 est calculé sur base de la production, en MWh, des installations de cette année-là ainsi que du soutien/MWh moyen calculé sur les années de 2015 à 2019.

Comme pour le mécanisme des certificats verts, les primes ont été actualisées à l'année 2020. Le taux d'actualisation étant le même, à savoir l'indice des prix à la consommation pour l'année de base 2013.

3.3 Le coût des soutiens à la production d'électricité verte

Les prochaines sections abordent les résultats des calculs du coût des mécanismes de soutien.

3.3.1 Le coût du système des certificats verts

En prenant en compte les différents éléments mentionnés ci-dessus (de (1) à (5)), le coût total du système des certificats verts pour la période de 2003 à 2019 s'élève à 6.242.821.834€. Sachant que durant cette période un total de 79.721.095 certificats ont été octroyés, chaque certificat vert vaut en moyenne 78,31€. Le coût total se décompose de la façon suivante ; les certificats remis à la CWaPE représentent 64% du total, ceux remis à Elia 30%, les certificats remis au BRUGEL 1%, les amendes 2% et le stock représente 2%.

Il est intéressant de regarder plus en détails le soutien apporté à chaque filière, à savoir le solaire photovoltaïque, l'hydraulique, l'éolien, la biomasse, la cogénération biomasse et la cogénération fossile. Afin de comparer le soutien apporté à chaque filière, il faut multiplier le nombre de certificats octroyés pour chaque filière par le prix moyen du certificat vert calculé au préalable. Dans le tableau ci-dessous, on retrouve pour chaque filière mentionnée ci-dessus, la production totale, le taux d'octroi, le soutien total et le soutien par MWh produit. Il est possible de constater un soutien plus important accordé au photovoltaïque. En effet, cette filière a reçu un soutien d'une valeur de 465,53€ par MWh produit. Les autres filières reçoivent entre 4,5 et 9,2 fois moins de soutien, voir jusqu'à 47 fois moins pour la cogénération fossile. Cette différence vient, pour la majorité, de la volonté des pouvoirs publics à promouvoir à grande échelle l'installation de panneaux photovoltaïques auprès des ménages et des entreprises wallonnes (les différences au niveau de l'économie de CO₂ de chaque filière

impacte directement le taux d'octroi des certificats accordés mais le solaire photovoltaïque n'a pas une économie de CO₂ aussi importante pour justifier cette différence).

	Production totale (en MWh)	Taux d'octroi CV/MWh	Soutien total (en €)	Soutien/MWh (en €)
Solaire photovoltaïque	6 007 427	5,94	2 796 645 219	465,53
Hydraulique	4 995 492	0,65	252 949 292	50,64
Éolien	15 033 403	1,00	1 174 430 936	78,12
Biomasse	8 586 105	0,82	553 719 884	64,49
COGEN Biomasse	12 624 679	1,33	1 310 825 323	103,83
COGEN Fossile	15 657 561	0,13	154 251 180	9,85
Total	62 904 667	/	6 242 821 834	99,24

Tableau 1 - Soutien/MWh du mécanisme des CV pour la période 2003-2019 en Wallonie

La filière de la cogénération fossile, qui a la plus grande production de MWh sur la période 2003-2019, est celle qui reçoit le moins de soutien parmi toutes les autres filières. Le montant qu'elle reçoit est de 9,85€ par MWh produit. Alors que l'éolien et la cogénération biomasse, qui produisent également un nombre important de MWh, reçoivent une aide plus importante pour un soutien accordé de respectivement 78,20€ et 103,83€.

Il est tout à fait normal d'observer une différence de soutien/MWh pour les différentes filières car le soutien accordé dépend de l'économie de CO₂ réalisée par rapport à la centrale de référence. Pour voir si le montant du soutien/MWh pour chaque filière est élevé ou non, il doit par exemple être comparé aux montants des subsides octroyés dans d'autres pays.

L'annexe 3 reprend toutes les données utilisées qui ont permis de trouver les résultats discutés ci-dessus.

3.3.2 Le coût du système « Quali watt »

En prenant en compte les différents éléments mentionnés dans la partie portant sur la méthode de calcul, le coût total du système Quali watt sur la période de 2014 à 2019 est de 97.872.168€.

Les différents rapports de la CWaPE et le dernier rapport du SPW Énergie fournissent de manière détaillée, pour la filière du solaire photovoltaïque, la production pour les installations du plan Sol watt, Quali watt et les autres installations de plus de 10 kWc. Au total, sur la période analysée, les installations Quali watt ont produites 435.704 MWh. En divisant le montant total des subsides accordés par la production électrique, on trouve le soutien/MWh.

Le plan Quali watt a donc subsidié les installations photovoltaïques de moins de 10 kWc à raison de 244,63€ par MWh produit.

En comparaison au soutien du plan Sol watt qui est de 465,53€, le plan Quali watt semble bien moins généreux. En effet, la raison d'être du plan Quali watt était de continuer à soutenir la production d'électricité à partir de panneaux photovoltaïques mais dans une moindre mesure par rapport aux plans précédents.

3.3.3 Le coût total du soutien à la production d'électricité verte

En additionnant les résultats obtenus pour le mécanisme des certificats verts et des primes Quali watt, nous trouvons le coût total des systèmes de soutien à la production d'électricité verte en Wallonie pour la période de 2003 à 2019. Le montant total du soutien étant de 6.340.694.002€. Le soutien par MWh produit revient donc à 100,11€.

En rajoutant les primes Quali watt au total des CV octroyés à la filière du solaire photovoltaïque, le soutien à cette filière est de 2.894.517.387€ au total pour un nombre total de CV octroyés de 35.713.276 et 435.704 primes. Le montant du soutien/MWh revient donc à 449,24€. Le tableau ci-dessous reprend le montant du soutien/MWh pour chaque filière.

	Soutien/MWh (en €)
Solaire photovoltaïque	449,24
Hydraulique	50,64
Éolien	78,12
Biomasse	64,49
COGEN Biomasse	103,83
COGEN Fossile	9,85
Total	100,11

Tableau 2 - Soutien/MWh pour la période 2003-2019 en Wallonie

3.4 Comparaisons internationales des différents mécanismes de soutien

Dans cette section, le coût du mécanisme des certificats verts en Wallonie (et du système Quali watt) est comparé aux autres systèmes de soutien mis en place dans certains pays de l'Union européenne. Ceci permet notamment d'évaluer la générosité du système wallon dans son ensemble mais aussi pour les différentes filières.

Les comparaisons internationales portent plus précisément sur le soutien accordé aux sources d'énergie renouvelables et non sur l'électricité verte telles que définies dans la

première section. Depuis la mise en œuvre des directives du parlement et du conseil européen visant à promouvoir la production d'énergie issue des SER, le Council of European Energy Regulators (CEER) publie régulièrement des rapports sur l'état des différents systèmes de soutien à la production d'électricité SER. Ces rapports fournissent notamment des chiffres sur le soutien/MWh pour les pays membres, ventilés par filière.

Le CEER a publié des chiffres pour la période de 2010 à 2017 pour les différents pays et filières. Certaines comparaisons peuvent donc être faites entre les pays et les filières. Notons cependant que d'une année à l'autre, il est possible que les données d'un pays ne soient pas disponibles.

Le CEER ne donne aucune indication sur la méthodologie utilisée pour calculer le soutien/MWh accordé dans chaque pays. Les seules informations qu'il transmet sont les données provenant des autorités nationales de régulation de l'énergie. Pour le soutien des systèmes FIT, l'incentive a été calculée en retirant du tarif global le prix de vente moyen de l'électricité (CEER, 2011). C'est donc avec un certain recul qu'il faut aborder les chiffres mentionnés ci-dessous.

Pour pouvoir comparer le soutien/MWh accordé en Wallonie pour les filières productrices d'électricité issue de sources d'énergie renouvelables sur la période 2010-2017, de nouveaux calculs ont été fait. Ces calculs suivent la même méthodologie utilisée pour calculer le coût de l'énergie verte sur la période 2003-2019. Il aurait été intéressant de comparer les résultats obtenus dans la section 3.3.3 mais les données sur la production de cogénération dans les autres pays ne sont pas disponibles. Ensuite, le CEER n'a publié que des chiffres pour la période de 2010 à 2017, donc les comparaisons de ce rapport se limitent à une période plus courte.

3.4.1 La place de la Belgique

Première conclusion pouvant être faites à partir de ces données est que la Belgique se place parmi les pays offrant un soutien/MWh moyen des plus généreux dans l'Union européenne pour la période de 2010 à 2015 (les données de la Belgique pour les années 2016 et 2017 n'apparaissent pas dans les rapports). Cependant, à partir de l'année 2014, elle descend dans le classement. Ceci étant en partie dû à la part moins importante du soutien accordé au solaire photovoltaïque (le soutien/MWh passant de 369,07€ en 2013 à 182,90€ en 2014) pour un soutien/MWh accordé aux autres filières relativement constant au cours de ces années. Le tableau ci-dessous reprend le ranking de la Belgique dans le classement des soutiens les plus onéreux, le soutien moyen pour l'ensemble des filières SER en Belgique ainsi que le soutien moyen accordé pour l'ensemble des filières du pays le plus généreux.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Classement Belgique	1/18	3/18	2/22	4/21	7/26	9/26
Soutien moyen (Belgique)	126,12 €	142,04 €	160,35 €	166,08 €	115,99 €	113,72 €
Soutien maximal (tous pays)	126,12 €	196,33 €	219,47 €	194,51 €	180,71 €	183,82 €

Tableau 3 - Soutien/MWh pour la période 2010-2015 en Belgique

3.4.2 Le soutien accordé pour l'ensemble des filières SER

Cette section calcule le soutien/MWh moyen pour l'ensemble des filières SER de plusieurs pays de l'Union européenne pour la période de 2010 à 2017. Les filières analysées sont le solaire photovoltaïque, l'hydraulique, l'éolien et la biomasse (développées individuellement dans les sections qui suivent). Les pays repris sont ceux pour lesquels nous disposons les données pour la période complète de 2010 à 2017. Pour la quasi-totalité des pays analysés des données existent pour les quatre filières, sauf l'Estonie et la Hongrie où il manque des données sur le solaire photovoltaïque et la Norvège qui dispose de données uniquement pour la filière de l'éolien.

Pour calculer la moyenne par pays il faut additionner le soutien total pour chaque filière, obtenu en multipliant le soutien/MWh avec la production en MWh, et puis diviser le résultat trouvé par la production totale en MWh.

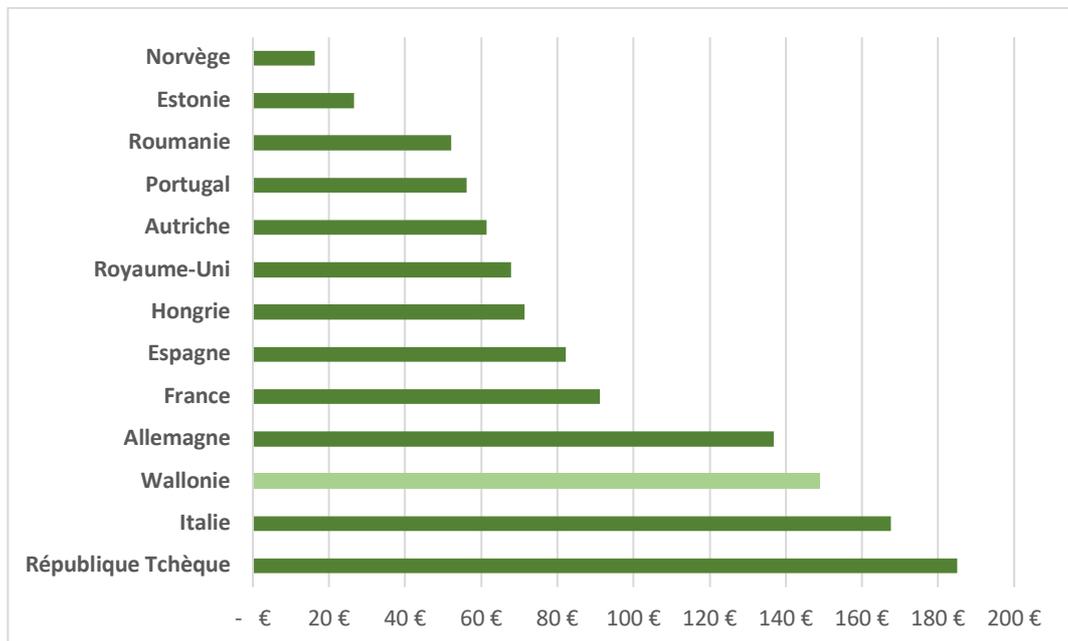
Pour comparer les données sur une période équivalente (et uniquement pour les filières SER) le coût des mécanismes de soutien en Wallonie est recalculé sur la période de 2010 à 2017 pour les quatre filières SER (à part pour l'hydraulique et le soutien total moyen, les chiffres ne changent pas beaucoup comparés aux résultats pour la période 2003-2019). Les résultats sont repris ci-dessous.

	Soutien/MWh (en €)
Solaire photovoltaïque	457,88
Hydraulique	32,46
Éolien	75,43
Biomasse	65,17
Total	148,78 ¹⁸

Tableau 4 - Soutien/MWh des filières SER pour la période 2010-2017 en Wallonie

18 Le soutien total moyen sur la période 2010-2017 est plus élevé que sur la période 2003-2019 à cause de la part grandissante du solaire photovoltaïque.

Le graphique 11 montre le soutien/MWh moyen pour l'ensemble des filières SER pour la période de 2010 à 2017.

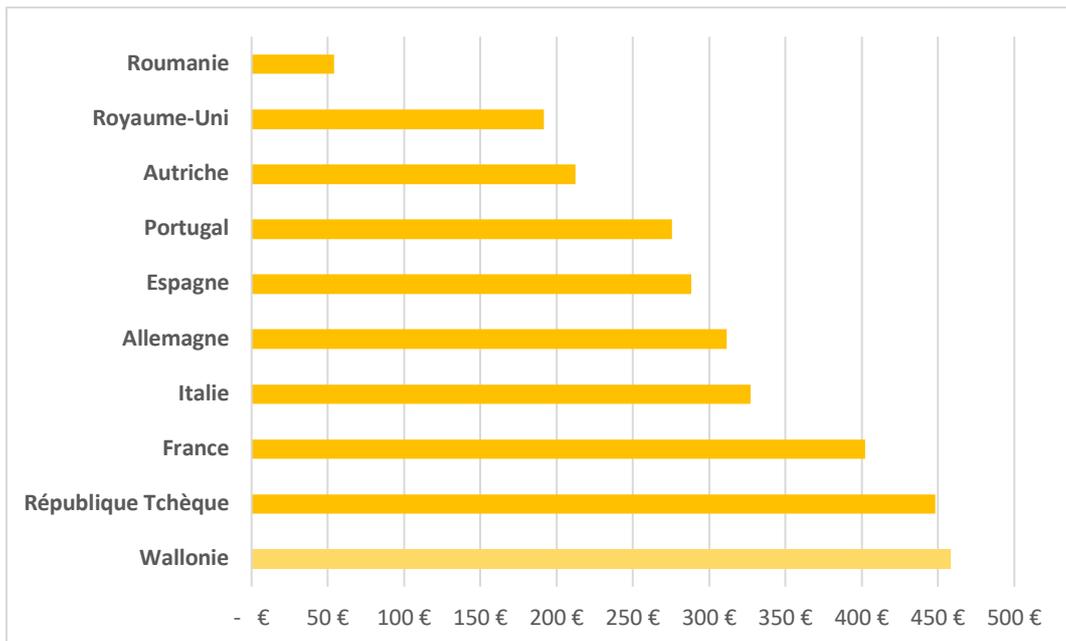


Graphique 11 - Soutien/MWh moyen des filières SER pour la période 2010-2017

Le pays le moins généreux, en ce qui concerne la politique de soutien aux énergies renouvelables (pour les 4 mentionnées ci-dessus), est la Norvège avec un soutien/MWh moyen sur la période de 16,21€. A l'inverse, c'est la République Tchèque qui soutient le plus la production d'électricité SER avec un soutien de 185,10€/MWh. Comparée aux autres pays, la Wallonie se place comme une région généreuse en matière de soutien, avec un montant de 148,78€/MWh.

3.4.3 La filière du solaire photovoltaïque

Le graphique ci-dessous reprend le soutien/MWh moyen de la filière du solaire photovoltaïque pour la période de 2010 à 2017 pour 9 pays de l'Union européenne.

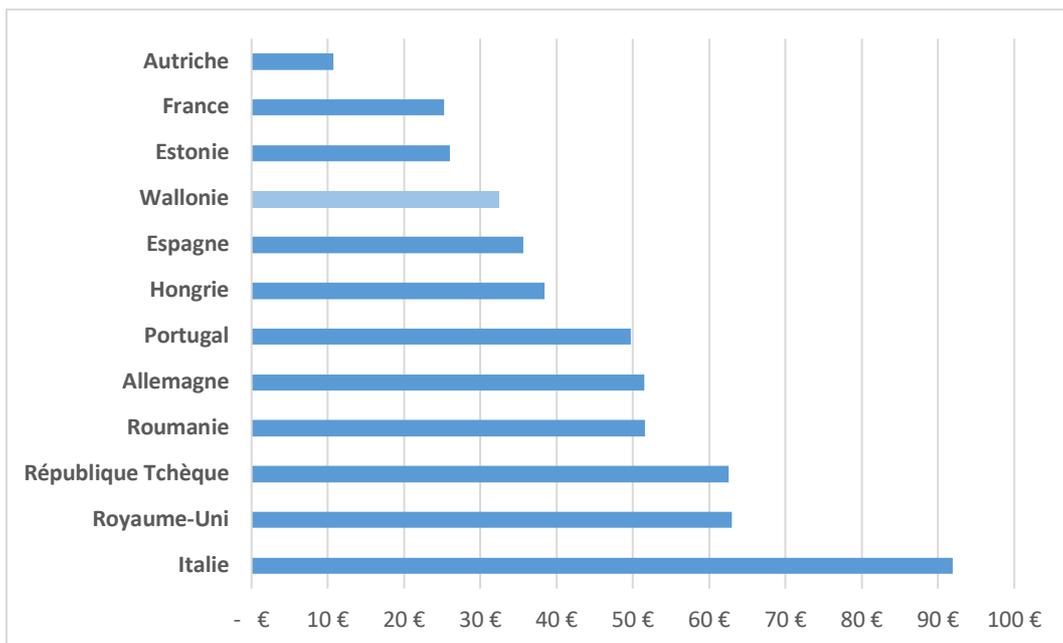


Graphique 12 - Soutien/MWh moyen du solaire photovoltaïque pour la période 2010-2017

Le pays octroyant un soutien/MWh moyen le plus faible parmi les pays repris est la Roumanie avec un montant de 53,95€/MWh. Avec un soutien de 457,88€, la Wallonie est la région la plus généreuse pour la filière du solaire photovoltaïque. Ceci renforce notre impression quant à la générosité du mécanisme de soutien Wallon à l'égard de cette filière. Comme les sections suivantes le montrent, la filière du solaire photovoltaïque est parmi toutes les filières SER analysées, celle qui offre le soutien le plus important par MWh produit pour la grande majorité des pays.

3.4.4 La filière de l'hydraulique

Le graphique ci-dessous reprend le soutien/MWh moyen de la filière de l'hydraulique pour la période de 2010 à 2017 pour les mêmes pays européens qu'au-dessus, ainsi que l'Estonie et la Hongrie.

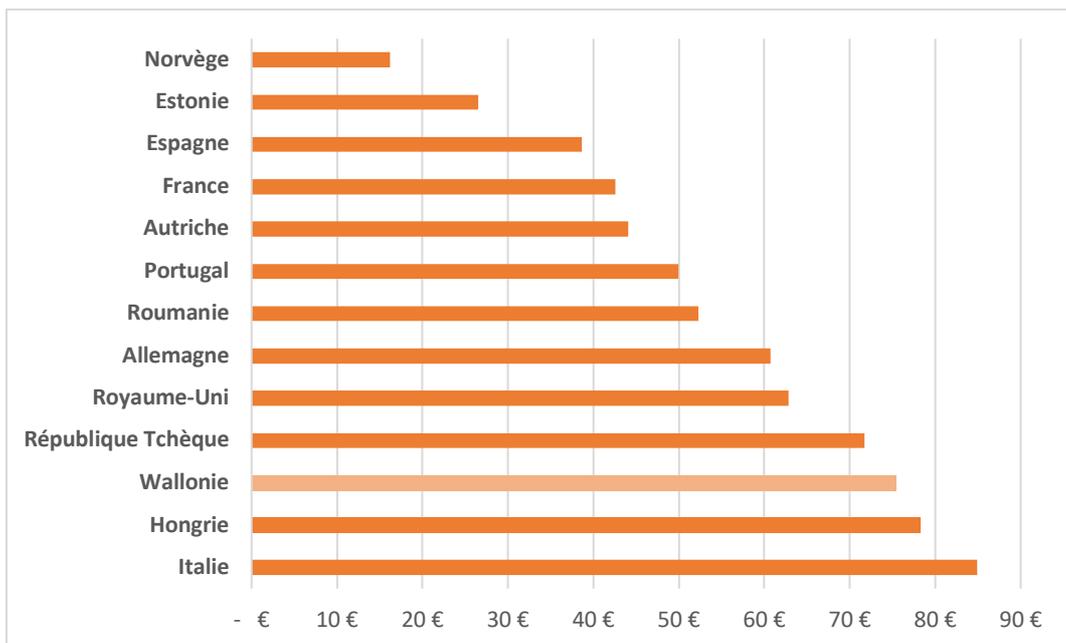


Graphique 13 - Soutien/MWh moyen de l'hydraulique pour la période 2010-2017

C'est l'Autriche, avec un soutien/MWh moyen de 10,76€, qui offre le moins de soutien à la filière de l'hydraulique. À la première marche du podium, se place l'Italie avec un montant de 91,93€. La Wallonie se place dans les régions les moins généreuses avec un soutien accordé aux installations hydrauliques de 32,46€/MWh. Dans l'ensemble, la filière de l'hydraulique est celle qui est la moins soutenue financièrement.

3.4.5 La filière de l'éolien

Le graphique suivant reprend le soutien/MWh moyen de la filière de l'éolien pour la période de 2010 à 2017 pour les mêmes pays que dans la section ci-dessus.

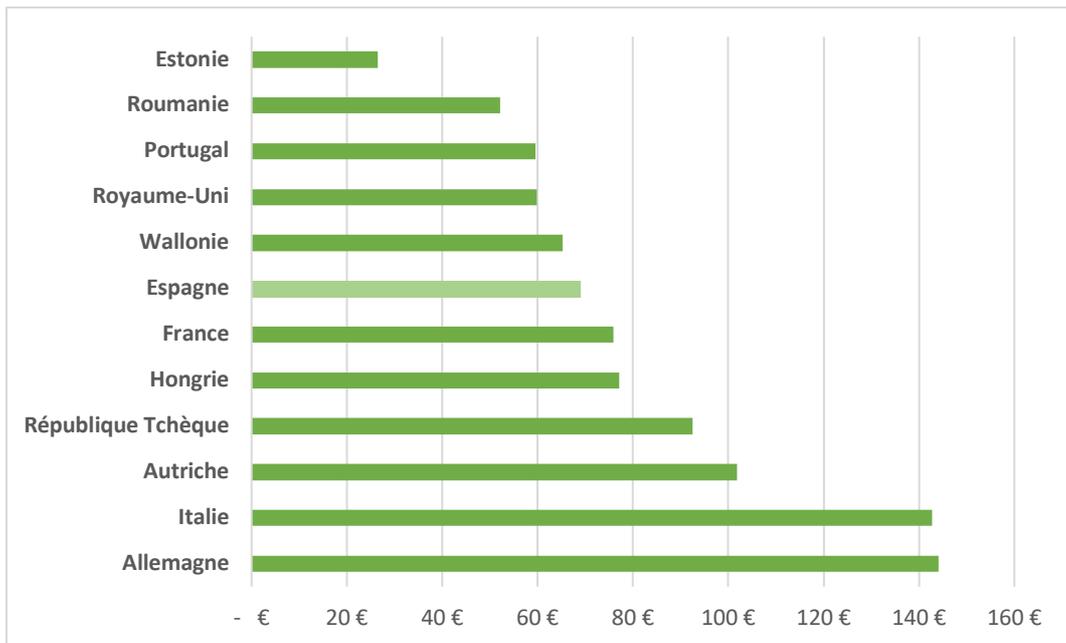


Graphique 14 - Soutien/MWh moyen de l'éolien pour la période 2010-2017

Le pays le moins généreux au niveau du soutien/MWh moyen accordé à la filière de l'éolien est la Norvège avec un montant de 16,21€. Avec 84,93€ de soutien/MWh, c'est l'Italie qui est la plus généreuse. La Wallonie se place en troisième place avec un montant de 75,43€/MWh. Elle est donc également assez généreuse pour cette filière, même si c'est dans une moindre mesure que pour le solaire photovoltaïque.

3.4.6 La filière de la biomasse

Le graphique 15 reprend le soutien/MWh moyen de la filière de la biomasse pour la période de 2010 à 2017 pour les mêmes pays qu'évoqués ci-dessus.



Graphique 15 - Soutien/MWh moyen de la biomasse pour la période 2010-2017

C'est l'Estonie, avec un soutien/MWh moyen accordé de 26,54€ qui est la moins généreuse. L'Allemagne est le pays qui subventionne le plus la filière de la biomasse avec un montant de 144,08€/MWh. La Wallonie, avec un soutien de 65,71€, se positionne dans la moyenne.

3.5 Discussion sur les résultats

Cette section vise à alimenter les résultats trouvés dans la partie ci-dessus en reprenant des éléments de la littérature scientifique qui abordent le coût des mécanismes de soutien aux énergies renouvelables en Europe. De plus, le soutien/MWh est comparé au coût de production moyen actualisé.

Les résultats démontrés précédemment, montrent que la Wallonie et les autres pays de l'union européenne ont octroyés des soutiens élevés. Dans un rapport à destination de la commission européenne (Hajos & al., 2015), les auteurs concluent qu'il était cependant nécessaire d'avoir des mécanismes de soutien généreux dans un premier temps afin de promouvoir massivement l'installations d'unités SER. Les montants des soutiens étaient cependant plus que nécessaires. Les résultats ont aussi montré un soutien important au solaire photovoltaïque (certainement trop important). En effet, Frondel & al. (2008) recommandait déjà en 2008 une réduction importante du soutien accordé à la filière en Allemagne afin de diminuer le taux élevé de soutien octroyé pour cette filière. De plus, choisir de soutenir de manière importante cette filière serait selon les auteurs une des options de réduction des gaz à effet de serre les plus coûteuses.

Comparativement à la région Wallonne, le coût du système des certificats verts en Flandres aurait coûté 1,5 milliards pour la période de 2006 à 2013. Le coût pour la société en Flandre est ainsi estimé à 6,7 milliards pour la période 2014-2031 (Huijben et al., 2016).

Le soutien moyen/MWh peut être comparé avec le coût de production moyen actualisé¹⁹ (en anglais Levelized Cost Of Energy, LCOE). Si le coût du soutien/MWh est plus élevé que le coût de production moyen actualisé alors l'aide est trop généreuse et l'installation n'aura finalement rien coûté au producteur. Cruciani (2014) a recensé le LCOE minimum et maximum pour plusieurs installations produisant de l'électricité pour la période 2011-2013. Le solaire photovoltaïque aurait ainsi un LCOE compris entre 59€/MWh et 467€/MWh. Au niveau de la filière de l'éolien le coût de production serait au minimum de 30€/MWh et au maximum de 121€/MWh. Pour l'hydroélectricité, l'auteur recense des montants compris entre 13€/MWh et 236€/MWh. Finalement, pour toutes les bioénergies le LCOE est d'au moins 26€/MWh et de maximum 158€/MWh. Les énergies fossiles ont un LCOE plus bas, ce qui justifie notamment le soutien apporté aux énergies renouvelables ce qui permettrait de modifier le mix énergétique avec les années. Pour la filière du solaire photovoltaïque, le soutien semble plus que généreux au vu du coût de production pour la filière.

4 Le coût de la tonne de CO₂ évité par les filières vertes en Wallonie

4.1 Introduction

Rappelons que l'objectif des différentes directives européennes et des lois wallonnes est de réduire les émissions de carbone au niveau de la production d'électricité. Pour cette raison, il est nécessaire de voir si les mécanismes de soutien à la production d'électricité verte (ou SER) mis en place en Wallonie permettent d'atteindre ce but.

Cette section vise ainsi à déterminer le coût des économies de carbone entraînées par les énergies issues de sources d'énergie renouvelables (et vertes) en Wallonie. Dans un premier temps, le coût est calculé pour la Wallonie en regardant les soutiens accordés pour les différentes filières et les économies de CO₂ pour chacune d'elles. Ensuite, ce résultat est comparé à d'autres pays afin de mettre en perspective la situation en Wallonie et voir si les mécanismes utilisés sont les moyens les plus efficaces pour atteindre l'objectif d'une économie de CO₂ au moindre coût.

19 Le coût de production moyen actualisé mesure le coût complet de la production d'énergie pour une installation donnée. Ce coût s'obtient en divisant l'ensemble des coûts liés à l'installation (achat, financement, maintenance, ...) par la production d'énergie. On obtient donc une valeur en €/MWh produit.

4.2 Méthodologie

Pour calculer l'économie de CO₂ il faudrait savoir exactement ce que chaque MWh d'électricité SER produit remplace sur le réseau électrique. Pour ce faire il faudrait disposer de données quant à la production journalière, voir même horaire de la production d'électricité en Wallonie. Ainsi, il serait possible de dire quelles sources non SER sont remplacées par la production SER durant la journée. En suivant un objectif de décarbonisation du secteur de l'électricité, un MWh de production SER remplacerait dans un monde idéal la source la plus polluante. La réalité est quelque peu différente étant donné que l'injection d'électricité SER a tendance à remplacer la production d'électricité des sources d'énergie qui sont les plus chères à produire à l'instant T (Boccard & Gautier, 2015).

Dans ce rapport, la même méthodologie que dans le travail de Boccard & Gautier (2015) est utilisée. Cela consiste à calculer l'économie de CO₂ évité par MWh d'électricité produit à partir de sources d'énergie renouvelables en regardant l'émission de CO₂ de la production du mix énergétique belge auquel les filières SER sont soustraites. Ainsi, il serait obtenu un mix énergétique sans tenir compte de la production d'électricité SER. Chaque MWh produite par une filière SER remplacerait alors l'émission de CO₂ émise par le mix énergétique « polluant ». À défaut d'utiliser le mix énergétique belge, le mix énergétique wallon est utilisé dans ce rapport.

Pour procéder aux calculs du coût de la tonne de CO₂ évité par les filières SER deux approches différentes ont été abordées. (1) La première approche consiste à utiliser le taux d'émission de CO₂ de la CWaPE. La commission avance qu'un MWh d'électricité verte produit en Wallonie permettrait une économie de 456kg de CO₂. (2) La deuxième approche consiste à se baser sur une économie de CO₂ en fonction du mix énergétique wallon et du taux d'émission de CO₂ pour chaque source d'énergie/technologie. Les deux approches sont développées dans les sections suivantes.

4.3 Le coût de la tonne de CO2 évité en Wallonie

Dans cette section le coût de la tonne de CO₂ évité par les filières SER et de cogénération en Wallonie est calculé.

4.3.1 Selon la méthodologie « CWaPE »

Une façon de calculer la tonne de CO₂ évité par les filières vertes serait de se baser sur la méthodologie de la CWaPE (maintenant remplacé par le SPW Énergie) concernant les calculs d'octroi de certificats verts. Via cette méthode de calcul, il est possible de regarder le coût de la tonne de CO₂ évité pour l'ensemble des énergies vertes étant donné que les certificats verts sont donnés à tous les producteurs verts.

La CWaPE octroie les certificats verts en fonction du nombre de MWh produits et de l'économie de CO₂ réalisée par chaque installation productrice d'électricité verte. Pour connaître l'économie de CO₂ obtenue, la CWaPE utilise comme référence de base une centrale électrique TGV qui fonctionne au gaz naturel avec un rendement de 55%. L'émission de CO₂ par MWh de ce point de référence est de 456 kg (ou encore 0,456 tonne de CO₂ évité par MWh). Chaque filière de production d'électricité possède un taux d'économie de CO₂ différent par rapport à la référence. C'est une des raisons pour lesquelles les taux d'octroi de CV varient fortement d'une filière à l'autre.

Pour calculer le coût de la tonne de CO₂ évité pour chaque filière sur la période de 2003 à 2019, le montant moyen du soutien par MWh de chaque filière sur la période a été divisé par l'économie de CO₂ de la centrale de référence, soit 0,456 tonne de CO₂ par MWh. Le montant du soutien/MWh par filière étant calculé sur base du nombre de certificats verts remis à chaque filière, le calcul tient bien compte du fait que le taux d'octroi de certificats verts diffère par filière.

Le tableau ci-dessous reprend pour chaque filière productrice d'énergie verte en Wallonie le coût de la tonne de CO₂ évité sur la période de 2003 à 2019.

	Coût par tonne/CO2 évité
Solaire photovoltaïque	985,18 €
Hydraulique	111,04 €
Éolien	171,32 €
Biomasse	141,43 €
COGEN Biomasse	227,70 €
COGEN Fossile	21,60 €
Total	219,53 €

Tableau 5 - Coût par tonne/CO2 évité pour la période 2003-2019 en Wallonie (selon la méthodologie CWaPE)

En se basant sur les informations fournies par le CWaPE, l'électricité verte injectée sur le réseau électrique wallon remplacerait l'électricité produite par une centrale électrique TGV fonctionnant au gaz naturel. Cette hypothèse est quelque peu discutable, en effet, le mix énergétique wallon dépend fortement du nucléaire et beaucoup moins du gaz comme le montre le tableau du mix énergétique wallon dans la section 4.3.2. (69,77% pour le nucléaire et 16,41% pour le gaz). De plus, le nucléaire émet moins de CO₂ que le gaz (voir section 4.3.2.). Pour ces raisons, l'économie de CO₂/MWh de référence devrait être moindre que celle utilisée par la CWaPE.

4.3.2 Selon la méthodologie « Mix énergétique »

Pour la méthodologie (2) nous avons besoin de calculer le mix énergétique wallon sur la période 2003-2019. Cette section explique la démarche utilisée pour le calcul et fournit un tableau sur la part de chaque source d'énergie utilisée et la part des filières de la cogénération dans la production d'électricité en Wallonie.

Pour calculer le mix énergétique Wallon, les chiffres sur la production d'électricité par source d'énergie en Wallonie ont été utilisés. Ces données sont fournies dans le bilan énergétique de la Région wallonne publié par l'Institut de Conseil et d'études en développement durable ASBL (ICEDD asbl) pour le compte du Ministère de la Région Wallonne DGTRE (plus tard pour le Service Public de Wallonie).

Les rapports fournissent des données pour les différentes sources d'énergies comme le nucléaire, le gaz naturel, le charbon, le pétrole, l'hydraulique, la biomasse, l'éolien et le solaire. La part de l'électricité produite à partir des filières de cogénération est également calculée. Des données sont fournies sur la production totale issue de la cogénération et la répartition de la production par source d'énergie. Ainsi, la part de la cogénération biomasse et celle de la cogénération fossile sont trouvées. De la production électrique à partir de gaz naturel et de pétrole, la partie qui est utilisée dans la cogénération a été enlevée²⁰.

Des données ont pu être agrégées pour les années de 2004 à 2016 grâce aux différents rapports. Pour l'année 2018, il existe seulement une fiche récapitulative publiée par l'Institut Wallon de l'évaluation, de la prospective et de la statistique, l'IWEPS. Il manque donc des données pour l'année 2003, 2017 et 2019. Au vu de la part relativement constante de chaque source dans le total, la moyenne pour la période 2003-2019 est calculée à partir des informations renseignées.

Le tableau 6 reprend la part moyenne de chaque source d'énergie et des filières de cogénération dans la production d'électricité en Wallonie sur la période 2003-2019.

²⁰ Parmi les sources d'énergies productrices d'électricité en Wallonie, il existe également le gaz de haut-fourneau (production mise à l'arrêt en 2012), le gaz de houille ainsi que les déchets organiques et non-organiques. Ensemble elles représentent 2% dans la part de la production en Wallonie pour la période de 2003 à 2019. Nous ne tenons pas compte de ces sources d'énergie car nous manquons d'informations pour trouver leur taux d'émission de CO₂ par MWh produit. Au vu de leur part peu importante dans le mix, cela n'influencerait pas beaucoup les résultats sur le taux moyen d'émission de CO₂ pour le mix énergétique.

	Part dans le mix énergétique wallon (2003-2019)
Nucléaire	69,77%
Gaz naturel	16,41%
Charbon	0,80%
Pétrole	0,55%
Hydraulique	1,26%
Biomasse	1,64%
Éolien	2,80%
Solaire	1,05%
COGEN Biomasse	2,44%
COGEN Fossile	3,25%

Tableau 6 - Mix énergétique wallon pour la période 2003-2019

La deuxième méthodologie consiste à regarder le taux d'émission moyen de CO₂ de la production d'électricité issue de sources d'énergie fossiles. Une fois ce taux trouvé, il est possible de calculer le coût de la tonne de CO₂ évité par les filières vertes.

Pour calculer la tonne de CO₂ évité par la production des filières SER et celles de cogénération, il faut d'abord multiplier la part de chaque source d'énergie dans le mix énergétique wallon par le taux d'émission de CO₂ de chacune d'entre elles. Une fois l'émission de CO₂ /MWh moyen pour le mix énergétique wallon trouvé, les émissions de CO₂ des sources d'énergie renouvelables sont retirées.

Il existe de nombreux articles dans la littérature concernant les taux d'émission de CO₂ des différentes technologies et sources d'énergies. Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) regroupe des données de différents articles scientifiques sur les taux d'émission de CO₂ sur l'entièreté du cycle de vie, des différentes sources d'énergie et des différentes technologies dans son rapport « AR5 Climate Change 2014 : Mitigation of Climate Change » (IPCC, 2014). Des chiffres plus précis pour les émissions directes et indirectes se trouvent dans l'annexe III de ce rapport (IPCC, 2014). Pour chaque source d'énergie/technologie le taux d'émission de CO₂ médian est utilisé étant donné la distribution asymétrique pour les différents taux recueillis par source d'énergie/technologie. Le rapport ne fournit pas des données sur toutes les sources/technologies (comme par exemple la cogénération fossile). Les chiffres manquants proviennent d'autres sources scientifiques.

Les tableaux ci-dessous reprennent donc pour chaque source d'énergie et filière de la cogénération son taux d'émission de CO₂ par MWh produit, sa part dans le mix énergétique wallon, le taux moyen d'émission de CO₂ pour l'ensemble de sources d'énergie ainsi que le taux moyen en gardant uniquement les énergies non-vertes.

	Mix énergétique Wallonie 2003-2019	Émission de CO2 kg/MWh
Nucléaire	69,77%	12
Gaz naturel	16,41%	490
Charbon	0,80%	820 ²¹
Pétrole	0,55%	742 ²²
Hydraulique	1,26%	24
Biomasse	1,64%	230
Éolien	2,80%	11
Solaire	1,05%	45 ²³
COGEN Biomasse	2,44%	740
COGEN Fossile	3,25%	251 ²⁴

Tableau 7 - Taux d'émission de CO2 par source d'énergie/technologie en Wallonie

	Taux d'émission CO2 moyen 2003-2019
Total	130,59
Sans SER-GOGEN	113,64
Sans SER	134,85

Tableau 8 - Taux d'émission de CO2 moyen du mix énergétique wallon pour la période 2003-2019

Pour calculer le coût de la tonne de CO₂ évité par les sources d'énergie vertes sur la période 2003-2019, le soutien par MWh de chaque filière est divisé par la taux moyen d'émission de CO₂ des sources d'énergies fossiles (113,64€).

	Coût par tonne/CO2 évité
Solaire photovoltaïque	3 953,03 €
Hydraulique	445,57 €
Éolien	687,43 €
Biomasse	567,48 €
COGEN Biomasse	914,65 €
COGEN Fossile	86,69 €
Total	880,87€

Tableau 9 – Coût par tonne/CO2 évité pour la période 2003-2019 en Wallonie (selon la méthodologie mix énergétique)

21 Le taux d'émission retenu est celui pour l'antracite, aussi appelé « Hard Coal ».

22 Ce taux provient vient de Hondo (2005).

23 Le taux pour le solaire est calculé en prenant la moyenne du taux pour le « Solar PV utility » et « Solar PV rooftop ».

24 Ce taux provient de Région wallonne (2003).

Les résultats trouvés avec la méthodologie « Mix énergétique » sont fort différents comparés avec la méthodologie « CWaPE ». Le coût de la tonne de CO₂ évité est plus de trois fois supérieur avec la façon de procéder « Mix énergétique ». Étant donné que pour la méthodologie mix énergétique les calculs dépendent de mix énergétique moyen, la part de chaque source d'énergie joue un rôle important dans les résultats trouvés. La différence observée vient donc principalement de la part prédominante du nucléaire (69,77%) dans le mix énergétique wallon et d'une part moins importante du gaz naturel (16,41%).

Pour rappel, la référence utilisée par le CWaPE est le taux d'émission d'une centrale TGV fonctionnant au gaz naturel. Les rapports sur le bilan énergétique fournissent également une ventilation de la production par type d'unité. Il est donc possible de regarder si la part de la production d'électricité à partir d'une centrale TGV fonctionnant au gaz naturel a diminué ou non (dans l'optique où les énergies vertes remplaceraient la production d'une TGV). Le tableau ci-dessous reprend la part de la production des unités nucléaire, TGV, GOGEN et renouvelable dans le production totale.

Année ²⁵	Nucléaire	TGV	GOGEN	Renouvelable ²⁶
2004	72,4%	14,5%	5,1%	1,1%
2005	74,0%	12,9%	4,6%	1,1%
2006	72,9%	13,5%	5,2%	1,5%
2007	72,8%	13,8%	6,0%	1,8%
2008	74,6%	11,5%	6,8%	2,3%
2009	70,4%	16,8%	5,5%	2,5%
2010	67,0%	19,7%	6,4%	3,0%
2011	70,1%	16,0%	6,7%	4,3%
2012	68,5%	14,7%	7,0%	6,7%
2013	66,4%	16,3%	7,1%	7,5%
2014	64,7%	16,9%	7,5%	8,4%
2015	56,4%	20,6%	8,8%	10,8%
2016	64,4%	16,0%	7,7%	8,5%

Tableau 10 – Production électrique en Wallonie ventilée par type d'unité

Du tableau il est possible de constater que la part d'électricité produite à partir du nucléaire a tendance à décroître sur les années. La production GOGEN garde quant à elle, une part relativement constante sur les années. La partie de la production issue des centrales TGV varie d'une année à l'autre mais elle a une part plus importante durant les années les plus récentes. Les filières renouvelables ont pris de l'importance d'année en année. Selon ces tendances, le renouvelable aurait plutôt tendance à remplacer la production issue de

²⁵ Ne sont pas repris dans le tableau les unités de production « Thermique classique », « Autres thermiques », « Turbo-jet » et « TGA ».

²⁶ Ne comporte pas la production issue de la biomasse.

nucléaire que celle issue des centrales TGV. Il serait dès lors plus logique d'utiliser le nucléaire comme référence dans le calcul d'octroi des certificats verts au lieu des centrales TGV.

Ensuite, les résultats diffèrent aussi des constats faits dans l'étude de Boccard & Gautier (2015) à cause du mix énergétique choisi. En effet, le mix énergétique de la production wallonne et belge diffère au niveau de la part du nucléaire et du gaz naturel. Pour le mix belge 2003-2012 la part du nucléaire et gaz naturel sont respectivement de 53% et 32%. En Wallonie, les parts étaient respectivement de 69,77% et 16,41% pour le nucléaire et le gaz naturel.

Finalement, les résultats montrent clairement un coût par tonne de CO₂ évité important avec les mécanismes de soutien à la production d'énergie verte mis en place en Wallonie. Pour voir dans quelle mesure ce coût est fort élevé ou non, il est opportun de comparer les résultats aux pays de l'Union européenne et à d'autres points de comparaisons issues de la littérature.

4.4 Comparaisons internationales

Pour comparer le coût de la tonne de CO₂ évité par les filières SER en Wallonie avec d'autres pays de l'Union européenne (comme pour la comparaison du coût du mécanisme de soutien réalisée dans les sections précédentes), la part moyenne de chaque source d'énergie dans la production d'électricité en Wallonie a été recalculé pour la période 2010-2017. Le tableau ci-dessous reprend ces données.

	Part dans le mix énergétique wallon (2010-2017)
Nucléaire	67,46%
Gaz naturel	16,02%
Charbon	0,00%
Pétrole	0,67%
Hydraulique	1,44%
Biomasse	1,64%
Éolien	4,24%
Solaire	1,52%
COGEN Biomasse	3,08%
COGEN Fossile	3,92%

Tableau 11 – Mix énergétique wallon pour la période 2010-2017

Pour les comparaisons avec les autres pays européens uniquement le soutien accordé à la production d'électricité issue de sources d'énergie renouvelables pour la période de 2010-2017 est regardé. En effet, les données sur la part de la production d'électricité issue des

filières de cogénération pour les autres pays ne sont pas disponibles. Pour permettre cette évaluation, le taux d'émission moyen du mix énergétique sans les énergies renouvelables a été recalculé. Le produit des calculs se trouve dans le tableau ci-dessous.

	Taux d'émission CO2 moyen 2010-2017
Sans SER	136,28

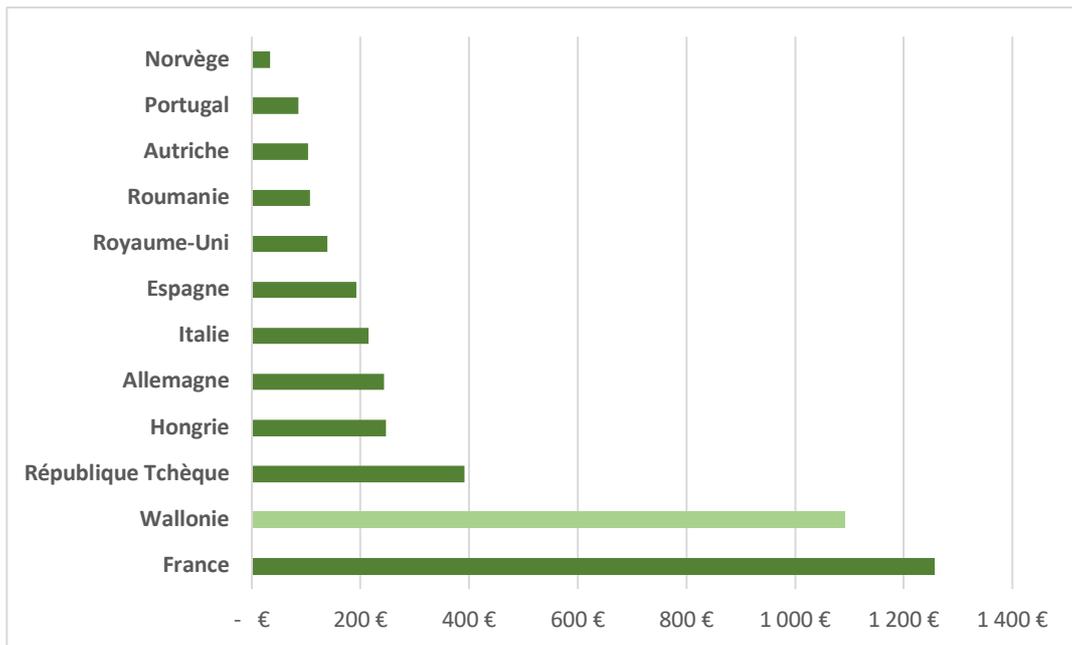
Tableau 12 - Taux d'émission de CO₂ moyen du mix énergétique wallon sans les filières renouvelables pour la période 2010-2017

Pour comparer le coût de la tonne de CO₂ évité wallonne aux autres pays, il faut calculer leur mix énergétique. Les données sur le soutien apporté par filière SER pour la période 2010-2017 ont déjà été récoltées. Pour calculer le mix énergétique des pays, les données recueillies auprès d'ENTSO-E²⁷ sont utilisées (pour le mix énergétique allemand, des données de Fraunhofer ont été utilisées). Cette organisation publie des données mensuelles sur la production d'électricité, filtrée par filière, pour les pays utilisés dans les comparaisons précédentes. Les pays analysés sont les mêmes que pour la comparaison du coût des mécanismes de soutien (section 3.4) hormis l'Estonie pour qui il n'y avait pas suffisamment de données. (Un graphique représentant le mix énergétique de chaque pays se trouve en à l'annexe 7)

Ensuite, le taux d'émission de CO₂ moyen du mix énergétique sans SER (sur la période 2010-2017) est calculé pour chaque pays. Pour la Wallonie, les résultats de la méthodologie « Mix énergétique » sont utilisés pour les comparaisons.

Le graphique ci-dessous reprend le coût moyen de la tonne de CO₂ évité par les filières SER pour la période de 2010-2017 par chaque pays analysé.

27 ENTSO-E, European Network of Transmission System Operators for Electricity représente 34 gestionnaires de réseaux de transport d'électricité de 36 pays dont les pays de l'Europe



Graphique 16 - Coût de la tonne de CO₂ évité par les filières SER pour la période 2010-2017

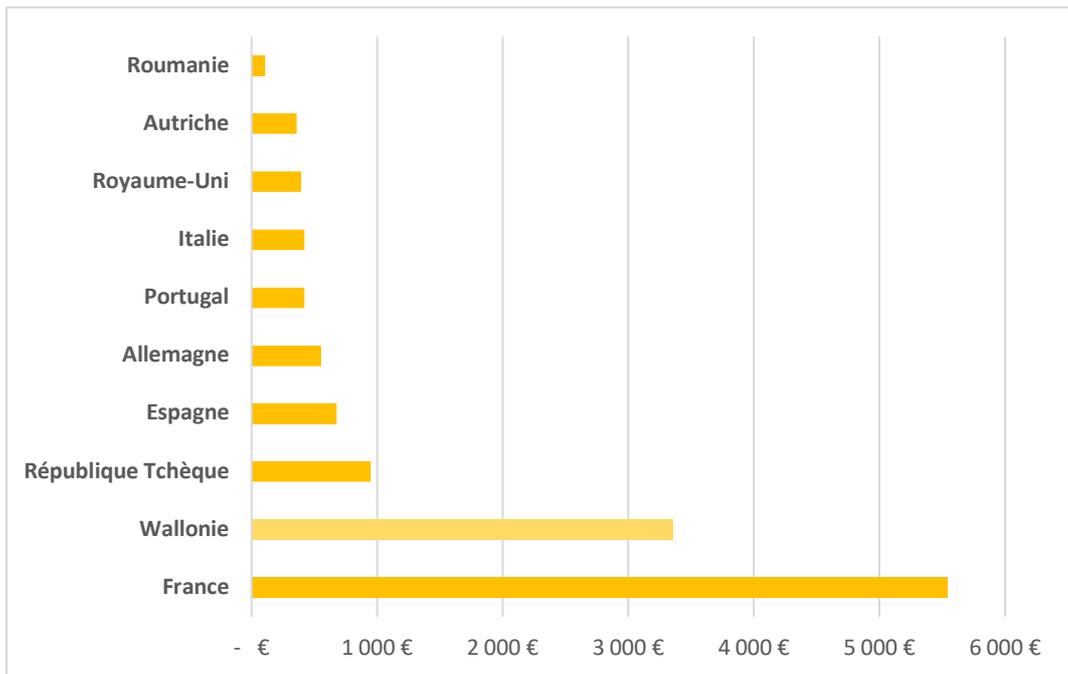
La France et la Wallonie se détachent des autres pays analysés avec un coût t/CO₂ respectif de 1.255,35€ et 1.091,72€ sur la période de 2010 à 2017. La France dépend principalement, comme la Wallonie, du nucléaire dans sa production d'électricité. Étant donné que le nucléaire est moins polluant que les autres sources fossiles, le taux d'émission de CO₂ moyen du mix énergétique, sans les filières SER, est très bas comparé à d'autres pays (émission de 72,58 CO₂/MWh pour la France et 136,28 CO₂/MWh pour la Wallonie). À partir des taux d'émissions de CO₂/MWh, il est possible de constater que la France est particulièrement généreuse. Finalement, en comparant la Wallonie avec la Hongrie, qui est également fort dépendante du nucléaire (51% de la production électrique vient du nucléaire), il est possible de conclure que la Wallonie est particulièrement généreuse.

4.4.1 Comparaisons par filière

Les sections suivantes montrent le coût de la tonne de CO₂ évité pour les filières du solaire photovoltaïque, de l'hydraulique, de l'éolien et de la biomasse.

4.4.1.1 Le solaire photovoltaïque

Le graphique ci-dessous montre le coût de la tonne de CO₂ évité par la filière du solaire photovoltaïque pour chaque pays sur la période de 2010 à 2017.

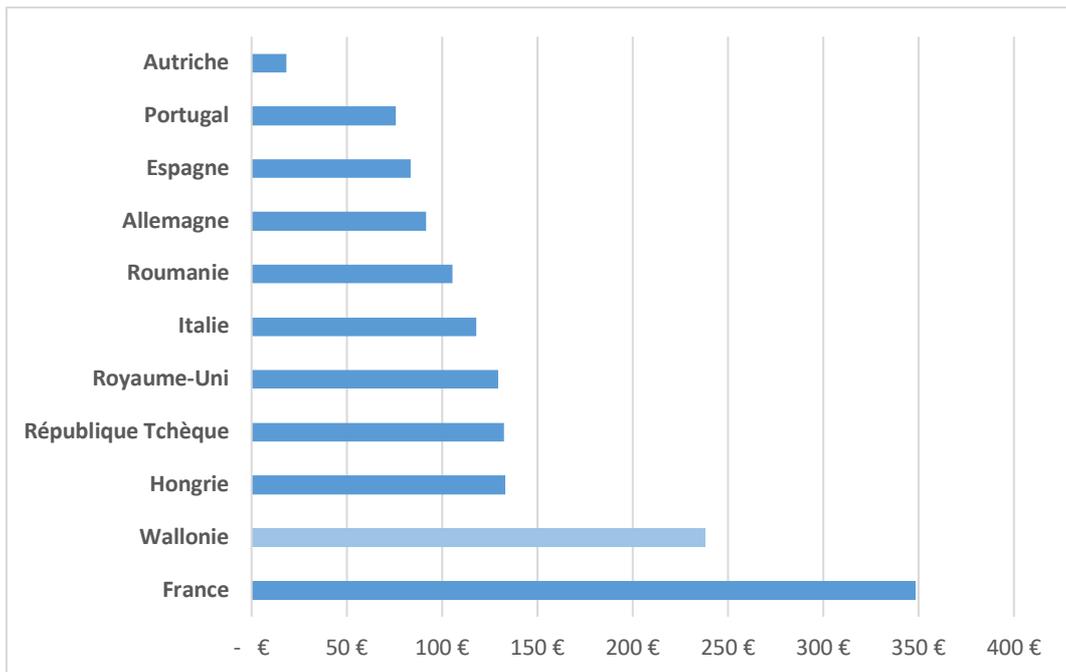


Graphique 17 - Coût de la tonne de CO₂ évité par le solaire photovoltaïque pour la période 2010-2017

C'est pour la filière du solaire photovoltaïque que le coût de la tonne de CO₂ évité est le plus élevé comparé aux autres filières. Seule la France, avec un coût de 5.544,11€, est devant la Wallonie (3.359,74€ pour la Wallonie). La Wallonie présente un montant 5 fois plus important que la République Tchèque qui se place en 3^{ème} position. C'est en Roumanie que le coût de la tonne de évité est le plus bas avec un montant de 110,21€.

4.4.1.2 L'hydraulique

Le graphique ci-dessous montre le coût de la tonne de CO₂ évité par la filière de l'hydraulique pour chaque pays sur la période de 2010 à 2017.

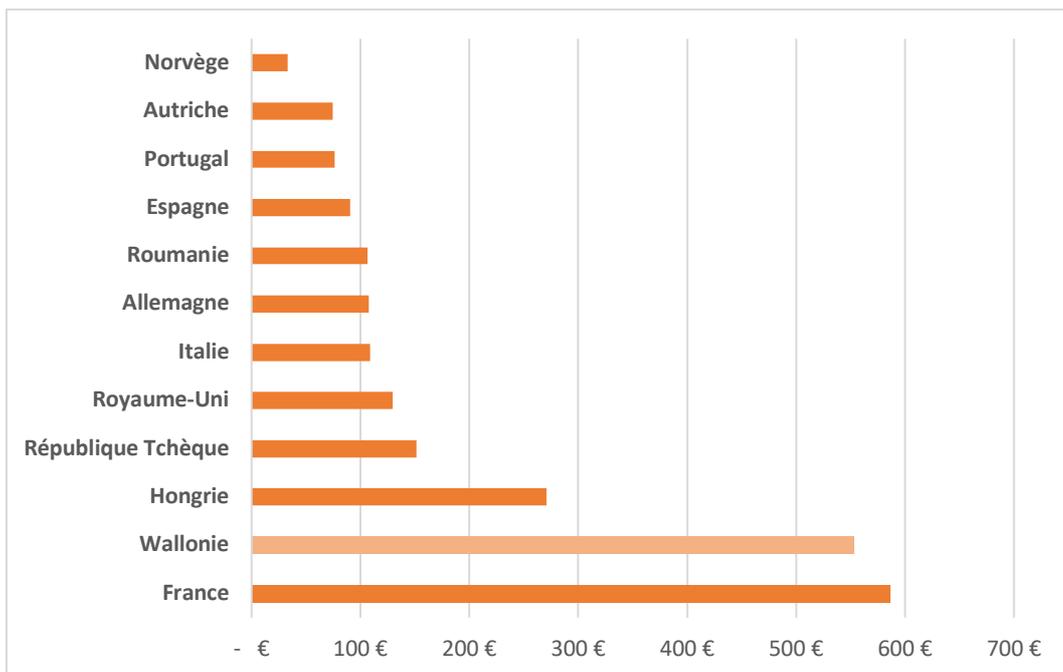


Graphique 18 - Coût de la tonne de CO₂ évité par l'hydraulique pour la période 2010-2017

À nouveau, la Wallonie se place parmi les régions où le coût de la tonne de CO₂ évité est le plus élevé, avec un montant de 238,19€ pour la filière de l'hydraulique. Rappelons que pour cette filière, la Wallonie se plaçait dans la moyenne inférieure quant au soutien accordé par MWh produit. Le fait que la Wallonie se trouve dans la moyenne supérieure est due à son mix énergétique. Le pays où ce coût est le moins élevé est l'Autriche avec un montant égal à 18,15€.

4.4.1.3 L'éolien

Le graphique ci-dessous montre le coût de la tonne de CO₂ évité par la filière de l'éolien pour chaque pays sur la période de 2010 à 2017.

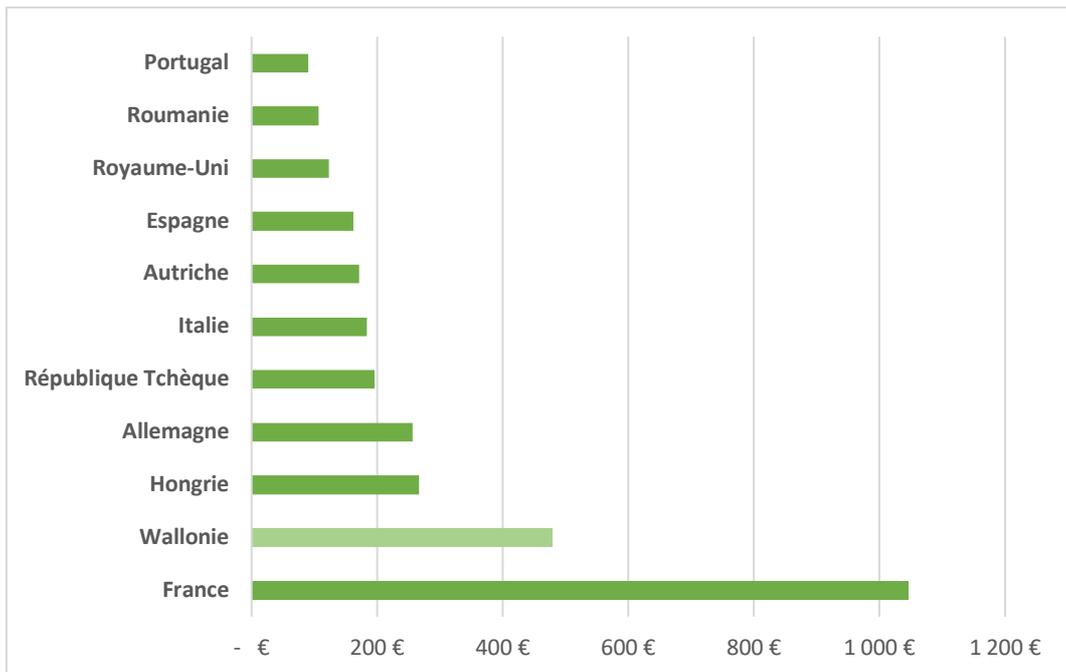


Graphique 19 - Coût de la tonne de CO₂ évité par l'éolien pour la période 2010-2017

La Wallonie est la deuxième région où le coût de la tonne de CO₂ évité par la filière de l'éolien est le plus élevé, avec un montant de 553,45€. Le coût de la tonne de CO₂ évité par l'éolien est le plus élevé en Norvège, avec un montant de 33,08€

4.4.1.4 La biomasse

Le graphique ci-dessous montre le coût de la tonne de CO₂ évité par la filière de la biomasse pour chaque pays sur la période de 2010 à 2017.



Graphique 20 - Coût de la tonne de CO₂ évité par la biomasse pour la période 2010-2017

Alors que la Wallonie se trouvait dans les régions les moins généreuses dans le soutien accordé à la filière de la biomasse, elle présente un coût par tonne de CO₂ évité élevé pour cette filière qui est de 478,21€. Ce qui est plus du double du pays en-dessous de lui, la Hongrie avec 266,97€. C'est en Portugal que le coût est le plus bas avec un montant de 90,66€.

4.4.2 Coût de la tonne de CO₂ évité wallonne en fonction du mix énergétique

Les résultats précédents ont montré que le coût de la tonne de CO₂ évité dépend fortement du mix énergétique du pays. À côté de ça, chaque pays est libre de déterminer lui-même le soutien qu'il veut accorder à l'ensemble des filières SER. La partie n'étant donc pas expliquée par le mix énergétique correspond à la part de générosité ou non du système de soutien.

Pour regarder à quel point le système wallon est généreux, le coût de la tonne de CO₂ évité est recalculé dans le scénario où le mix énergétique wallon serait remplacé par le mix énergétique des autres pays. Pour le soutien accordé par MWh produits des filières SER, les résultats trouvés pour la Wallonie sont gardés. La différence trouvée entre ces résultats et le réel coût de la tonne de CO₂ évité dans chaque pays, montrera donc la réelle générosité du système wallon.

Pour l'ensemble des filières, la Wallonie aurait un coût de la tonne de CO₂ évité moindre sauf si elle possédait le mix énergétique de la République Tchèque ou de l'Italie.

Pour la filière de la biomasse et de l'hydraulique la tendance s'inverse. Pour chacune des filières, la Wallonie aurait un coût de la tonne de CO₂ évité moins important pour six pays sur les dix analysés. Nous pouvons donc en conclure qu'au niveau de ces deux filières la Wallonie se trouve parmi les régions où le mécanisme de soutien entraîne un coût de la tonne de CO₂ évité des moins important.

Pour la filière de l'éolien, la Wallonie aurait un coût de la tonne de CO₂ évité moindre si elle possédait le mix de l'Italie. Finalement, pour la filière du solaire photovoltaïque le coût de la tonne de CO₂ évité si le mix énergétique wallon était remplacé par celui des autres pays serait plus élevé pour tous les pays. La différence entre le coût de la tonne de CO₂ évité avec le mix des autres pays et le réel coût de la tonne de CO₂ pour chaque pays, montre la générosité du système wallon. Ces différences sont pour certains pays assez importantes. Il peut donc clairement être constaté que le soutien apporté à la filière du photovoltaïque en Wallonie est très important.

L'annexe 8 reprend un tableau qui montre le coût de la tonne de CO₂ évité pour les filières SER en Wallonie en prenant le mix énergétique des autres pays ainsi que le coût de la tonne de CO₂ évité pour chaque pays avec son mix énergétique respectif.

4.5 Discussion sur les résultats

Cette section compare les résultats trouvés pour le coût de la tonne de CO₂ en Wallonie avec des références de base trouvées dans la littérature scientifique. Parmi les différentes études traitant ce sujet, voici les différents points de référence retenus pour l'Union européenne.

La commission européenne a mis en place en 2005 le système « Emission Trading System », ETS. Les permis carbone, échangés dans ce système, devaient encourager les grands émetteurs de CO₂ à se tourner vers l'électricité issue de sources d'énergie renouvelables. Cet objectif pouvait être atteint si le prix des permis carbone s'échangeaient à un prix entre 30€ et 40€. Dans les faits, le prix est resté pendant des années en-dessous de 10€ (de 2011 à fin 2017). En effet, la crise économique de 2008 a ralenti l'économie ce qui a in fine réduit les besoins énergétiques. Les différents mécanismes de soutien à la production d'électricité SER ont également contribué à ce niveau fort bas du prix des permis carbone (Zgajewski, 2014). Fin 2018, le prix des primes ETS a passé la barre des 20€ et s'échange au jour d'aujourd'hui aux alentours de 25€ (août 2020). Les changements apportés au cadre législatif en 2018, prévoient de diminuer de 2,2% par année le volume total des émissions de gaz à effet de serre tombant sous le système ETS à partir de l'année 2021. Ceci devrait à terme augmenter le prix des permis carbone.

Le GIEC retient un prix du carbone entre 20\$-50\$/tCO₂ qui assurerait d'ici 2050 une réduction importante des émissions de gaz à effet de serre dans le secteur de la production d'électricité tout en assurant une certaine attractivité économique des différentes filières SER (IPPC, 2017).

Dans un rapport sur les subsides et les coûts de l'énergie en Europe écrit pour la Commission Européenne, Alberici et al. (2014) arrivent à un coût de la tonne de CO₂ de 50€.

Un autre point de comparaison est le prix implicite du carbone retenu par l'OCDE. Dans son rapport « Effective Carbon Rates 2018 », elle analyse le prix du carbone dans ses pays membres et le compare à deux valeurs benchmark. L'OCDE utilise une première estimation basse du coût carbone à 30€/tCO₂. Le deuxième point de référence est de 60€/tCO₂ qui correspond à une estimation moyenne pour le coût en 2020 et une estimation basse pour 2030 (OECD, 2018).

À titre de comparaison internationale, le World Bank Group (2019) a publié des données sur le prix carbone des différents systèmes (taxe carbone ou système d'échange des droits d'émission) à travers le monde pour l'année 2019. Le prix carbone varie entre 1\$ et 127\$/tCO₂ et pour 51% des émissions couvertes par un système, le prix carbone est inférieure à 10\$/tCO₂.

Comparé aux points de références ci-dessus, le coût de la tonne de CO₂ évité par les filières vertes en Wallonie est largement supérieur en utilisant aussi bien la méthodologie « CWaPE » que la méthodologie « Mix énergétique ». Le Gouvernement wallon a subsidié les économies de CO₂ dans la production d'électricité principalement via la filière du solaire photovoltaïque. Clairement, le soutien apporté à cette filière ainsi que la tonne de CO₂ qu'elle remplace font que le coût de la tonne de CO₂ évité est très important. Si l'objectif est de réduire les émissions de CO₂ au moindre coût alors les éléments mis en place en Wallonie ne sont pas optimaux.

Pourquoi est-ce que la Wallonie a-t-elle autant soutenu les différentes filières vertes (et surtout le solaire photovoltaïque) alors? La raison d'être de la générosité du plan Solwatt, et donc les installations photovoltaïques de petites tailles, pourrait simplement être liée à une erreur de calcul (Collard, 2013).

5 Conclusions de l'étude

Hors des résultats de ce rapport, il est possible de dire que le mécanisme de soutien à la production d'électricité est efficace dans le sens où la part de l'électricité verte a fortement

augmenté au cours de la période 2003-2019. Ceci est également vrai pour la part des énergies renouvelables.

Au niveau de l'efficacité du système, il est possible de constater que le soutien était très généreux, surtout pour la filière du solaire photovoltaïque, qui s'est vu attribuer un soutien moyen sur l'ensemble de la période de 465,53€/MWh sous le système des certificats verts. Comparativement au coût de production moyen actualisé, le soutien est trop important. La Wallonie a tout de même réussi à s'adapter en remplaçant le plan Solwatt par le plan Quali watt, faisant chuter le soutien à 224,63€/MWh. De plus, les comparaisons avec certains pays de l'Union européenne ont montré que pour les filières du solaire photovoltaïque et de l'éolien, la Wallonie se situe parmi les régions les plus généreuses.

Grâce au prix plancher de 65€ des CV, la Wallonie a assuré un soutien minimum et a rapidement fait grandir la part d'électricité verte dans la consommation finale. Sans ce prix plancher, le nombre d'installations aurait été certainement plus bas (De Jonghe et al. 2009). En principe le prix des certificats verts s'ajuste aux évolutions technologiques dans les différentes filières sauf si il existe un prix plancher. Avec ce prix plancher, le prix du certificat devant en principe signaler le prix du marché, a perdu de son intérêt (Boccard & Gautier, 2019). Le système wallon n'a donc pas montré assez de flexibilité pour faire face à la diminution des coûts de production des installations (Boccard & Gautier, 2015) alors que la Commission européenne (2013) a formulé l'exigence que les mécanismes de soutien devaient entre autre être construits de manière à ce qu'elles permettent une certaine flexibilité afin de s'adapter aux nouvelles technologies qui émergent dans le secteur.

Ensuite, le prix de la tonne de CO₂ évité par les filières renouvelables est extrêmement élevé en Wallonie, que ce soit par rapport aux autres pays analysés ou bien par rapport aux références dans la littérature. La Wallonie n'est cependant pas la seule région à éliminer la tonne de CO₂ à un prix bien au-dessus des différentes références. En effet, tous les pays analysés, sauf la Norvège, ont un coût de t/CO₂ élevé pour l'ensemble des filières SER. En remplaçant le mix énergétique wallon par le mix énergétique des autres pays dans le calcul du coût de la tonne de CO₂ évitée, les résultats montrent que le soutien wallon est plus généreux que les autres pays.

Pour conclure, la Wallonie aurait dû opter pour un système de soutien qui supporte la production d'énergie renouvelable à long terme au moindre coût. Le simple fait de vouloir augmenter sa production d'électricité SER ou verte ne justifie pas le montant des soutiens apportés aux filières, en particulier la filière du solaire photovoltaïque (Collard, 2013).

6 Bibliographie

Alberici, S., Boeve, S., Van Breevoort, P., Deng, Y., Förster, S., Gardiner, A., Van Gastel, V., Grave, K., Groenenberg, H., De Jager, D., Klaassen, E., Pouwels W., Smith, M., De Visser, E., Winkel, T., & Wouters, K. (2014). *Subsidies and costs of the EU energy, final report*.

Bergek, A., & Jacobsson, S. (2010). *Are tradable green certificates a cost-efficient policy driving technical change or a rent-generating machine ? Lessons from Sweden*. *Energy Policy* 38(3): 1255-1271.

Boccard, N., & Gautier, A. (2015). *Le coût de l'énergie verte en Wallonie, 2003-2012*.

Boccard, N., & Gautier, A. (2019). *Certificats verts ou prime de rachat ? Évolution du marché des certificats verts en Wallonie*. *Reflets et perspectives de la vie économique*, 2019.

CEER. (2011). *Report on renewable energy support in Europe*. <https://cutt.ly/6d0Leuf>

CEER. (2013). *Status review of renewable and energy efficiency support schemes in Europe*. <https://www.ceer.eu/documents/104400/-/-/fb65b156-71a6-b717-a3ec-585b138aa3ae>

CEER. (2015). *Status review of renewable and energy efficiency support schemes in Europe in 2012 and 2013*. <https://www.ceer.eu/documents/104400/-/-/8b86f561-fa0b-0908-4a57-436bffceeb30>

CEER. (2017). *Status review of renewable support schemes in Europe*. <https://www.ceer.eu/documents/104400/-/-/41df1bfe-d740-1835-9630-4e4cccaf8173>

CEER. (2018). *Status review of renewable support schemes in Europe for 2016 and 2017*. <https://www.ceer.eu/documents/104400/-/-/80ff3127-8328-52c3-4d01-0acb2d3bed>

Collard, F. (2012). *Certificats verts: à poursuivre ou à réformer ?* Les analyses du CRISP en ligne.

Collard, F. (2013). *À qui profitent les certificats verts ?* Les analyses du CRISP en ligne.

Collard, F. (2014). *Quel avenir pour le photovoltaïque ?* Les analyses du CRISP en ligne.

Commission européenne (2013). *European Commission guidance for the design of renewable support schemes*. Commission staff working document.

Corsten, M., Ramirez, A., Shen, L., Koornneef, J., & Faaij, A. (2013). *Environmental impact assessment of CCS chains – Lessons learned and limitations from LCA literature*. International Journal of Greenhouse Gas Control.

Cruciani, M. (2014). *Le coût des énergies renouvelables*. IFRI, centre énergie.

CWaPE. (2003-2018). *Rapport annuel spécifique, l'évolution du marché des certificats verts*. <https://www.cwape.be/?lg=1&dir=3.4.06>

CWaPE. (2013). *Rapport annuel spécifique, l'évolution du marché des certificats verts*. <https://www.cwape.be/?lg=1&dir=3.4.06>

CWaPE. (2014). *Rapport annuel spécifique 2014, l'évolution du marché des certificats verts*. <https://www.cwape.be/?lg=1&dir=3.4.06>

CWaPE. (2018). *Rapport annuel spécifique 2018, l'évolution du marché des certificats verts*. <https://www.cwape.be/?lg=1&dir=3.4.06>

De Jonghe, C., Delarue, E., Belmans, R., D'haeseleer, W., (2009). *Interactions between measures for the support of electricity from renewable energy sources and CO2 mitigation*. Time Working Paper – Energy and Environment.

ENTSO-E. (1991-2015). *Monthly domestic values, 1991-2015*. <https://cutt.ly/Kd0KpaQ>

ENTSO-E. (2010-2012). *Memo*. <https://www.entsoe.eu/publications/statistics-and-data>

ENTSO-E. (2013). *Statistical factsheet*. <https://cutt.ly/cd0KnKT>

ENTSO-E. (2016-2017). *Statistical factsheet*. <https://www.entsoe.eu/publications/statistics-and-data>

European Commission. (2013). *European Commission guidance for the design of renewable support schemes*. Commission staff working document.

Falconett, I., & Nagasaka, K. (2009). *Comparative analysis of support mechanisms for renewable energy technologies using probability distributions*. Renewable energy 35 (2010) 1135-1144.

Fraunhofer ISE. (15 December, 2018). *Energy charts, Jährliche Stromerzeugung in Deutschland*. Retrieved 1st August, 2020, from <https://www.energy-charts.de>

Frondel, M., Schimdt, C.M., & Ritter, N. (2008). *Germany's Solar Celle Promotion: Dark clouds on the horizon*. SSRN Electronic Journal 36 (11): 4198-4204. DOI: 10.1016/j.enpol.2008.07.026

Haas, R., Resch, G., Panzer, C., Busch, S., Ragwitz, M., & Held, A. (2011). *Efficiency and effectiveness of promotion systems for electricity generation from renewable energy sources – Lessons from EU countries*. Energy 36 (2011) 2186-2193.

Hajos, A., Fulcher, P., Johnson, I., Strbac, G., & Pudjianto, D. (2015). *Supporting investments into renewable electricity in context of deep market integration of RES-e after 2020: Study on EU-, regional- and national-level options*. CEPA, Imperial College London.

Held, A., Ragwitz, M., Boie, I., Wigand, F., Janeiro, L., Klessmann, C., Nabe, C., Hussy, C., Neuhoff, K., Grau, T., & Schwenen, S. (2014). *Assessing the performance of renewable energy support policies with quantitative indicators, update 2014*.

Hondo, H. (2005). *Life cycle GHG emission analysis of power generation systems: Japanese case*. Socio-economic Research Center, Central Research Institute of Electric Power Industry.

Huijben, J.C.C.M., Podoynitsyna, K.S., Van Rijn, M.L.B., & Verbong, G.P.J. (2016). *A review of governmental support instruments channeling PV market growth in the Flanders region of Belgium (2006-2013)*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 62 (2016) 1282-1290.

Institut de conseil et d'études en développement durable ASBL, ICEDD. (2004-2016). *Bilan énergétique de la Région Wallonne*. <https://energie.wallonie.be/fr/bilans-energetiques-wallons.html?IDC=6288>

IPCC. (2007). *Summary for Policymakers*. In: *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IPCC. (2014). *Annex III: Technology-specific cost and performance parameters*. In: *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IPCC. (2014). *Energy Systems*. In: *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner,

K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IRENA. (2019). *Renewable Power Generation Costs in 2018*. International Energy Agency, Abu Dhabi.

IWEPS. (2018). *Production nette d'électricité par vecteur énergétique*. <https://cutt.ly/Qd0Z0H5>

De Jonghe, C., Delarue, E., Belmans, R., & D'haeseleer, W. (2009). *Interactions between measures for the support of electricity from renewable energy sources and CO2 mitigation*. Energy policy 37 (2009) 4743-4752.

Région Wallonne (2003). *Réinventons l'énergie, installer une cogénération dans votre établissement*. <https://energie.wallonie.be/servlet/Repository/cogen.pdf?ID=1063>

Nicolini, M., & Tavoni, M. (2017). *Are renewable energy subsidies effective? Evidence from Europe*. Doi: 10.1016/j.rser.2016.12.032

OCDE. (2018). *Effective carbon rates 2018 : Pricing carbon emissions through taxes and emissions trading*. Éditions OCDE, Paris. <https://doi.org/10.1787/9789264305304-en>

SPW Énergie. (2019). *Contribution de la Wallonie au plan national énergie climat 2030 (PNEC2030)*.

SPW Énergie. (2019). *Rapport annuel sur l'évolution du marché des certificats verts et des garanties d'origine*. <https://cutt.ly/cd0LkYc>

U.S. Energy Information Administration. *How much carbon dioxide is produced when different fuels are burned ?* Retrieved 1st August, 2020 from <https://cutt.ly/bd9dITw>

World Bank Group. (2019). *State and trends of carbon pricing 2019*. World Bank, Washington, DC. Doi: 10.1596/978-1-4648-1435-8.

Zgajewski, T. (2014). *Renewables : The great uncertainty of the EU energy strategy*. Academia Press for Egmont.

7 Annexes

Annexe 1

Nombre de certificats verts octroyés et quantité d'électricité produite par filière sur la période 2003-2019

	CV produits	Production (MWh)
2003	0	0
2004	1	1
2005	2	2
2006	9	9
2007	25	25
2008	10 318	1 519
2009	152 004	22 233
2010	370 914	54 594
2011	938 066	140 663
2012	2 749 567	416 174
2013	4 006 364	578 019
2014	4 755 128	724 730
2015	4 915 077	796 753
2016	4 438 900	777 035
2017	4 258 353	835 303
2018	4 614 910	1 020 360
2019	4 503 638	1 075 711

Tableau 13 – CV octroyés et production électrique - filière du solaire photovoltaïque

	CV produits	Production (MWh)
2003	310 988	310 988
2004	305 024	305 024
2005	277 690	277 690
2006	350 276	350 276
2007	377 909	377 909
2008	190 851	365 843
2009	167 623	317 582
2010	163 237	295 535
2011	101 201	187 780
2012	175 564	363 474
2013	116 976	372 695
2014	104 413	286 694
2015	123 826	327 402
2016	164 428	366 605
2017	110 922	265 004
2018	84 590	82 844
2019	104 655	142 147

Tableau 14 - CV octroyés et production électrique - filière de l'hydraulique

	CV produits	Production (MWh)
2003	25 244	25 244
2004	46 132	46 132
2005	70 927	70 972
2006	126 149	126 149
2007	204 840	204 840
2008	296 432	296 902
2009	496 410	496 561
2010	697 775	697 777
2011	1 029 347	1 029 512
2012	1 194 692	1 194 850
2013	1 233 240	1 233 434
2014	1 325 285	1 325 597
2015	1 511 039	1 511 574
2016	1 404 423	1 404 772
2017	1 568 550	1 570 479
2018	1 713 521	1 714 241
2019	2 053 526	2 084 367

Tableau 15 - CV octroyés et production électrique - filière de l'éolien

	CV produits	Production (MWh)
2003	65 167	65 373
2004	81 501	81 893
2005	172 681	263 903
2006	315 894	501 821
2007	379 548	576 441
2008	477 891	702 682
2009	385 731	559 207
2010	495 492	620 999
2011	410 356	658 283
2012	385 038	478 527
2013	324 342	412 756
2014	120 125	157 548
2015	305 881	306 868
2016	755 015	769 446
2017	903 620	879 066
2018	726 107	766 371
2019	766 637	784 921

Tableau 16 - CV octroyés et production électrique - filière de la biomasse

	CV produits	Prod. SER (MWh)	Prod .verte (MWh)
2003	162 520	165 590	183 203
2004	200 356	200 541	221 582
2005	217 504	215 337	233 845
2006	277 075	257 079	275 964
2007	497 315	414 110	434 025
2008	658 669	611 668	632 348
2009	851 714	758 130	814 675
2010	1 051 197	854 591	943 826
2011	1 166 602	882 492	965 520
2012	1 101 340	767 421	859 307
2013	1 149 771	739 929	862 614
2014	1 280 245	814 100	904 948
2015	1 431 172	904 948	951 403
2016	1 616 785	940 355	1 050 346
2017	1 663 337	972 199	1 080 211
2018	1 690 124	976 659	1 100 869
2019	1 723 568	898 125	1 109 993

Tableau 17 - CV octroyés et production électrique - filière de la cogénération biomasse

	CV produits	Prod. SER (MWh)	Prod. Verte (MWh)
2003	65 963	0	847 912
2004	76 271	578	834 275
2005	95 365	562	885 077
2006	103 766	1 076	884 854
2007	101 721	1 564	878 115
2008	112 256	1 585	896 877
2009	114 781	2 920	916 388
2010	101 623	1 049	878 133
2011	124 911	822	1 004 634
2012	162 664	2 874	1 135 467
2013	140 629	4 257	1 167 179
2014	136 965	3 337	1 073 748
2015	146 433	4 356	1 129 027
2016	130 924	5 514	1 112 805
2017	150 720	5 465	1 205 940
2018	110 786	3 523	424 252
2019	94 016	3 381	382 878

Tableau 18 - CV octroyés et production électrique - filière de la cogénération fossile

Annexe 2

Fournitures d'électricité en Wallonie

	Fournitures d'électricité (MWh)
2003	23 368 935
2004	23 628 470
2005	23 341 061
2006	24 606 202
2007	24 070 385
2008	24 062 992
2009	22 347 398
2010	23 492 682
2011	22 915 218
2012	22 608 953
2013	22 162 214
2014	21 340 684
2015	21 200 092
2016	20 877 384
2017	20 834 586
2018	20 689 000
2019	20 537 885

Tableau 19 - Fournitures d'électricité en Wallonie

Annexe 3

Données sur le marché des certificats verts

	CV octroyés	CV à remettre	CV remis à la CWaPE	CV manquants	CV remis à ELIA	CV remis à BRUGEL	Prix moyen	Stock de CV
2003	629 882	698 465	486 499	211 965	0	0	84,38 €	143 383
2004	709 285	827 559	733 370	94 189	0	0	91,74 €	119 298
2005	834 169	1 005 634	871 447	134 187	0	60 818	92,10 €	21 202
2006	1 173 169	1 241 755	983 852	257 903	0	74 277	91,58 €	136 242
2007	1 561 358	1 406 716	1 406 350	366	0	113 135	89,95 €	178 115
2008	1 746 417	1 520 613	1 517 421	3 192	0	117 810	88,39 €	289 301
2009	2 168 263	1 638 644	1 638 644	0	236	113 907	87,88 €	704 777
2010	2 880 238	2 093 709	2 093 709	0	1 476	107 344	84,90 €	1 382 486
2011	3 770 483	2 402 960	2 402 958	2	3 727	105 020	82,07 €	2 641 264
2012	5 768 865	2 780 910	2 780 910	0	1 425 000	78 655	74,10 €	4 125 564
2013	6 971 322	3 387 502	3 387 502	0	4 175 000	23 256	77,66 €	3 511 128
2014	7 722 161	3 754 676	3 754 676	0	4 040 000	0	74,08 €	3 438 613
2015	8 433 428	4 506 136	4 506 136	0	4 256 000	0	70,76 €	3 109 905
2016	8 510 475	5 269 401	5 269 401	0	3 666 100	0	68,14 €	2 684 879
2017	8 655 502	5 406 728	5 406 717	9	3 200 000	0	66,76 €	2 733 664
2018	8 940 038	5 685 865	5 416 620	0	3 200 000	0	66,51 €	3 057 082
2019	9 246 040	5 915 332	5 813 266	102 065	2 685 000	0	66,49 €	3 804 856

Tableau 20 - Tableau récapitulatif du marché des CV

Annexe 4

Primes Quali watt

	Montant des primes	Production (en MWh)
2014	225 568	1 007
2015	7 274 093	13 881
2016	14 453 259	37 080
2017	21 525 573	76 880
2018	29 178 193	147 761
2019	24 573 411	159 095

Tableau 21 - Primes Quali watt

Annexe 5

Taux d'émission de CO₂ moyen des filières polluantes sur la période 2010-2017 – Pays de l'Union européenne

	Taux d'émission de CO2 moyen sans SER
Autriche	593,07
République Tchèque	473,11
France	72,58
Allemagne	562,95
Hongrie	289,12
Italie	779,34
Portugal	656,31
Roumanie	489,51
Espagne	427,15
Royaume-Uni	486,20
Norvège	490,00

Tableau 22 - Taux d'émission de CO2 moyen sans SER des pays européens

Annexe 6

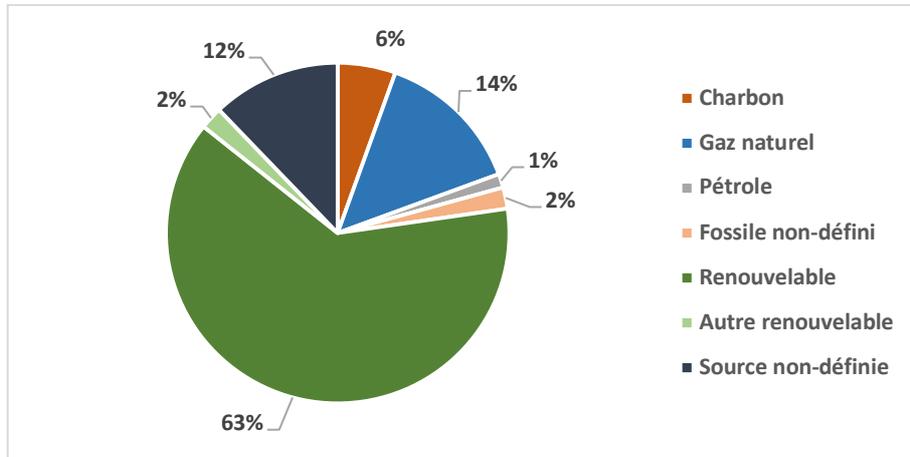
Taux d'émission de CO₂ par source d'énergie/technologie

	Taux d'émission de CO2 par source/technologie
Nucléaire	12
Lignite	779
Hard Coal	820
Gaz naturel	490
Pétrole	742
Hydraulique	24
Biomasse	230
Éolien	11
Solaire	45
COGEN Biomasse	740
COGEN Fossile	251

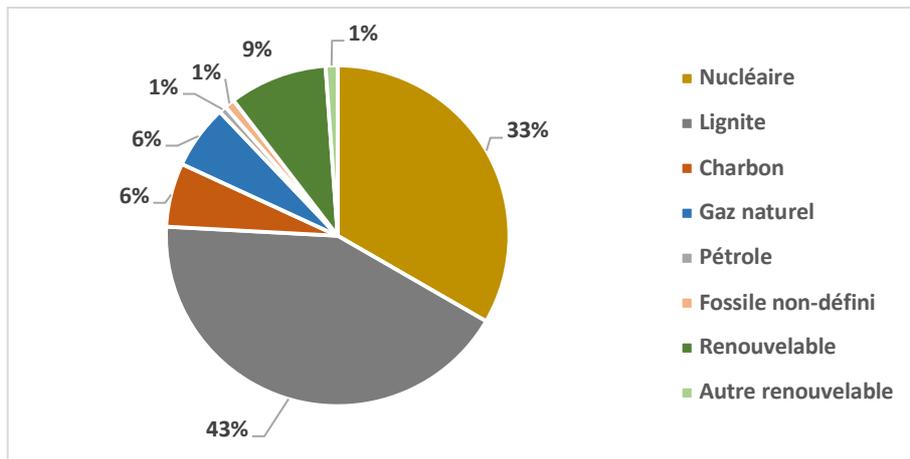
Tableau 23 - Taux d'émission de CO2 par source/technologie

Annexe 7

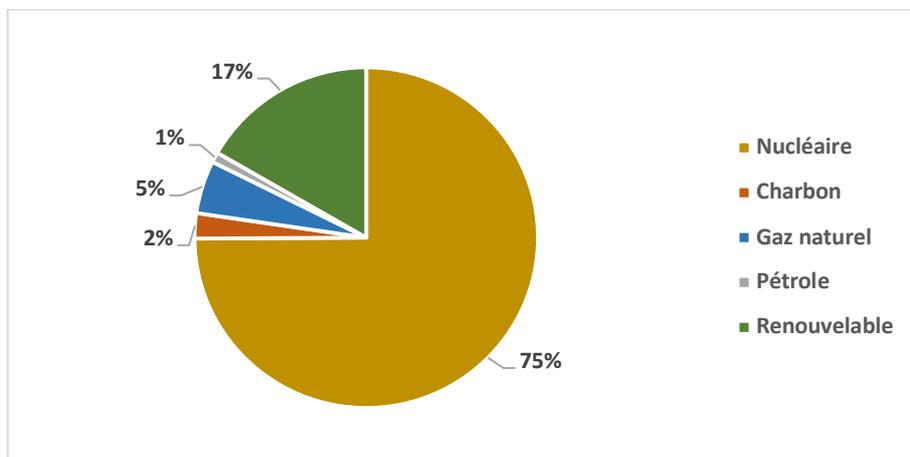
Mix énergétique – Pays de l'Union européenne



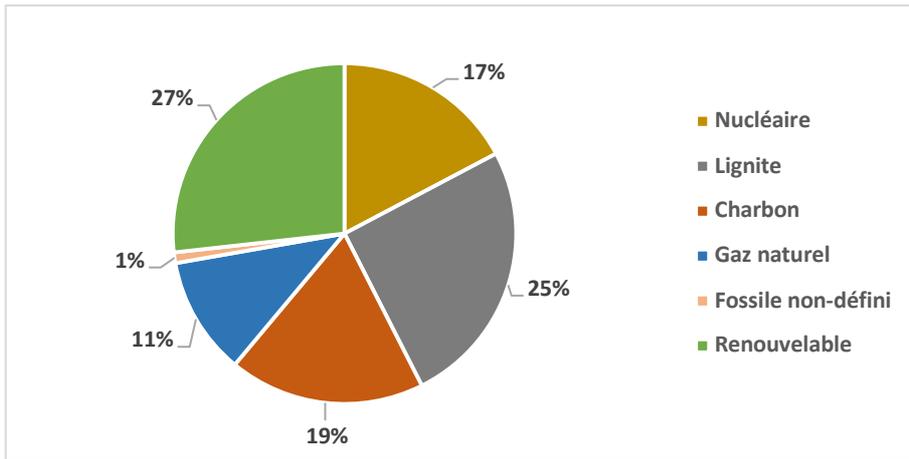
Graphique 21 - Mix énergétique Autriche



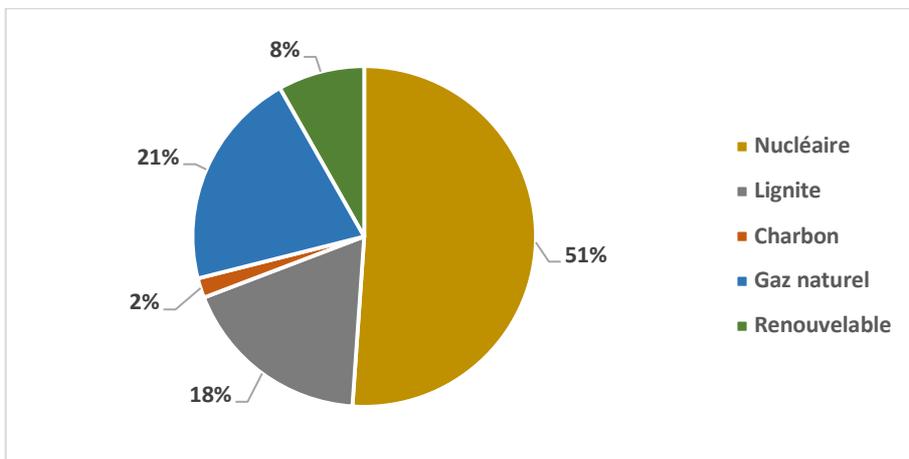
Graphique 22 - Mix énergétique République Tchèque



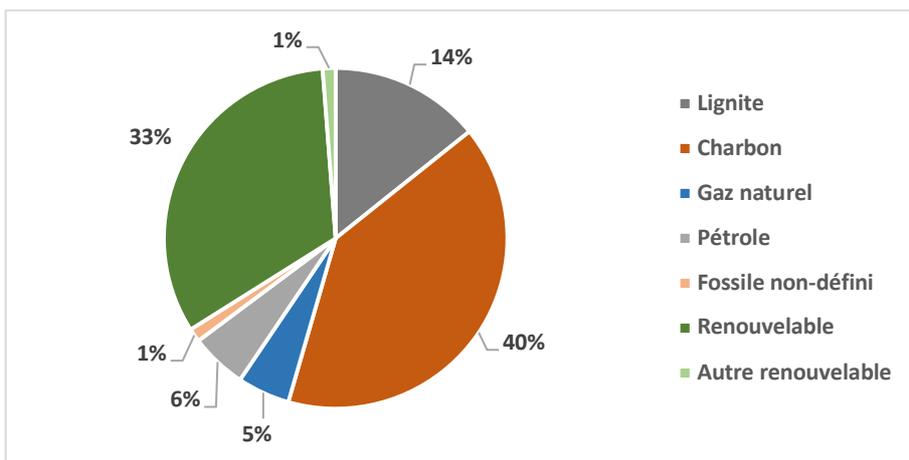
Graphique 23 - Mix énergétique France



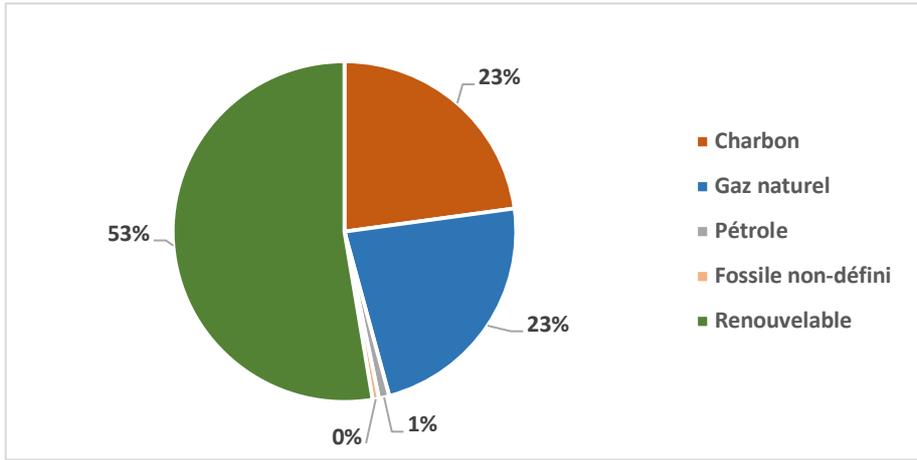
Graphique 24 - Mix énergétique Allemagne



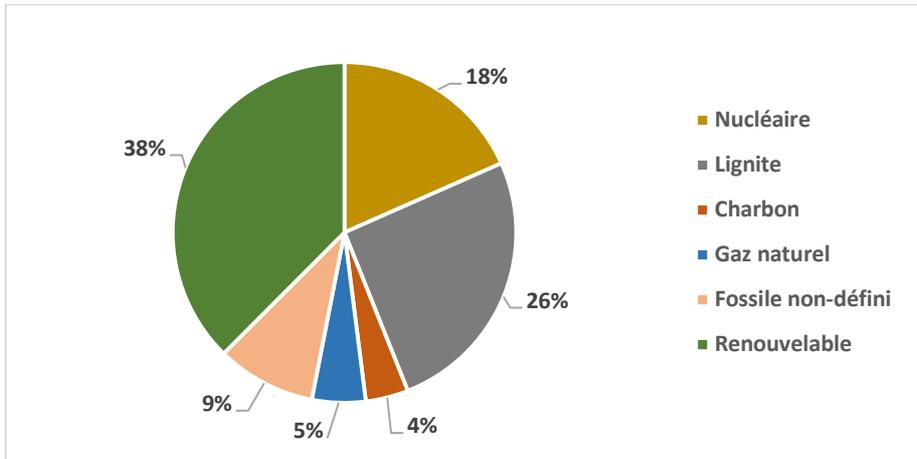
Graphique 25 - Mix énergétique Hongrie



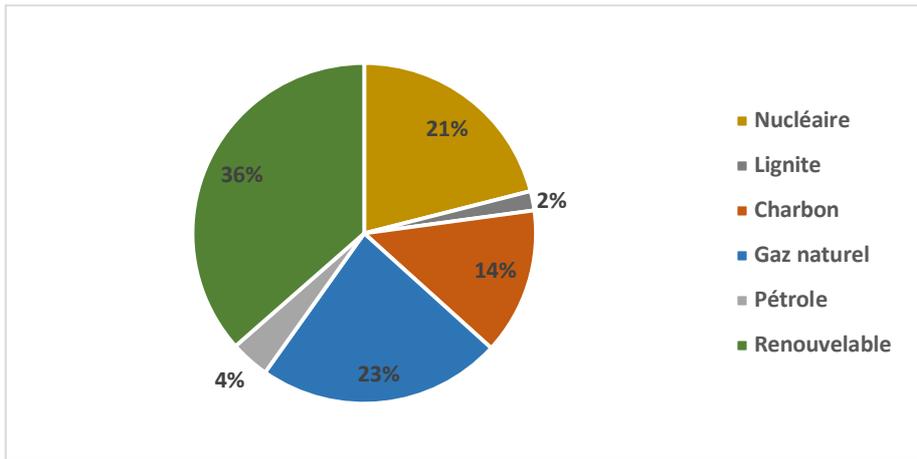
Graphique 26 - Mix énergétique Italie



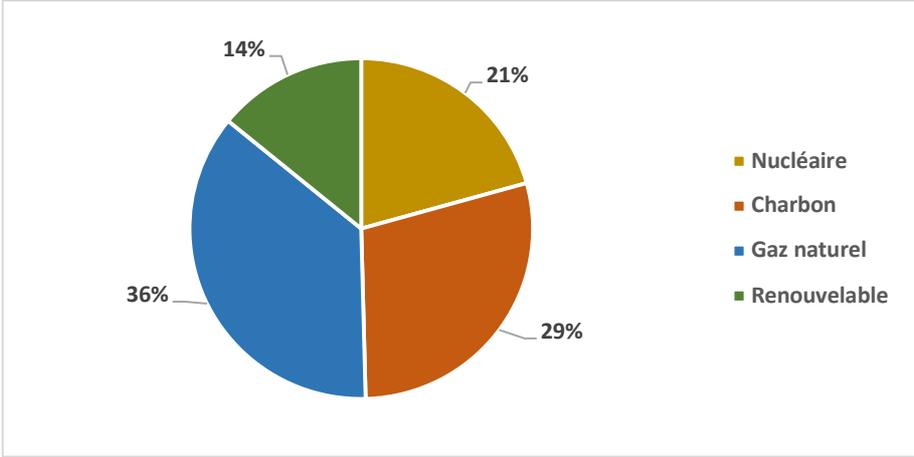
Graphique 27 - Mix énergétique Pologne



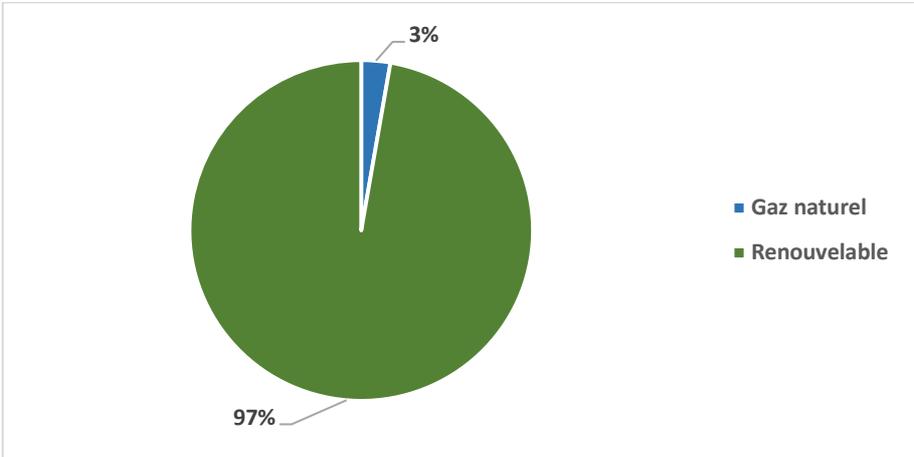
Graphique 28 - Mix énergétique Roumanie



Graphique 29 - Mix énergétique Espagne



Graphique 30 - Mix énergétique Royaume-Uni



Graphique 31 - Mix énergétique Norvège

Annexe 8

Coût de la tonne de CO₂ évité en remplaçant le mix énergétique wallon par le mix des autres pays

	Wallonie "new mix"					Par pays				
	Solaire	Hydraulique	Éolien	Biomasse	Total	Solaire	Hydraulique	Éolien	Biomasse	Total
Autriche	772 €	55 €	127 €	110 €	251 €	358 €	18 €	74 €	172 €	103 €
République Tchèque	968 €	69 €	159 €	138 €	314 €	948 €	132 €	152 €	195 €	391 €
France	6 309 €	447 €	1 039 €	898 €	2 050 €	5 544 €	348 €	587 €	1 046 €	1 255 €
Allemagne	813 €	58 €	134 €	116 €	264 €	553 €	92 €	108 €	256 €	243 €
Hongrie	/	112 €	261 €	225 €	515 €	/	133 €	271 €	267 €	247 €
Italie	588 €	42 €	97 €	84 €	191 €	420 €	118 €	109 €	183 €	215 €
Portugal	698 €	49 €	115 €	99 €	227 €	420 €	76 €	76 €	91 €	86 €
Roumanie	935 €	66 €	154 €	133 €	304 €	110 €	105 €	107 €	106 €	107 €
Espagne	1 072 €	76 €	177 €	153 €	348 €	675 €	83 €	91 €	162 €	192 €
Royaume-Uni	942 €	67 €	155 €	134 €	306 €	394 €	130 €	129 €	123 €	140 €
Norvège			154 €		304 €			33 €		33 €

Tableau 24 - Coût de la tonne de CO₂ évité avec le mix énergétique wallon

