

Haute Ecole  
Groupe ICHEC – ECAM – ISFSC



Enseignement supérieur de type long de niveau universitaire

**Élargissement de la gamme de produits d'Energreen et mise en place  
d'un calculateur de rentabilité**

**Étude de cas**

Mémoire présenté par :

**Sarah SARIGUL**

Pour l'obtention du diplôme de :

**Master - Ingénieur commercial**

Année académique 2019-2020

Promoteur :

**Jacqueline BOUCHER**

Boulevard Brand Whitlock 6 - 1150 Bruxelles



Haute Ecole  
Groupe ICHEC – ECAM – ISFSC



Enseignement supérieur de type long de niveau universitaire

**Élargissement de la gamme de produits d'Energreen et mise en place  
d'un calculateur de rentabilité**

**Étude de cas**

Mémoire présenté par :

**Sarah SARIGUL**

Pour l'obtention du diplôme de :

**Master - Ingénieur commercial**

Année académique 2019-2020

Promoteur :

**Jacqueline BOUCHER**

Boulevard Brand Whitlock 6 - 1150 Bruxelles



Je tiens à remercier toutes les personnes ayant contribué au succès de mon stage et aidé lors de la rédaction de mon mémoire.

Tout d'abord, je tiens à remercier ma promotrice de mémoire, madame Jacqueline Boucher, pour son suivi et ses remarques pertinentes. Elle m'a guidée tout le long de ce stage et de ce mémoire.

Ensuite, j'adresse mes remerciements à mon maître de stage, monsieur Michaël Puglia, qui m'a donnée la chance de travailler sur ce projet. Je le remercie également pour sa disponibilité tout au long du stage et ses conseils.

J'aimerais également remercier les équipes commerciales et techniques pour avoir répondu à mes différents questionnements. Enfin, je remercie l'entreprise Energreen de m'avoir accueillie avec grande gentillesse.

Je remercie également les différentes personnes qui m'ont conseillée et relue ce présent mémoire.

Merci à toutes et à tous !

## **Engagement Anti-Plagiat du Mémoire**

**« Je soussigné, SARIGUL, Sarah, Master 2 ingénieur commercial, déclare par la présente que le Mémoire ci-joint est exempt de tout plagiat et respecte en tous points le règlement des études en matière d’emprunts, de citations et d’exploitation de sources diverses signé lors de mon inscription à l’ICHEC, ainsi que les instructions et consignes concernant le référencement dans le texte respectant la norme APA, la bibliographie respectant la norme APA, etc. mises à ma disposition sur Moodle.**

**Sur l’honneur, je certifie avoir pris connaissance des documents précités et je confirme que le Mémoire présenté est original et exempt de tout emprunt à un tiers non-cité correctement. »**

**Dans le cadre de ce dépôt en ligne, la signature consiste en l’introduction du mémoire via la plateforme ICHEC-Student.**



## Table des matières

<b>Liste des tableaux</b>	<b>x</b>
<b>Liste des figures</b>	<b>xii</b>
<b>Liste des abréviations</b>	<b>xiii</b>
<b>Introduction</b>	<b>1</b>
<b>Chapitre 1</b>	<b>3</b>
<b>Contextualisation du projet</b>	<b>3</b>
<b>1. Contexte européen</b>	<b>3</b>
<b>2. Le cas de la Belgique</b>	<b>7</b>
a. Transition énergétique en Belgique	7
b. Mix énergétique belge	8
c. Acteurs dans le marché de l'électricité belge	9
d. Ménages belges	11
e. Aspects législatifs	15
a. Evolution du prix des panneaux	21
<b>2. Présentation de l'entreprise</b>	<b>22</b>
a. Historique	22
b. Vision et valeurs	23
c. Activités et produits	24
d. Concurrence	24
e. Moyens mis à disposition de l'entreprise	26
f. Indices de performance clés	26
g. Environnement direct de la gestion de projet	28
<b>3. Présentation du projet, de son cadre et de ses limites</b>	<b>28</b>
a. But du projet	28
b. Délimitation du projet	29
c. Contraintes et opportunités	29
d. Acteurs du projet	30
<b>Chapitre 2</b>	<b>31</b>
<b>Approches technologiques</b>	<b>31</b>
<b>1. Approches technologiques d'une installation photovoltaïque</b>	<b>31</b>
a. Panneaux solaires	32
ii. L'onduleur	34
iii. Types de courants	36
iv. Compteur électrique	36
<b>2. Aspects technologiques des solutions de stockage</b>	<b>37</b>
i. Différentes solutions de stockage	38
<b>3. Taux d'autoconsommation</b>	<b>43</b>
i. Premier cas : particulier possédant des panneaux photovoltaïques	44



ii. Second cas : particulier possédant des panneaux photovoltaïques et une batterie domestique	45
<b>Chapitre 3</b>	<b>48</b>
<b>Apports pratiques</b>	<b>48</b>
<b>1. Stratégie de l'entreprise</b>	<b>48</b>
a. Revue littéraire : analyse concurrentielle	48
b. Stratégie de croissance dans le cas d'Energreen	53
<b>2. Choix stratégiques</b>	<b>56</b>
A. Recherche de fournisseurs de batteries de stockage	57
B. Batterie sélectionnée	61
<b>3. Analyse économique</b>	<b>62</b>
a. Prix de la batterie	62
b. Mise en place d'un calculateur de rentabilité	64
<b>Chapitre 4</b>	<b>75</b>
<b>Bilan et perspectives du projet</b>	<b>75</b>
<b>1. Analyse et mise en perspective</b>	<b>75</b>
<b>2. Discussion finale</b>	<b>76</b>
<b>Conclusion</b>	<b>79</b>
<b>Bibliographie</b>	<b>81</b>
<b>Liste des annexes</b>	Erreur ! Signet non défini.
<b>Annexes</b>	Erreur ! Signet non défini.

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1</b> : Objectifs européens en termes d'environnement pour 2020 et 2030 .....	6
<b>Tableau 2</b> : Objectifs belges en termes d'environnement pour 2020 et 2030 .....	7
<b>Tableau 3</b> : Objectifs fédéral et régionaux pour le renouvelable .....	9
<b>Tableau 4</b> : Consommation moyenne annuelle d'électricité par poste pour le ménage-type.....	12
<b>Tableau 5</b> : Coefficient multiplicateurs au fil des années pour un client résidentiel possédant des panneaux photovoltaïques.....	18
<b>Tableau 6</b> : Performances d'Energreen et de ses concurrents en 2018 (Company Web, 2019) .....	25
<b>Tableau 7</b> : Performance de l'entreprise via quelques chiffres (BNB, 2019) .....	27
<b>Tableau 8</b> : Exemple de la batterie LG CHEM RESU 13 et de ses caractéristiques .....	57
<b>Tableau 9</b> : Ligne du second fichier Excel reprenant les batteries avec leurs coûts totaux (prix d'achat) .....	59
<b>Tableau 10</b> : Détails du prix de vente de la batterie sélectionnée (2 puissances différentes) .....	63
<b>Tableau 11</b> : Tarifs avec un taux d'autoconsommation de 37,76% .....	71
<b>Tableau 12</b> : Tarifs avec un taux d'autoconsommation de 30% .....	72
<b>Tableau 13</b> : Tarifs avec un taux d'autoconsommation de 70% .....	73



# Liste des figures

<b>Figure 1</b> : <i>Évolution des émissions de CO<sub>2</sub> en Europe</i> .....	4
<b>Figure 2</b> : Relation entre l'énergie nucléaire et les émissions de CO <sub>2</sub> .....	8
<b>Figure 3</b> : Evolution du prix de l'électricité belge pour un ménage de taille moyenne (2008-2019) .....	14
<b>Figure 4</b> : Mécanisme de certificats verts à Bruxelles .....	17
<b>Figure 5</b> : Evolution de la capacité installée en termes de photovoltaïque en Belgique .....	21
<b>Figure 6</b> : Configuration d'une installation photovoltaïque .....	32
<b>Figure 7</b> : Batterie LG CHEM et son onduleur Huawei .....	41
<b>Figure 8</b> : Batterie LG CHEM et son onduleur SMA .....	42
<b>Figure 9</b> : Batterie Sonnenbatterie et de son onduleur intégré .....	43
<b>Figure 10</b> : Courbes de consommation et de production d'un particulier en possession de panneaux photovoltaïques .....	44
<b>Figure 11</b> : Courbes de consommation et de production d'un particulier en possession de panneaux et d'une batterie domestique .....	46
<b>Figure 12</b> : Les 5 forces de Porter .....	49
<b>Figure 13</b> : Matrice d'Ansoff .....	51
<b>Figure 14</b> : Analyse de la dynamique de l'industrie photovoltaïque via l'hexagone .....	55
<b>Figure 16</b> : Prix au kWh stocké concernant les batteries de 7 kWh .....	60

## Liste des abréviations

*CF : Cash-flow*

*CREG : Commission de Régulation de l'Electricité et du Gaz*

*CWaPE Commission Wallonne pour l'Energie*

*GRD : Gestionnaire du réseau de distribution*

*GRT : Gestionnaire de réseau de transport*

*$I_0$  : Investissement initial*

*IP : Indice de profitabilité*

*kWc : kilowatt-crête*

*kWe : kilowatt électrique*

*kWh : kilowattheure*

*PB : Payback*

*TRI : Taux de rentabilité interne*

*VAN Valeur actuelle nette*

*VREG : Vlaamse Regulator van de Elektriciteits- en Gasmarkt*



# Introduction

Dans le cadre du Master en Ingénieur commercial à l'ICHEC Brussels Management School, il nous a été demandé de gérer un projet dans la société de notre choix. Ayant suivi l'option *Innovation et Management des technologies*, je souhaitais que le stage s'inscrive dans la prolongation de mon parcours. Cela se focalisait donc principalement sur les entreprises actives dans les secteurs de l'environnement et de l'énergie. C'est pour cela que j'ai saisi l'opportunité qui se présentait chez Energreen, acteur dans les énergies renouvelables.

La Commission européenne a fixé des objectifs pour les différents États membres de l'Union européenne afin d'atteindre une neutralité carbone en 2050. Dans cette lignée, la Belgique doit également atteindre ses propres objectifs en 2020, 2030 et 2050. C'est pourquoi, beaucoup d'acteurs voient le jour en proposant des solutions basées sur les énergies renouvelables pour ainsi moins recourir aux énergies fossiles et/ ou à l'énergie nucléaire.

L'un des acteurs est Energreen, installateur de panneaux photovoltaïques depuis 2008. L'entreprise souhaite proposer aux consommateurs résidentiels une solution qui leur permet de consommer leur propre énergie sans devoir dépendre du réseau de distribution. Dans un marché où la production d'électricité issue de sources renouvelables est en augmentation, les différentes législations en vigueur doivent être prises en compte. Les différents mécanismes présents avant les années 2010 dans les trois régions belges ont abouti à un investissement rentable pour l'énergie solaire.

Dans la quête de consommer davantage sa propre énergie, une des solutions pour l'entreprise était d'élargir sa gamme de produits afin de proposer un plus large portefeuille aux clients résidentiels. La première partie du stage était donc de se focaliser sur un fournisseur fiable de batteries de stockage d'électricité. Après être entrée en contact avec plusieurs fournisseurs, la deuxième partie du projet était de mettre en place un calculateur de rentabilité afin d'avoir une vision plus claire du retour sur investissement de la solution.

En conséquence, ce mémoire traite du projet mené durant une partie du stage. Il sera divisé en quatre chapitres distincts, à savoir : la *contextualisation du projet*, les *approches technologiques*, les *apports pratiques* et le *bilan et les perspectives du projet*.

La première partie décrira le contexte dans lequel s'inscrit cette gestion de projet. En effet, le fonctionnement des marchés européen (objectifs européens) et belge (marché et acteurs de l'électricité entre autres) a été compris grâce à la documentation et les

réunions tout au long de la gestion de projet. Ensuite, les différentes recherches menées ainsi que l'aide des nombreux documents internes et externes de l'entreprise m'ont permis d'avoir une meilleure vue d'ensemble sur le fonctionnement de l'entreprise qui constitue la troisième section. La dernière section de cette première partie comprend la présentation et la description de la gestion de projet, en ce compris les contraintes, les opportunités, les acteurs ayant pris part au projet...

Concernant la deuxième partie, celle-ci inclut premièrement l'approche technologique. Ces aspects concernant le fonctionnement photovoltaïque et le fonctionnement du stockage d'électricité ont été abordés. La compréhension du fonctionnement du système photovoltaïque ne faisait pas partie du projet en tant que tel. Cependant, il était indispensable d'en parler étant donné que la batterie de stockage est grandement liée à ce dernier. De fait, grâce aux différents aspects technologiques, cela m'a ainsi permis de comprendre le concept du *taux d'autoconsommation*.

La troisième partie du mémoire aborde l'*apport pratique* du projet. Premièrement, la théorie managériale fait référence aux cinq forces de Porter, à l'hexagone sectoriel ainsi qu'à la matrice d'Ansoff. Cette étude bibliographique sera reprise dans le cas d'Energreen, pour juger s'il est réellement judicieux pour cette entreprise d'établir une stratégie de croissance. Ensuite, l'approche méthodologique ainsi que les différents objectifs du projet sont retracés dans la section : *choix stratégiques*. Dans cette dernière, le choix des différentes batteries présentes sur le marché est établi sur base de plusieurs critères. Grâce aux différentes réunions et entretiens passés avec les fournisseurs ainsi que les équipes techniques et commerciales de l'entreprise, une seule batterie a finalement été retenue. Par conséquent, dans la dernière section : *analyse économique*, la rentabilité de la batterie finalement choisie est discutée en fonction des régions belges au vu de leur législation différente. Mais avant cela, la théorie managériale concernant l'aspect financier est abordée afin de mieux comprendre les calculs utilisés du retour sur investissement.

Pour finir, la dernière partie est dédiée au bilan de ce qui a été fait au fil de la gestion de projet. Ce bilan permet d'apporter un regard critique sur le projet en établissant une rétrospective des différentes difficultés rencontrées lors des nombreux objectifs ainsi que de poser un constat sur les autres solutions d'autoconsommation existantes. Après cette discussion, cela a permis d'embrayer sur les perspectives futures du projet. En effet, le fait de se focaliser sur d'autres solutions d'autoconsommation permis la compréhension de l'existence des différentes alternatives. Ce mémoire se terminera par une conclusion générale.



# Chapitre 1

## Contextualisation du projet

Dans ce chapitre, une vue globale de l'énergie, aussi bien au niveau européen que belge est donnée. Cette partie est divisée en quatre sections distinctes.

Premièrement, nous explorerons le contexte européen en nous penchant sur la production d'électricité et sur les objectifs fixés par la Commission européenne en matière d'énergie. Ensuite, le mix énergétique belge sera introduit pour embrayer sur les différents acteurs du marché de l'électricité, la consommation moyenne d'un ménage belge ainsi que les différentes législations existantes concernant le renouvelable et, plus précisément concernant le solaire. La troisième section concerne la présentation de l'entreprise au sein de laquelle j'ai effectué ma gestion de projet, à savoir Energreen. Pour finir, la dernière section aborde la description de la gestion de projet en tant que telle avec le but et les objectifs précis, les contraintes et opportunités du projet ainsi que les différents acteurs.

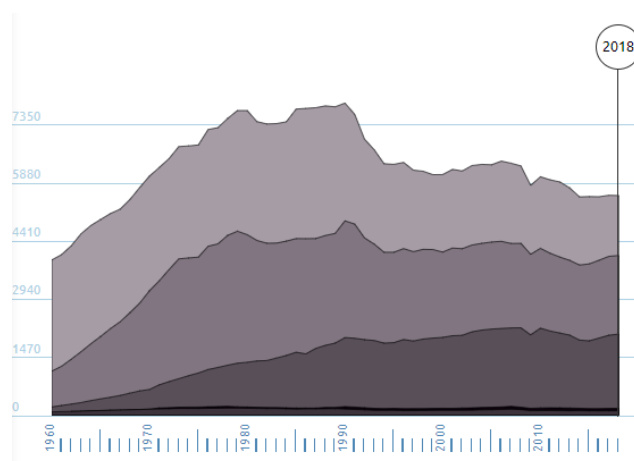
### 1. Contexte européen

L'Union européenne a cru en 2019 de 1,1 million de personnes pour atteindre 512,4 millions d'habitants. La variation démographique européenne positive est due à la migration nette étant donné qu'il y a eu plus de décès que de naissances enregistrés cette année-là (Eurostat, 2019).

Cette hausse de la population se traduit entre autres par une augmentation de la demande en énergie. Les économies actuelles deviennent de plus en plus dépendantes de la fourniture fiable et abordable d'électricité. Notons ici l'importance de distinguer les termes « énergie » et « électricité », notions souvent confondues : par *électricité*, on entend ce qui provient de trois sources d'énergies différentes plus connues sous le nom d'énergie nucléaire, d'énergies fossiles et d'énergies renouvelables.

Pour ce qui est de l'écologie, l'augmentation de la demande d'électricité est l'une des raisons de la hausse des émissions de dioxyde de carbone à travers le monde. Cependant, ce n'est pas le cas pour l'Europe. Nous pouvons constater sur le graphique ci-dessous qu'il y a une hausse des émissions de dioxyde de carbone jusque 1990, due à

l'industrialisation. Ensuite, une diminution de ces gaz à effet de serre est observée de 1990 à 2018 découlant de l'efficacité énergétique représentant les efforts servant à réduire la consommation d'énergie, et de la baisse de l'industrialisation.



**Figure 1** : Évolution des émissions de CO<sub>2</sub> en Europe

*Source : Global Carbon Atlas. (2019). Europe Territorial Emissions.*

En effet, sur le graphe ci-dessus, les trois couches constituant les émissions de dioxyde de carbone sont respectivement (en partant du bas) : le charbon, le pétrole et le gaz exprimés en tonnes équivalent<sup>1</sup> CO<sub>2</sub>.

Même si nous apercevons une diminution des émissions de dioxyde de carbone, l'utilisation des énergies fossiles reste prédominante. En se consumant, ces énergies provenant des centrales à charbon et à gaz entre autres dégagent du dioxyde de carbone favorisant l'effet de serre. Pour le comprendre, il faut savoir que ce qu'on appelle *effet de serre* est avant tout naturel, causant une augmentation de la température moyenne de la Terre. En effet, notre Terre reçoit de l'énergie sous forme de rayonnement électromagnétique et la réémet entre autres sous forme d'infrarouges. Sans atmosphère, la température moyenne à la surface de la Terre serait de -18°C. Cependant, la température moyenne terrestre est de 15°C étant donné que la terre se comporte comme une serre. De ce fait, il fait plus chaud à l'intérieur de celle-ci, car le « verre » est complètement transparent à la lumière visible, mais pas aux infrarouges. Les infrarouges émis par la Terre peuvent donc passer en partie à travers la lumière visible. Cependant, une partie est réfléchi et retourne vers le sol en contribuant au

<sup>1</sup> Mesure servant à comparer les différentes émissions de GES

réchauffement climatique. Les activités humaines causent l'effet de serre additionnel, facteur se rajoutant à l'effet de serre naturel et contribuant également au réchauffement climatique. Le gaz à effet de serre prépondérant dans l'effet de serre additionnel est le CO<sub>2</sub> (Verhasselt, 2019).

Ainsi, au contraire des énergies d'origine renouvelable et à l'énergie nucléaire, ces dernières émettent du dioxyde de carbone et causent, par extension, le réchauffement climatique. Nous pouvons le voir grâce à l'unité de mesure des émissions de CO<sub>2</sub> exprimés en grammes/kilowattheures (g/kWh). Cette mesure reflète la masse d'un carburant nécessaire dans le but de fournir une puissance. Concernant les centrales au gaz, elles rejettent 490 g/kWh de CO<sub>2</sub> et celles au charbon 820 g/kWh tandis que les deux autres sources d'énergie ne dépassent pas les 30 g/kWh (Forum Nucléaire, s.d.).

Le protocole de Kyoto signé en 1997, avait pour but de lutter contre le changement climatique. Pour ce faire, les pays concernés ont dû adopter une part plus importante d'énergies renouvelables dans leur mix énergétique, mais également diminuer les gaz à effet de serre<sup>2</sup> et atteindre une plus grande efficacité énergétique (Connaissance des énergies, 2015). L'Union européenne a notamment décidé d'adopter une directive en 2001 visant à promouvoir les énergies renouvelables dans le mix énergétique. Chaque État membre est dès lors responsable de décider des différents incitants ou mécanismes de soutien à mettre en place pour atteindre les objectifs fixés par l'Union européenne (Bruxelles environnement, s.d.).

À la suite de cela, la dépendance aux énergies fossiles a diminué grâce aux économies d'énergie et à l'adoption des énergies renouvelables. Ceci fait suite au plan de transition énergétique mis en place par la Commission européenne en 2010 : durant cette transition, le but est de passer d'un système basé sur les combustibles fossiles à un système fondé sur le renouvelable.

Néanmoins, même si la part de marché des énergies fossiles représente une plus petite part de marché en Europe qu'auparavant, elles représentent encore la majorité des énergies utilisées dans le continent, car la production d'électricité provenant du charbon et du lignite<sup>3</sup> a majoritairement été remplacée par les centrales à gaz (Agence européenne pour l'environnement, 2017). En termes de chiffres, les centrales à gaz rejettent moins de dioxyde de carbone, mais cela reste non négligeable. C'est en cela que la Commission européenne a fixé des objectifs chiffrés pour les années 2020, 2030

---

<sup>2</sup> Des gaz à effet de serre ont la propriété d'absorber une partie des rayons lumineux en les redistribuant sous forme de radiation sur Terre, causant le phénomène l'effet de serre (actuenvironnement, 2020).

<sup>3</sup>Le lignite est une roche contenant 65 à 75% de carbone.

et 2050 afin d'atteindre une neutralité carbone en 2050, objectif primordial de cette transition (Plan National énergie-climat, 2018).

**Tableau 1** : Objectifs européens en termes d'environnement pour 2020 et 2030

Objectifs UE	2020	2030
Réduction gaz à effet de serre	Réduction de 20% par rapport à 1990	Réduction d'au moins 40% par rapport à 1990
Renouvelable	Porter la part de renouvelable à 20%	Augmenter le renouvelable à au moins 32%

Sur le tableau ci-dessus, la part des énergies renouvelables dans l'Union européenne doit être portée à 20% en 2020 alors que l'objectif pour 2030 sera de les rehausser pour atteindre au moins les 32%. Concernant les objectifs, la part du renouvelable en 2017 dans l'Union européenne était de 18%. De plus, une diminution marquante des gaz à effet de serre avait été constatée suite à la crise de 2008. Cependant, la baisse fut moins marquée les années d'après. Les différents objectifs de l'Union européenne pour 2020 seront fortement susceptibles d'être atteints. Par conséquent, l'usage du renouvelable croît d'année en année même si l'usage des combustibles fossiles (en ce compris le charbon, le pétrole et le gaz représentant 72,6% de la consommation d'énergie en 2015) représente toujours à l'heure actuelle la plus grande partie du marché. Les différents États membres doivent également établir une liste d'objectifs leur étant propre, pour les années citées (Ministère de la transition écologique et solidaire, 2020).

Par ailleurs, il est également important d'aborder l'utilisation de l'énergie nucléaire. Suite à l'incident nucléaire survenu à Fukushima en 2011, le nombre de centrales nucléaires a diminué en Europe. Le nucléaire est toutefois loin d'y avoir disparu : en 2016, ce type d'énergie faisait partie de 26% du mix énergétique de l'Union européenne et restait encore l'une des principales sources d'énergie utilisées malgré les effets néfastes qu'elle peut provoquer sur la santé entre autres (Forum Nucléaire, s.d.). Après avoir analysé la politique énergétique en Europe, qu'en est-il, dès lors, de la situation belge ?

## 2. Le cas de la Belgique

### a. Transition énergétique en Belgique

La politique énergétique belge prévoit certains changements dans les habitudes des ménages en envisageant une sortie du nucléaire au vu de la nocivité de cette énergie. De plus, la Belgique prône également une utilisation des énergies renouvelables afin d'atteindre la neutralité carbone d'ici 2050 prévue par l'Union européenne. Cet objectif est repris dans le Plan National énergie-climat (2018) privilégiant ainsi l'utilisation des énergies vertes, entre autres. Dès lors, les objectifs établis pour 2020 et 2030 en Belgique sont les suivants :

**Tableau 2** : *Objectifs belges en termes d'environnement pour 2020 et 2030 (Depicker, 2019).*

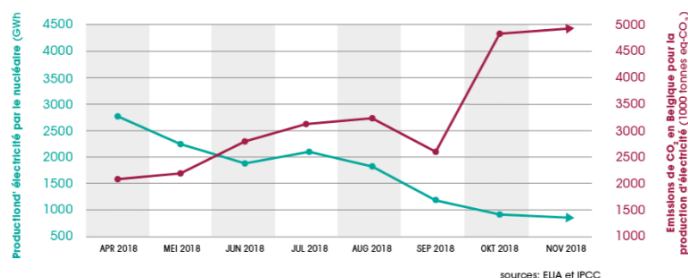
Objectifs Belgique	2020	2030
Objectifs gaz à effet de serre	Réduction de 15% par rapport à 2005	Réduction de 35% par rapport à 2005
Objectifs pour le renouvelable	Porter la part de renouvelable à 13%	Porter la part de renouvelable à 17,4%

En comparant le tableau ci-dessus avec le *tableau 1*, une nette différence en termes de chiffres peut être remarquée concernant le renouvelable. Ainsi, on constate que la part de renouvelables augmente plus lentement en Belgique que dans le reste de l'Union européenne. Par conséquent, cela voudrait dire que les pays de l'Union européenne doivent atteindre des objectifs plus exigeants que ceux fixés en Belgique (Depicker, 2019).

Pour ce qui est de l'atteinte de ces objectifs belges, les émissions sont actuellement réduites de 12% comparés aux 15% initialement prévus en Belgique pour la fin d'année 2020. Ensuite, avec les moyens mis en œuvre, l'objectif des gaz à effet de serre d'ici 2030 aura également du mal à être atteint (Leroy, 2019).

Il faut savoir que la Belgique ainsi que certains États membres prévoient une sortie du nucléaire. Dès lors, une utilisation moindre de l'énergie nucléaire implique une augmentation importante des émissions de gaz à effet de serre en parallèle. Une corrélation est à souligner entre l'énergie nucléaire et les émissions de CO<sub>2</sub>. En effet, moins l'électricité produite provient de l'énergie nucléaire, plus les centrales à gaz, entre

autres, jouent un rôle important causant, des émissions de dioxyde de carbone. Ainsi, comme nous pouvons le voir sur le graphe ci-dessous, une relation inverse existe entre les deux variables. Les objectifs cités dans le *tableau 2* seront donc difficilement atteints si aucune mesure n'est prise pour favoriser la production d'électricité à partir de sources renouvelables (Forum Nucléaire, s.d.).



**Figure 2** : Relation entre l'énergie nucléaire et les émissions de CO<sub>2</sub>

**Source** : Forum Nucléaire. (2018). Une diminution de l'énergie nucléaire entraîne une augmentation des émissions de CO<sub>2</sub> en Belgique.

La consommation finale de l'UE en énergies renouvelables doit atteindre 20% selon les objectifs fixés par la Commission européenne (Parlement européen, 2020). Là-dessus, l'Union européenne s'attend à ce que le Belge ait une part d'énergies renouvelables de 13%. Examinons la situation belge un peu plus en détail et voyons où en sont les régions dans l'atteinte de ses objectifs...

## b. Mix énergétique belge

La majorité de l'électricité produite en Belgique en 2018 provenait des centrales nucléaires. Les énergies grises sont donc majoritaires dans le mix électrique en comptant pour 74,4% (centrales nucléaires, gaz, charbon). Nous constatons que sur les 69,21 TWh produits, les énergies fossiles comptent pour 35,40% et le reste (25,6%) provient des énergies dites vertes englobant les parcs éoliens, les centrales hydroélectriques, la biomasse et le photovoltaïque. Par conséquent, la majorité du mix énergétique provient de l'énergie nucléaire (39%) (FEBEG, 2020).

Pour ce qui est de la consommation de renouvelable des Belges devant atteindre les 13%, le pays présente toujours du retard. En effet, bien que le territoire belge doive

atteindre ce pourcentage de renouvelable dans la consommation finale brute (indicateur défini par la *directive 2009/28/CE*), les trois régions ne sont pas soumises aux mêmes objectifs. Ces dernières doivent toutes atteindre des objectifs différents selon un accord conclu en décembre 2015 suivant le principe du *burden sharing* ou encore appelé « répartition des charges nationales » (Nemeth, 2015). Afin d’atteindre efficacement les objectifs fixés, il faut également souligner que les trois régions belges disposent de leurs propres compétences. C’est pourquoi les trois régions ainsi que l’État fédéral ont des objectifs tout à fait différents :

**Tableau 3** : Objectifs fédéral et régionaux pour le renouvelable

Objectifs 2020	Belgique	Bruxelles	Wallonie	Flandre
Concernant le renouvelable	13%	3,8%	13%	10,5%

Concernant l’atteinte de ces objectifs pour les trois régions belges, les derniers chiffres remontent à 2016. Les trois territoires régionaux présentent tous des augmentations significatives avec un index de croissance de 10 à 15%. En 2016, la Wallonie enregistrait le plus grand taux, à savoir 12,1% tandis que la Flandre présentait 6,4% de renouvelable dans la consommation finale brute belge. À côté de cela, la Région bruxelloise atteignait les 2,7% (APERe, 2020).

Pour ce qui est de l’État fédéral, celui-ci parvenait à 8,6% de renouvelables en 2016. De plus, d’après les derniers chiffres obtenus en 2018, la part des énergies renouvelables dans la consommation finale du Belge représentait 9,4%. Nous pouvons observer qu’un certain effort reste encore à fournir afin d’atteindre le pourcentage fixé en Belgique pour la fin de l’année 2020. Force est de constater, que bien que différents mécanismes de soutien aient été mis en place pour favoriser l’utilisation du renouvelable (cfr. infra p. 15), la Belgique a toujours du retard (RTBF, 2020).

### c. Acteurs dans le marché de l’électricité belge

La libéralisation complète du marché de l’énergie (comprenant le marché de gaz et d’électricité) en 2007 fut l’un des événements marquants sur l’entièreté du territoire belge. L’Union européenne avait pour but d’ouvrir la concurrence sur ce marché en baissant les prix de l’énergie. Le consommateur a désormais le choix entre les différentes offres sur le marché en lui laissant la possibilité de comparer les différents

fournisseurs présents sur le marché, même si subsiste la crainte que les fournisseurs n'augmentent leurs tarifs à cause de la concurrence. Cependant, le fait de choisir librement son fournisseur d'énergie permet aux consommateurs d'être plus confiants (Comparateur Énergie, 2019).

Auparavant, les intercommunales (ou GRD) se chargeaient de la distribution et de la vente d'énergie et les facturaient aux ménages. Depuis lors, l'Union européenne a décidé de redistribuer et de scinder les rôles pour diminuer les prix en favorisant la concurrence entre les différents fournisseurs, et ainsi améliorer la qualité du service (monenergie, 2020).

Il est dès lors important de considérer les différents acteurs présents sur le marché de l'énergie depuis 2007. Cela nous sera utile, entre autres, dans les *aspects législatifs* par la suite. Ces acteurs remplissent un rôle bien spécifique et sont au nombre de six (Comparateur Énergie, 2020) :

- Les **Gestionnaires de Réseau de Transport** (GRT) où on retrouve Elia pour l'électricité et Fluxys pour le gaz. Les rôles des GRT sont d'assurer le transport d'électricité depuis les centrales de production vers les réseaux de distribution ou vers les clients industriels.
- Les **Gestionnaires de Réseau de Distribution** (GRD) s'occupent de l'exploitation, l'entretien et le développement de l'infrastructure amenant l'électricité et le gaz naturel via des réseaux à moyenne et basse tension.
- Les **fournisseurs**, comme leur nom l'indique, fournissent l'énergie aux ménages. Ensuite, ces acteurs facturent la consommation d'électricité et de gaz. Environ vingt fournisseurs différents existent sur le territoire belge. Ce nombre important est dû à la libéralisation du marché permettant aux ménages de comparer les prix et de payer moins cher. Par exemple, nous retrouvons Luminus, Eneco, Lampiris, Engie...
- Les **producteurs** produisent l'énergie consommée par les ménages et entreprises. En Belgique, l'énergie produite majoritairement provient des centrales nucléaires et des turbines gaz-vapeur (pétrole). Le reste provient d'unités de production utilisant les énergies renouvelables. Dans cette catégorie, nous retrouvons Engie Electrabel, le plus gros producteur d'électricité du pays.
- Les **régulateurs** sont des entités créées spécifiquement pour contrôler et réguler le marché de l'énergie. Il existe trois régulateurs régionaux (la CWaPE pour la Wallonie, la VREG pour la Flandre et BRUGEL pour la Région de Bruxelles-capitale) ainsi qu'un régulateur fédéral (la CREG) dotés de compétences bien spécifiques. Ils assurent la transparence et la compétition sur le marché de l'énergie tout en défendant les intérêts des consommateurs... Par ailleurs, les régulateurs régionaux interviennent dans la politique du renouvelable où l'on peut retrouver les différentes législations qui seront abordées plus tard (cfr. Infra p.15).



- Les **médiateurs** traitent les plaintes des consommateurs rencontrant un conflit avec le fournisseur ou GRD.

#### d. Ménages belges

Un autre acteur important est le ménage belge occupant une place prépondérante dans le secteur de l'énergie car ce dernier consomme de l'électricité et du gaz. Chaque foyer consomme son électricité de manière différente au cours de l'année. Il est dès lors important de voir comment les différents profils belges se comportent.

##### i. Analyse de la consommation moyenne électrique d'un ménage

En 2018, la Belgique comptait environ 11,4 millions d'habitants et la consommation d'électricité totale dans le pays était de 81 TWh. Sachant que les ménages représentent 23% de la consommation totale (soit 18.630 GWh), ces derniers consomment en moyenne 3.912 kWh sur une année (ENGIE, 2019).

Cependant, la consommation varie d'un ménage à l'autre étant donné les habitations différentes. En effet, un ménage pourrait disposer d'un système de chauffage plus performant et par conséquent, consommer davantage d'électricité en comparaison avec un autre foyer n'en disposant pas.

Pour avoir une idée de la consommation du ménage, il suffit de multiplier la puissance de l'équipement comme une machine à laver par exemple, exprimée en Watt, par le nombre d'heures d'utilisation quotidienne. Le tout sera multiplié par le nombre de jours d'utilisation du dispositif sur une année pour obtenir la consommation exprimée en Wh (Callmepower, 2020). Sur base de la consommation, différents profils de consommateurs existent (Lepage, 2020) :

1. Un petit consommateur (personne vivant dans un studio ou un étudiant en kot) : 600 kWh/ an ;
2. Petit ménage : 1200 kWh/ an ;
3. Le ménage moyen constitué de trois personnes : 3.500kWh/ an ;
4. Le ménage large : plus de 4.000 kWh/ an et peut atteindre les 20.000 kWh/ an.

Prenons le cas d'un ménage-type dont la consommation moyenne annuelle arrondie est de 4.000 kWh. L'établissement de ce profil type nous aidera plus tard dans *l'analyse économique*. Voici un calcul reprenant les postes énergivores des différents dispositifs sur une année complète. Sur base annuelle, la consommation moyenne des différents systèmes est la suivante (Selectra, 2020) :

**Tableau 4** : *Consommation moyenne annuelle d'électricité par poste pour le ménage-type*

Postes	Consommation moyenne annuelle
Chauffage	2.564 kWh
Eau chaude	693 kWh
Éclairage	243 kWh
Autres appareils électroménagers	500 kWh
<b><u>Total annuel</u></b>	<b><u>4.000 kWh</u></b>

Le chauffage, l'eau chaude, l'éclairage ainsi que les autres appareils électriques (TV...) contribuent à la consommation électrique totale du ménage. De plus, les besoins du ménage varient au fil des saisons. Remarquons que le ménage consommera plus pendant la période automne-hiver (du mois d'octobre jusqu'à janvier). Si l'on calcule la consommation journalière du ménage-type, elle sera en moyenne de 13 kWh en hiver et de 10,6 kWh durant les journées d'été. Par conséquent, comme nous pouvons le voir dans le *tableau 4*, le poste le plus énergivore est le chauffage ce qui explique la hausse de la consommation durant la saison la plus froide, car un ménage se chauffe plus durant cette période-là. Encore une fois, il s'agit d'un profil type, car la consommation dépend de chaque ménage présentant des habitudes de consommation différentes (Lepage, 2020). Qui plus est, la variable consommation aura un impact direct sur la facture d'électricité que nous verrons ci-dessous.

## ii. Facture d'électricité

Bien que les composantes d'une facture d'électricité soient similaires dans les trois régions belges, elles témoignent néanmoins de proportions légèrement différentes (voir *ANNEXE 1*). Nous constaterons par exemple des coûts de réseau plus importants en Wallonie.

Toutefois, les différentes composantes d'une facture d'électricité restent les mêmes. Elles incluent l'énergie, les tarifs de réseau, les redevances (cotisations fédérales et sur l'énergie) ainsi que la TVA (SPF économie, 2019).

Tout d'abord, le montant d'une facture d'électricité peut changer en favorisant un fournisseur plutôt qu'un autre, provoquant un montant différent de la rubrique « énergie » (Energuguide, 2020).

Ensuite, les coûts de réseau prennent en compte les coûts de distribution qui sont les frais de distribution et les coûts que les GRD doivent verser aux communes pour l'accès aux conduites de gaz et aux câbles électriques. De plus, les coûts de transports font également partie des coûts de réseau. Ceux-ci doivent être versés à Elia qui assure le transport de l'électricité depuis les centrales de production au réseau de distribution.

Les redevances sont *des taxes imposées par l'État* comprenant les différentes cotisations (cotisation sur l'énergie, cotisation fédérale...) et les différents tarifs (redevance raccordement...) (CWaPE, 2020). Enfin, une TVA de 21% est applicable pour toutes les composantes de la facture à l'exception de la cotisation fédérale.

Le montant d'une facture d'électricité du ménage varie en fonction de sa consommation d'électricité, de la région dans laquelle il habite, du GRD auquel il est rattaché, du choix du fournisseur d'électricité et en fonction du type de compteur installé (mono-horaire, bi-horaire, exclusif nuit : dont il ne sera pas question dans ce présent mémoire). Par conséquent, le ménage-type établi un peu plus haut paie un montant différent selon ces différents facteurs.

### iii. Prix de l'électricité

Il est important de souligner que le territoire belge propose un tarif très élevé au kilowattheure rendant par conséquent le montant de la facture d'électricité plus élevée que chez nos voisins européens.

Le prix de l'électricité pour les pays ressortissants de l'Union européenne est en moyenne de 0,2159€/kWh. Force est de constater que la Belgique (0,2839€/kWh) est l'un des pays avec le tarif le plus élevé derrière l'Allemagne (0,3088€/ kWh) et le Danemark (0,2984€/kWh) (Eurostat, 2020).

En effet, depuis la libéralisation du marché de l'énergie en 2007, une hausse du prix de l'électricité a été répercutée sur la facture du Belge, selon la CREG (RTBF, 2019). Voici

d'ailleurs une représentation graphique de la hausse du prix pour un ménage de taille moyenne ci-dessous.



**Figure 3** : Evolution du prix de l'électricité belge pour un ménage de taille moyenne (2008-2019)

*Source : Eurostat. (2020). Prix de l'électricité par type d'utilisateur.*

Le prix de l'électricité connaît donc une importante évolution depuis 2008, partant de 0,1769€/kWh jusqu'à atteindre un pic de 0,2327€/kWh en 2012 (Eurostat, 2020). À partir de 2013, une baisse du prix de l'électricité a pu être constatée comme nous pouvons le remarquer sur la *figure* ci-dessus (RTBF, 2014).

Cela est notamment dû au mécanisme de filet de sécurité instauré de 2013 à 2017 ayant eu un impact direct à la baisse du montant de la facture d'électricité pour les ménages belges (Banque Nationale de Belgique, 2016). Ce dernier permet d'assurer un suivi approfondi des prix énergétiques des ménages de telle manière que les prix de l'énergie au sein du pays ne dépassent pas ceux des pays limitrophes.

Deux années plus tard, le montant de la facture d'électricité du particulier a toutefois réaugmenté. Cela est notamment dû à la hausse de la composante énergie, à l'augmentation des contributions aux énergies renouvelables, à la hausse des coûts de réseau, mais également à l'indisponibilité de certaines centrales nucléaires (RTBF, 2019).

Notons que la facture d'électricité d'un ménage producteur de sa propre électricité (en possédant des panneaux photovoltaïques par exemple) est différente de celle d'un client « classique ». C'est pourquoi une analyse des aspects législatifs est importante afin de visualiser tous les mécanismes qui coexistent dans les trois régions belges. C'est ce que nous verrons dans le point suivant.

## e. Aspects législatifs

Les consommateurs résidentiels appliquent les règles en vigueur dans la Région dans laquelle ils se trouvent étant donné que la législation est différente dans les trois régions. En effet, les compétences fédérales et régionales sont quelque peu différentes. Les tarifs de distribution de gaz et d'électricité, l'utilisation rationnelle de l'énergie, les sources nouvelles d'énergie excepté l'énergie nucléaire... sont des compétences exclusivement réservées aux régions (climat.be, 2013). Par conséquent, tous les différents incitants en matière de renouvelable sont propres à chaque Région. Précisons que les aspects qui suivront porteront sur le ménage producteur d'électricité verte et plus précisément, le détenteur de panneaux photovoltaïques.

Premièrement, le particulier ne consomme pas uniquement son électricité renouvelable, mais peut, bien entendu, prélever sur le réseau afin de satisfaire ses besoins en électricité. N'oublions pas que l'énergie solaire est une énergie dite intermittente signifiant qu'une production constante de cette source est impossible à envisager. Par conséquent, étant donné le caractère non simultané de la production et de la consommation du ménage, cela veut dire que lorsque l'électricité n'est pas directement consommée, elle est réinjectée sur le réseau et à l'inverse, lorsque le détenteur de panneaux a besoin d'électricité alors que ses panneaux ne produisent plus (en pleine nuit par exemple), il puise sur le réseau afin de s'alimenter en électricité (Puglia, 2019).

Toute maison est munie d'un compteur électrique « tournant à l'endroit » permettant au ménage de mesurer la quantité d'électricité consommée sur une période donnée (cfr infra p.37). Chaque compteur présente un disque permettant à ce dernier de tourner à l'endroit et dans certains cas, à l'envers. Pour mieux comprendre ce principe, prenons le cas d'un ménage ne possédant pas de panneaux. Celui-ci ne bénéficie donc pas de production d'une quelconque installation. Son compteur tourne à l'endroit et il puise sur le réseau. Il consomme de l'électricité. En conséquence, sa facture d'électricité augmente. Dans le cas d'un producteur possédant des panneaux, cette fois-ci, la variable *production de l'installation* est à prendre en compte. Effectivement, comme nous venons de le voir lorsque la consommation est prédominante, le compteur tourne à l'endroit ce qui signifie que le ménage prélève de l'électricité sur le réseau. À l'inverse, lorsque la production des panneaux est supérieure à la consommation du ménage, le compteur « tourne à l'envers ». Par conséquent, l'électricité est injectée sur le réseau étant donné que le ménage ne consomme pas toute l'électricité produite. Par conséquent, cela aura un impact favorable sur sa facture d'électricité. Un dernier cas

survient lorsque la production équivaut à la consommation du ménage, le compteur est alors à l'arrêt (ef4, s.d.).

Ne sont concernées ici que les installations d'électricité verte telles que les panneaux photovoltaïques inférieures ou égales à 10 kWc<sup>4</sup> (concernant les clients résidentiels), car au-delà de ce seuil, les installations sont de type industriel et ne feront pas l'objet de ce mémoire. Voyons maintenant les différents mécanismes en vigueur dans les trois régions belges.

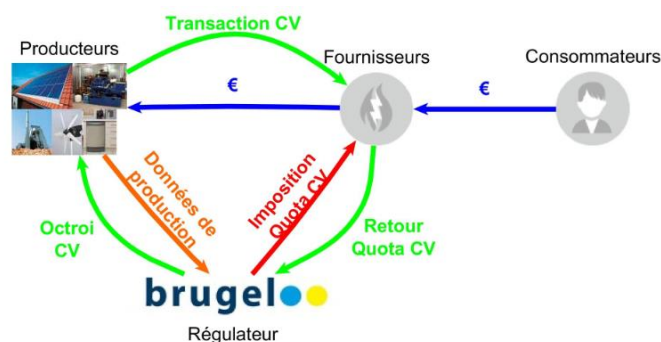
### i. Région de Bruxelles-capitale

La Région bruxelloise dont le régulateur pour le marché du gaz et de l'électricité est BRUGEL est responsable de contrôler et de réguler ces derniers. L'un des mécanismes ayant existé à Bruxelles était le *compteur à l'envers*, expliqué ci-dessus et entré en vigueur en 2007 (ou mécanisme de compensation totale), destiné aux propriétaires possédant une installation inférieure à 5 kWc, qui déduisait l'électricité injectée de celle prélevée sur le réseau, ce qui résultait en une facture quasi nulle d'électricité, comme expliqué ci-dessus.

Depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2020, le système de *compteur à l'envers* a laissé sa place au mécanisme de compensation partielle. Dorénavant, un ménage détenant une installation photovoltaïque inférieure à 5 kWc paie l'électricité prélevée sur le réseau. En appliquant cela, le régulateur vise à mettre tous les consommateurs sur un même pied d'égalité, étant donné que les détenteurs de panneaux photovoltaïques ne payaient nullement ces frais même s'ils utilisaient le réseau de distribution. De plus, ce système les incite à moins prélever sur le réseau et à consommer davantage leur propre production d'énergie. Pour cela, un compteur double flux (encore appelé intelligent) est mis à disposition du ménage bruxellois afin de mesurer séparément le prélèvement et l'injection d'électricité (BRUGEL, s.d.). En plus de cela, un système d'incitation financière existe en Région bruxelloise, plus connu sous le nom de mécanisme de certificats verts.

---

<sup>4</sup> Le kilowatt-crête est l'unité utilisée pour la puissance électrique d'une installation (Energide, 2020).



**Figure 4 : Mécanisme de certificats verts à Bruxelles**

*Source : BRUGEL (s.d.). Mécanisme de certificats verts.*

Le système de certificats verts à Bruxelles est entré en vigueur en 2011. Ce mécanisme de soutien à la production d'électricité verte permet aux propriétaires de panneaux photovoltaïques et de cogénérations<sup>5</sup> de bénéficier de certificats verts. Ce titre permet au ménage de couvrir son investissement initial. Les fournisseurs d'électricité achètent les certificats verts sur le marché et déclarent à BRUGEL, le nombre de certificats verts qu'ils ont acheté étant donné qu'ils ont un certain quota à déclarer chaque année. Le régulateur détient un rôle central dans ce système, car il octroie les certificats verts aux producteurs et s'occupe également des fournisseurs.

Les particuliers possédant des systèmes photovoltaïques reçoivent des certificats pendant une durée de 10 ans. Pour une installation, un coefficient multiplicateur est appliqué et sert à stimuler l'investissement dans le photovoltaïque. Le photovoltaïque étant une installation non-consommatrice d'un quelconque carburant, le taux d'octroi de base est de 1,81 certificat vert par MWh produit. De cela, un coefficient multiplicateur y est également appliqué servant à stimuler l'investissement dans les technologies citées. Si l'on applique ce fameux coefficient multiplicateur au taux d'octroi de base, cela permet de rehausser le nombre de certificats verts/MWh perçu. En 2011, le coefficient était de 3,85 donnant droit à 7 certificats verts/ MWh au producteur d'électricité verte. Ensuite, les particuliers recevaient 3 certificats verts par MWh produit pour les installations inférieures ou égales à 5 kWc mises en service depuis le 1<sup>er</sup> février 2016, car le coefficient multiplicateur est passé à 1,65. À partir du mois de juin 2020, les certificats verts seront réduits à hauteur de 17% pour les clients résidentiels entre autres, c'est-à-dire que les particuliers ne recevront plus que 2,5 certificats verts/

<sup>5</sup> Procédé produisant simultanément de la chaleur et de l'électricité, grâce à un combustible (Sibelga, 2019).

MWh produits étant donné que le coefficient multiplicateur est revu à la baisse à savoir 1,375 au lieu du coefficient initial étant de 1,65 (BRUGEL, s.d.). Voici un tableau récapitulatif des coefficients multiplicateurs et du taux d'octroi d'un client résidentiel.

**Tableau 5 :** *Coefficients multiplicateurs au fil des années pour un client résidentiel possédant des panneaux photovoltaïques*

Photovoltaïque	Durée	Coefficient multiplicateur	Taux d'octroi (en CV/MWh)
	2011-2012	3,85	7
	2012-2013	2,2	4
	2013-31/01/2016	1,65	3
	Depuis le 1 <sup>er</sup> février 2016	1,65	3
	Juin 2020	1,375	2,5

Ces aides régionales (pour le photovoltaïque et les cogénérations) incitent donc les ménages à investir dans le renouvelable et permettent d'économiser des kg de CO<sub>2</sub> grâce à la mise en place d'une production d'électricité verte. Les coefficients multiplicateurs ont donc été revus pour éviter l'explosion des installations et donc, une « bulle de certificats verts » comme a connu la Wallonie... (cfr. infra p. 19) (Dauvister, 2019).

## ii. Région wallonne

Le premier mécanisme qui a existé en Région wallonne fut le *plan Solwatt* lancé en 2007 et ayant pris fin en 2013, incitant le ménage à investir dans le photovoltaïque. Ce



mécanisme avait pour but de compenser la production d'électricité verte par un octroi de certificats verts obtenu via un système de coefficients multiplicateurs (Wallonie énergie SPW, s.d.).

Le régime d'octroi est d'une importance capitale, car il définit non seulement la durée d'octroi des certificats verts, mais également le nombre de certificats verts/MWh produit, octroyé. À la suite de ce système d'incitation fiscale, le nombre d'installations photovoltaïques a fortement augmenté en Région wallonne. C'est pourquoi le gouvernement wallon a décidé de revoir le plan afin de dégonfler la bulle créée. Une quantité considérable de certificats avait en effet été octroyée aux producteurs d'électricité renouvelable créant ainsi une bulle équivalente à près de 1,8 milliard d'euros (Defoy, 2019). C'est la raison pour laquelle, leur durée d'octroi initialement de 15 ans est passée à 10 ans dans le second régime, avec effet rétroactif pour les producteurs ayant installé leurs panneaux durant le premier régime, entre 2007 et 2012 (Haveaux & Wilkin, 2018). Les taux d'octroi seront adaptés afin de sortir définitivement de ce dispositif d'ici 2030 (Wallonie, 2018).

Entre le 1<sup>er</sup> mars 2014 et le 30 juin 2018, un nouveau mécanisme de soutien a vu le jour : *Qualiwatt*. Pendant 5 ans, les GRD auxquels sont raccordées les installations versent une prime annuelle aux détenteurs de panneaux mis en service avant le 1<sup>er</sup> juillet 2018. Par conséquent, le montant diffère selon le GRD auquel l'installation est rattachée. La prime doit être remboursée dans son intégralité si l'installation n'est pas maintenue en service pendant 5 ans (Wallonie énergie SPW, 2020).

Depuis 2018, aucun mécanisme d'aide n'a été mis en place en Wallonie. Tout au contraire, une redevance annuelle forfaitaire est instaurée depuis début mai 2020 alors que celle-ci était initialement prévue pour 2025. Cette redevance, appelée tarif prosommateur (qui est la contraction de producteur et consommateur), a été mise en place par la CWaPE pour les propriétaires de panneaux solaires, d'éoliennes domestiques, d'installations hydrauliques et de cogénérations afin de payer pour l'utilisation des réseaux de transport et de distribution de l'électricité. Jusqu'ici, le producteur d'électricité verte consommait l'électricité gratuitement alors qu'il en prélevait sur le réseau. Le but de ce tarif est d'établir une égalité entre les détenteurs de panneaux et les particuliers ne disposant pas de panneaux chez eux (Blog Mega, 2019). En Région wallonne, deux tarifs distincts sont proposés aux propriétaires de panneaux (ENGIE, 2020) :

- Le tarif forfaitaire/ capacitaire calculé en fonction de la puissance électrique de l'installation s'exprimant en €/kWe<sup>6</sup> multiplié par un montant forfaitaire fixé par le GRD ;
- Le tarif proportionnel/ réel basé sur l'électricité prélevée par le prosommateur et s'exprimant en €/kWh. Pour déterminer le montant de ce tarif, il faut disposer d'un compteur bidirectionnel calculant séparément le prélèvement et l'injection d'électricité sur le réseau.

Selon le GRD auquel l'installation est raccordée et en fonction de la puissance de l'installation, le tarif sera différent et variera entre 234€ et 346€ par an pour une installation d'un ménage-type (ENGIE, 2020). De plus, si le détenteur de panneaux ne choisit pas un tarif au détriment d'un autre, le tarif capacitaire lui sera automatiquement appliqué. De plus, ce tarif évolue au cours des années (voir ANNEXE 6 : évolution des tarifs prosommateurs). Si, par contre, le ménage dispose au préalable d'un compteur double flux, il ne pourra pas choisir le tarif forfaitaire (Ilinca, 2020).

Suite à la mise en place de la redevance annuelle, le régulateur veut atteindre deux objectifs qui sont l'assurance du maintien et du développement du réseau ainsi que l'incitation des prosommateurs à consommer davantage leur propre production (ORES, 2020).

### iii. Région flamande

Jusqu'en 2014, la Région flamande connaissait, elle aussi un système de certificats verts. La Région continue d'ailleurs d'en octroyer aux installations antérieures à cette date vu la durée d'octroi de 15 ans. Après 2014, le principe de compteur à l'envers a été mis en application, de la même manière qu'en Wallonie (VREG, 2020).

En ce qui concerne les panneaux installés avant le 1<sup>er</sup> janvier 2013, les certificats verts octroyés diminuent peu à peu chaque année. Concernant les ménages devenus détenteurs de PV après le 14 juin 2015, ils ne bénéficient désormais plus de certificats verts (Fluvius, 2020).

Depuis le 1<sup>er</sup> juillet 2015, le tarif prosommateur est entré en vigueur en Flandre. Contrairement à la Région wallonne, il n'est pas question de deux tarifs distincts, mais seulement d'un tarif forfaitaire. Il s'agit en fait d'un montant calculé sur base de la puissance de l'installation photovoltaïque multipliée par le montant fixé par le GRD.

---

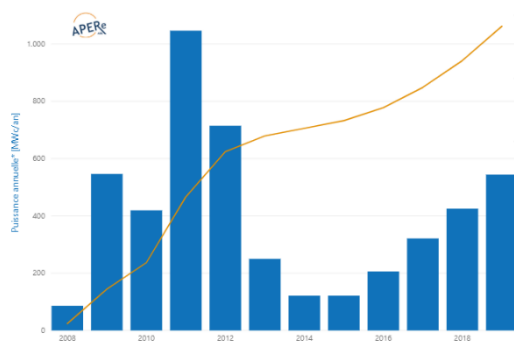
<sup>6</sup> Le kilowatt électrique est l'unité exprimant la puissance produite sous forme électrique (CWaPE, 2019).

Comme dit précédemment, le montant forfaitaire fixé par le GRD varie selon la position géographique du ménage et une augmentation de la redevance est également prévue chaque année pour la Wallonie comme pour la Flandre (VREG, 2020).

L'arrivée des compteurs communicants pourrait remettre en cause ce mécanisme et laisser place à un autre système. Un compteur double flux sert à mesurer distinctement l'électricité injectée et prélevée sur le réseau et un tarif pourrait être dorénavant d'application sur l'électricité prélevée du réseau (Lumiworld, 2020). Cependant, plusieurs choses sont à prendre en compte et les ménages auront le choix entre deux options. Soit les particuliers ayant investi dans des panneaux solaires avant 2021, font le choix de bénéficier du compteur tournant à l'envers pendant encore 15 ans soit ils paient le tarif sur base du prélèvement réel sur le réseau (ENGIE, 2019).

Il ne faut pas perdre de vue que tous les mécanismes actuels sont et seront sujets à des changements. Les différents aspects vus laisseront place à d'autres systèmes, car la législation est quelque peu complexe étant donné les différences d'opinions entre les régulateurs et les gouvernements. Tous les mécanismes vus ci-dessus ont longtemps incité les ménages à investir dans les panneaux photovoltaïques. Nous pouvons d'ailleurs constater une évolution des capacités installées en Belgique au fur et à mesure des années.

#### a. Evolution du prix des panneaux



**Figure 5 :** Evolution de la capacité installée en termes de photovoltaïque en Belgique

Source : APERE. (2020). Puissance installée.

Sur le graphique ci-dessus, chaque année est représentée par la puissance installée en bleu tandis que la courbe jaune représente les puissances installées cumulées au fil des années.

Suite à l'annonce de la dégressivité des certificats verts, les ménages se sont empressés d'investir dans le solaire, ce qui a généré une explosion notable de la capacité d'installations en 2011 où 1.400 MWc<sup>7</sup> ont été installés comparée aux 190 MWc en Wallonie (APERe, 2020).

Après cette période appelée la « bulle des certificats verts », nous pouvons observer une baisse des capacités installées à travers le pays jusqu'à atteindre les 121,52 MWc en 2014 (APERe, s.d.). Les puissances installées (en solaire) ont cependant réaugmenté à partir de 2015 jusqu'à atteindre 544,06 MWc en 2018.

Étant donné la grande augmentation de la demande au fil du temps et la baisse des prix de la fabrication des composants, les prix d'une installation ont ainsi chuté. En effet, lors de l'année d'entrée en vigueur (2008) du plan *Solwatt*, le kWc coûtait 4.000€ (ENGIE, 2017). Dix ans plus tard, le kWc coûte entre 1.200 et 1.750€ représentant le tiers du coût initial (Sury, 2020). De plus, au vu de la baisse du prix des installations solaires et de la hausse du kWh acheté sur le réseau, est apparu ce qu'on appelle le phénomène de *parité réseau*. Cette situation survient lorsque le coût du kWh produit par l'énergie solaire est égal au coût du kWh acheté sur le réseau. La parité réseau est atteinte lorsque le prix d'achat de l'électricité sur le réseau est égal au coût de production d'un kWh solaire. Ce dernier dépend de chaque installation en fonction de sa durée de vie, de sa performance... et est calculé comme suit : nombre de kWh produits totaux sur la durée de vie de l'installation/ prix de l'installation (autoconsomation.io). Dans ce contexte de parité réseau, une entreprise en particulier a décidé de faire son apparition sur le marché de l'énergie verte : Energreen.

### 3. Présentation de l'entreprise

#### a. Historique

Acteur dans le secteur de l'énergie verte, Energreen est une entreprise wallonne fondée en 2008 dont l'activité principale est l'installation de panneaux photovoltaïques. L'entreprise est créée pour favoriser l'utilisation des énergies renouvelables et ainsi réduire l'usage des énergies fossiles. Sa croissance se fait rapidement. Ainsi, en 2011, la

---

<sup>7</sup> Un watt-crête (Wc) est l'unité de mesure utilisée pour la puissance maximale fournie par un panneau photovoltaïque (Energuede, 2020).

société commence à installer des systèmes de chauffage économiques. Cependant en 2014, le gouvernement wallon décide de supprimer les certificats verts en vigueur pour laisser place au mécanisme de soutien *Qualiwatt* comme vu précédemment. L'entreprise traverse dès lors une sérieuse crise durant laquelle une partie de ses concurrents fait faillite. La même année, elle décide de lancer sa filiale « SOS Photovoltaïque ». Il s'agit du service après-vente de l'organisation où la clientèle d'Energreen et celle des installations concurrentes peuvent bénéficier d'un suivi de qualité (SOS photovoltaïque, 2020).

En 2015, Energreen est devenue une entreprise connue dans le secteur du renouvelable. Cette dernière a, par ailleurs, été nominée pour le Maca d'Or qui est un prix récompensant les meilleures entreprises waviennes. En 2016, elle pense à élargir sa gamme de produits en proposant des batteries aux clients qui aimeraient consommer davantage leur propre énergie produite. Cependant, ils ne réussissent pas à avoir le résultat escompté, car la vente de batteries est très rare étant donné que l'entreprise n'était pas satisfaite avec les fournisseurs trouvés auparavant. C'est pourquoi l'objet de la gestion de projet est de, cette fois-ci, trouver un nouveau fournisseur de batteries fiable pour l'organisation (Energreen, 2019).

Plus récemment, en 2018, l'entreprise travaillait sur un projet nommé *Solarclick* avec l'un de ses partenaires Sibelga, le gestionnaire de réseau de transport de gaz et d'électricité à Bruxelles. Ce projet, lancé par le Gouvernement bruxellois, avait pour but d'installer des panneaux sur 150 bâtiments afin de réduire les émissions de dioxyde de carbone. Si au commencement de son activité, l'entreprise essayait également de trouver des fournisseurs pour satisfaire les besoins de professionnels, aujourd'hui, l'installation photovoltaïque est exclusivement destinée aux particuliers (Sibelga, 2019).

## b. Vision et valeurs

La vision de l'entreprise est d'aider les ménages à investir dans le renouvelable afin qu'ils puissent être plus autonomes en énergie. C'est pour cela qu'elle œuvre depuis 10 ans pour que « toute l'énergie produite de demain, soit renouvelable » (Energreen, 2019).

En ce qui concerne les valeurs, l'entreprise en compte principalement plusieurs. Tout d'abord, leur valeur fondamentale est le respect. Il est important que celui-ci soit respecté entre collaborateurs, mais également appliqué aux clients afin qu'Energreen puisse prouver qu'elle est un partenaire fiable. Ensuite, viennent l'audace et la fiabilité afin de garantir une remise en question constante étant donné que l'organisation ose innover et se développer continuellement. La quatrième valeur est celle du plaisir qui est reflété par la passion du métier représenté par une équipe toujours disponible et à

l'écoute. Pour clôturer, l'esprit d'équipe est également un élément phare de la société étant donné que la collaboration entre les équipes permet la satisfaction de leurs clients (Energreen, 2019).

### c. Activités et produits

Comme déjà énoncée plus haut, l'activité principale d'Energreen est l'installation de panneaux photovoltaïques destinée aux particuliers. Le système photovoltaïque s'accompagne d'un système de monitoring qui permet au ménage de garder un œil sur sa production au jour le jour.

En plus de cela, Energreen installe également des boilers thermodynamiques qui allient un ballon d'eau chaude sanitaire à une pompe à chaleur ce qui permettra au ménage de profiter constamment d'eau chaude à prix économique. Elle puise la chaleur de l'air ambiant pour la restituer au système de chauffage. C'est une solution renouvelable et économique servant à chauffer l'eau sanitaire. L'économie d'énergie peut aller jusqu'à 70% représentant un véritable atout pour le ménage.

Par ailleurs, l'entreprise est aussi connue pour l'installation de chaudières à pellets. Celles-ci sont une manière plus écologique et économique de chauffer étant donné que pour une même quantité de chaleur, le prix du mazout s'avère être deux fois plus élevé que celui du pellet. En ce qui concerne le chauffage à condensation, les calories présentes dans les fumées sont également utilisées. C'est un moyen d'utiliser toute l'énergie disponible dans le gaz. De ce fait, le rendement de cette solution est jusqu'à 20% plus élevé en comparaison avec une chaudière classique. Il est également possible d'obtenir une prime pour cela (Energreen, 2019).

### d. Concurrence

Étant donné l'intérêt croissant du particulier pour l'énergie verte, de nombreux acteurs se sont développés sur le marché offrant des services similaires à ceux d'Energreen. Comme dit précédemment, la part des énergies renouvelables dans la consommation finale d'un Belge augmente chaque année en raison du développement des capacités installées. D'après l'Iweps (2020), il ressort que la production du photovoltaïque a été multipliée par 13 depuis 2010. Nous pouvons dès lors en déduire que l'entreprise possède des concurrents de taille dans le secteur du renouvelable.

Citons, par exemple, le cas d'Enersol, un concurrent présent sur le marché depuis 2005. L'entreprise offre des services très diversifiés tels que l'installation de panneaux

photovoltaïques, de chaudières (mazout, condensation...), de systèmes de ventilation et de batteries domestiques. Ils ont également une gamme de bornes de recharge pour les véhicules électriques (Enersol, s.d).

Dauvister, elle, apparaît sur le marché en 2007 où les mêmes services qu'Enersol sont proposés, à l'exception des bornes de recharge. Comme Energreen, un service après-vente est également mis à la disposition du client. En 2018, ils employaient 46 personnes comparées à 18 chez Energreen (Puglia, 2019). D'après leurs chiffres, ils sont en constante évolution ce qui révèle une bonne santé financière (Dauvister, 2020).

Depuis 2008, Green Energy 4 Seasons n'installe que des panneaux photovoltaïques. Étant donné que le nombre d'employés, en 2018, s'élevait au nombre de 8. Par conséquent, il leur est donc difficile de diversifier leurs activités.

Nous pouvons constater que, la demande pour les panneaux solaires et le nombre d'installateurs sur le marché étant croissants, les ménages ont une multitude de choix quant au fournisseur pour la pose. Pour aider les clients dans leurs recherches, des comparateurs d'installateurs de panneaux solaires existent sur le marché (Bobex ou Solvari) donnant la possibilité aux ménages de trouver le meilleur prestataire de services (Puglia, 2019).

**Tableau 6** : Performances d'Energreen et de ses concurrents en 2018 (Company Web, 2019)

2018	Bénéfices/pertes	Capitaux propres	Marge brute
Energreen	456.829€ (↗26%)	705.403€ (↗ 18%)	3.586.788€ (↗ 135%)
Dauvister	1.635.320€ (↗ 80%)	4.901.215€ (↗50%)	9.713.448€ (↗ 25%)
Enersol	891.173€ (↗ 132%)	5.290.795€ (↗ 12%)	5.549.535€ (↗ 33%)
Green Energy 4 Seasons	329.272€ (stable)	14.001.484€ (stable)	4.283.105€ (↗ 6%)

Il est à noter que l'activité d'Energreen a commencé dès le 1<sup>er</sup> juillet 2008. En 2018, l'entreprise a décidé d'étaler son bilan sur un an et demi pour pouvoir commencer son exercice comptable au premier janvier. C'est l'une des raisons pour laquelle la société a vu sa marge brute augmenter de 135%. L'augmentation de la marge brute permet à l'entreprise de réaliser des gains sur la revente de marchandises. De plus, plus le pouvoir

de négociation est élevé, plus la marge brute est considérable (L'expert-comptable, 2018).

Nous pouvons donc conclure qu'Energreen se situe dans un marché où le niveau de concurrence est accru. Dauvister et Enersol se distinguent en proposant des services de ventilation, de chauffage (condensation à gaz...). De plus, les bornes de recharge font également partie du panel de produits d'Enersol. Cela représente une plus-value étant donné que les véhicules électriques deviennent un sujet prépondérant au sein de notre société. L'entreprise a commencé son activité en même temps que Winwatt et Green Energy 4 Seasons, au moment où le photovoltaïque commençait à connaître un boom. Nous pouvons donc en conclure qu'Energreen se démène bien en proposant également des services similaires à ses concurrents comme les batteries domestiques, les systèmes de chauffage et les bornes de recharge électriques.

#### e. Moyens mis à disposition de l'entreprise

Cette entreprise a été fondée il y a un peu plus de 10 ans maintenant. Étant donné la croissance que connaît l'entreprise, cela implique un besoin grandissant en termes de ressources pour l'entreprise afin de satisfaire les besoins de la clientèle croissante. Par conséquent, une augmentation accrue des membres du personnel a été nécessaire au sein de la société comme les installateurs, les comptables... D'après M. Puglia (2019), l'entreprise compte à peu près une soixantaine d'employés en comparaison avec les 18 personnes employées en 2018.

Par ailleurs, les ressources matérielles nécessaires sont composées de panneaux photovoltaïques, d'onduleurs, de différents dispositifs pour se chauffer et stocker son énergie ainsi que des camionnettes transportant ces derniers.

#### f. Indices de performance clés

L'entreprise ayant commencé son activité en juillet 2008, ses exercices comptables ont débuté ce mois-là également. Les fonds propres correspondent aux fonds apportés par le(s) fondateur(s) lorsque la société est créée et aux bénéfices engendrés/ apportés au cours de la vie de la société. Chaque année, une entreprise fait des bénéfices. Sur base de cela, une partie est versée aux actionnaires et une autre est conservée à titre de fonds propres qui vont servir à financer une partie des investissements. Vu l'augmentation des capitaux propres lors de ces dernières années, cela reflète une bonne santé financière et permet à l'entreprise d'assurer sa solvabilité (Debitoor, s.d.).



**Tableau 7** : Performance de l'entreprise via quelques chiffres (BNB, 2019)

Energreen	Juillet 2015	Juillet 2016	Juillet 2017	Décembre 2018
Marge brute	546.759€	1.381.202€	1.523.153€	3.586.788€
Fonds propres	384.512€	456.526€	598.574€	860.377€

La marge brute permet de déterminer si une entreprise dégage des bénéfices ou non. La marge brute représente la différence entre le prix de vente (hors taxes) et le coût de revient (hors taxes) d'un produit ou service. Elle caractérise la performance de l'entreprise. La marge brute d'Energreen a été multipliée par 10 en cinq ans, passant de 350.000€ à 3,5 millions en décembre 2018. La marge brute d'exploitation élevée d'Energreen permet à l'entreprise d'avoir un grand pouvoir de négociation et d'avoir un haut niveau de performance (L'expert-comptable, 2018).

En février 2020, Energreen a également reçu le prix des Trends Gazelles récompensant l'entreprise ayant connu le plus de croissance. Ce titre est reconnu et établi sur base de la croissance du chiffre d'affaires, la croissance du personnel ainsi que la croissance des flux de trésorerie. Pour illustrer la croissance de l'entreprise, une représentation graphique du nombre d'installations réalisées par Energreen depuis sa création peut être retrouvée en ANNEXE 2 (*Nombre d'installations déjà réalisées par Energreen*) .

Le nombre d'installations a augmenté depuis 2009 et était de 3.400 en 2019. L'entreprise en est à plus de 11.000 installations cumulées à ce jour. Par conséquent, l'entreprise a recruté du personnel pour satisfaire les besoins des clients en constante augmentation. Il a fallu créer plusieurs équipes avec des rôles distincts (cfr. infra p.28), au vu de l'augmentation des effectifs. Aujourd'hui, l'entreprise emploie environ 60 personnes tandis que le nombre d'employés ne dépassait pas la vingtaine quelques années auparavant. De fait, ils sont constamment à la recherche d'experts techniques et de commerciaux pour proposer le meilleur service (Puglia, 2019). Avec 14% de part de marché et un chiffre d'affaires de 26 millions d'euros, la société se positionne première pour le photovoltaïque pour les consommateurs résidentiels (Trends-Tendances, 2020).

#### g. Environnement direct de la gestion de projet

L'organigramme de la société a été mis à jour et est présenté dans les *annexes (ANNEXE 3 : Organigramme de l'entreprise)*. Comme dit plus haut, étant donné le nombre croissant de collaborateurs au sein de l'entreprise, il a fallu créer des équipes distinctes où les rôles pouvaient clairement être assignés. Cependant, tout ce qui découle du département *Opérations* est bien trop imposant pour qu'il n'apparaisse dans le même emplacement que l'organigramme « traditionnel ».

Le comité de direction est composé du principal administrateur délégué, monsieur Vander Putten, et du directeur des finances, du directeur commercial et de la directrice des opérations qui prennent des décisions stratégiques pour la société.

Le département « Développement et implémentation » et « Web » sont directement rattachés au PDG, mais ne font pas partie du comité de direction. À l'heure actuelle, je me trouve dans le département « Business développement ». Pour l'instant, ce département est composé de mon maître de stage et du programmeur, se concentrant sur beaucoup de projets qui permettent à l'entreprise de croître (Puglia, 2019).

### 4. Présentation du projet, de son cadre et de ses limites

#### a. But du projet

Bien que les énergies fossiles et l'énergie nucléaire soient encore majoritairement présentes dans le mix énergétique belge, beaucoup d'entreprises telles qu'Energreen agissent en faveur de ce changement énergétique (Forum Nucléaire, s.d.). C'est pourquoi Energreen souhaite proposer des solutions afin que les foyers puissent profiter de leur propre énergie solaire et dépendre beaucoup moins des différentes centrales délivrant l'énergie nucléaire et les énergies fossiles (gaz, charbon...). Ces solutions visent à rendre les consommateurs plus indépendants du réseau électrique en consommant leur propre production (Energreen, 2019). C'est la raison pour laquelle le but du projet sera essentiellement d'étendre la gamme de produits qu'offre actuellement l'entreprise.

## b. Délimitation du projet

Pour ce faire, le projet visait à élargir la gamme de produits en se concentrant exclusivement sur les batteries domestiques de stockage et les bornes de rechargement électriques et en identifiant des fournisseurs fiables. Par la suite, des calculateurs de rentabilité ont été développés permettant non seulement aux clients résidentiels, mais également aux responsables de vente d'avoir une vue d'ensemble sur la rentabilité des différentes alternatives.

Le projet consistait initialement en deux sous-projets comprenant premièrement, les batteries domestiques pendant la première partie du stage ; et ensuite, les bornes de recharge électriques durant la seconde partie. Entretemps, l'entreprise a cependant fini par trouver un partenaire pour les bornes. Par conséquent, l'analyse concernant le deuxième sous-projet s'en est trouvée superflue. C'est d'ailleurs la raison pour laquelle le projet a été réorienté, en choisissant de se concentrer sur d'autres solutions d'autoconsommation telles que les boilers thermodynamiques ou encore sur le concept d'autoconsommation collective. Toutefois, comme nous l'avons vu, ce mémoire ne traitera que des batteries domestiques.

## c. Contraintes et opportunités

Dans le cadre de cette gestion de projet, différentes opportunités et contraintes ont dès lors été identifiées. Concernant les contraintes, celles-ci étaient principalement d'ordre technique.

Une contrainte était l'indisponibilité de certains fournisseurs. En effet, ce projet repose principalement sur l'établissement d'un partenariat. Dès lors, une indisponibilité des fournisseurs peut représenter une contrainte pour Energreen, sans quoi il serait difficile de disposer d'un produit à la vente.

De plus, le manque de connaissances en termes techniques pouvait également représenter un frein. Néanmoins, l'accès à l'information a été possible via les formations ainsi que les documents en interne/ externe et les réunions qui ont finalement été utiles à la compréhension des aspects techniques/ technologiques.

En ce qui concerne les opportunités, le présent projet pourrait permettre à l'entreprise de se développer et d'acquérir plus de parts de marché puisqu'elle disposera d'une plus grande gamme de produits. Par conséquent, elle sera en mesure d'installer d'autres dispositifs que les systèmes « traditionnels » qui faisaient originellement partie de

l'entreprise en couplant, par exemple, l'installation de panneaux photovoltaïques à celle d'une batterie de stockage.

#### d. Acteurs du projet

Il a été possible d'interagir avec le personnel de l'entreprise, mais également avec des personnes externes, à savoir les fournisseurs ou encore les personnes donnant les formations.

Les différentes personnes impliquées sont tout d'abord, le maître de stage qui est le chef de projet et qui se situe dans le département *Business développement* qui a pour objectif de faire prospérer l'entreprise en lui apportant un nouvel élan.

Ensuite, le département *Opérations* est également touché de près comme de loin par le projet. D'une part, le responsable achat permet l'entrée en contact avec les différents fournisseurs. D'autre part, les équipes techniques sont également nécessaires au bon suivi du projet étant donné qu'elles seront chargées de la pose des différentes combinaisons.

Les différents argumentaires commerciaux et le contact direct avec le client permettent également au département *Commercial* d'être impliqué dans le projet. Finalement, la validation de la pertinence de l'étude incombe au PDG, Alexis Vander Putten, faisant également partie du projet (Puglia, 2019).

## Chapitre 2

### Approches technologiques

Dans ce chapitre, la compréhension de l'activité principale de l'entreprise se devait de suivre. L'aspect technologique d'une installation photovoltaïque est primordial même si celle-ci ne faisait pas partie de la mise en œuvre du projet à proprement parler. Cependant, étant donné que différents concepts du photovoltaïque sont retrouvés dans le champ des batteries de stockage, il est important d'en expliquer les différentes composantes d'une installation photovoltaïque.

Les différentes manières de stocker l'énergie ainsi que l'aspect technologique des batteries de stockage d'électricité pour un résident seront abordés par après. Cette approche sera utile pour le point *choix stratégiques* qui sera abordée de manière plus détaillée dans le chapitre trois. En effet, la mise en œuvre du projet en tant que tel commence au chapitre suivant. Mais avant tout cela, voici une introduction à l'installation des panneaux photovoltaïques.

#### 1. Approches technologiques d'une installation photovoltaïque

La compréhension du rôle de chacune des composantes est primordiale à la compréhension de l'installation photovoltaïque. Cette dernière est constituée de panneaux, d'un onduleur, de structures de montage et d'un compteur électrique, présentés comme sur la *figure* ci-dessous et dont les composantes seront expliquées de manière plus approfondie.



**Figure 6** : Configuration d'une installation photovoltaïque

*Source* : Meteoslins. (2010). L'énergie solaire photovoltaïque.

### a. Panneaux solaires

Des panneaux solaires photovoltaïques, aussi appelés modules photovoltaïques « sont des générateurs électriques composés de cellules photovoltaïques » (Energreen, 2019, para.1). En absorbant la lumière, une tension électrique sera créée. Le produit de la tension et du courant donne la puissance électrique de la cellule convertissant ainsi une partie de l'énergie lumineuse en électricité. L'énergie électrique est possible via l'irradiance et non grâce à la température que le soleil transmet sur terre. L'énergie solaire est une énergie dite intermittente, c'est-à-dire qu'une production constante n'est pas envisageable étant donné la disponibilité non continue de cette dernière. Les panneaux ne produisent en effet pas en pleine nuit (cfr. supra p.15).

Lorsque la cellule photovoltaïque est exposée au soleil, elle est caractérisée par une courbe reprenant sa tension à vide (tension générée par une cellule éclairée), son courant court-circuit (courant généré par une cellule raccordée à elle-même) et son point de puissance maximale (MPP<sup>8</sup>) obtenue lorsqu'une tension et un courant optimaux sont atteints (Énergie +, s.d.).

Les caractéristiques d'une seule cellule sont insuffisantes pour répondre aux besoins d'un ménage. Les cellules sont donc connectées en série et encapsulées dans un

---

<sup>8</sup> Maximal Point Tracker ou communément appelé le point de puissance maximal = « chaque générateur présente un point de travail unique au niveau duquel il peut fournir la puissance électrique maximale possible » (SMA, 2016).

panneau menant ainsi à l'association des différents panneaux, que l'on appelle un *string*, qui est primordial pour alimenter les différents appareils électriques (SOS photovoltaïque, 2020).

Pour la perte d'efficacité du panneau, deux données sont à prendre en compte. Premièrement, après avoir dépassé les 25°C, à chaque augmentation de 1°C, l'installation fait face à une perte de rendement. Deuxièmement, dans les 10 ans suivant la pose de l'installation photovoltaïque, le panneau perd environ 10% en puissance et 20% après 25 ans (étant la durée de garantie des panneaux). Cependant, cela n'implique pas qu'il faille immédiatement remplacer les panneaux. La production des panneaux reste à vérifier après ce laps de temps (25 ans) pour voir si les besoins en énergie du ménage sont toujours satisfaits grâce aux panneaux mis à disposition (Energreen, 2019).

Si le ménage décide de remplacer ses panneaux, il existe des moyens de les recycler. D'après l'organisme PV Cycle, le taux de recyclage du photovoltaïque est de 96%. En Belgique, l'association permet d'« assure[r] la gestion, la collecte et le recyclage des panneaux arrivés en fin de vie » (Energreen, 2019). La législation belge oblige chaque installateur et fabricant, depuis juillet 2016, à gérer la collecte ainsi que le recyclage des panneaux usagés. Le cycle de vie des panneaux suit ce mouvement : les matières premières entrent dans un processus de fabrication afin d'avoir le produit fini qui est le panneau. De plus, l'installation des panneaux et la production d'électricité verte permettent au ménage d'en bénéficier jusqu'à 30 ans, avant qu'il n'arrive à sa fin de vie. La désinstallation et la collecte de panneaux se font par PV Cycle qui intègre un processus de recyclage permettant aux panneaux d'être réutilisés, et enfin, le cycle pourra recommencer.

Il est nécessaire de distinguer les panneaux solaires photovoltaïques des panneaux solaires thermiques. Dans le deuxième cas, l'installation captera les rayons du soleil pour les transformer en chaleur. Celle-ci est transmise à un circuit d'eau qui sera dirigé vers un ballon qui transfèrera lui-même la chaleur au chauffe-eau domestique. Néanmoins, ce système présente des contraintes étant donné que cela nécessite entre autres de travaux de plomberie (Marcheteau, 2019).

La puissance d'une installation photovoltaïque s'exprime en *watts-crête* (Wc) et correspond à la puissance théorique dans les conditions standards de test comprenant un certain nombre de Conditions Standards de Test (STC) comme la température des cellules ou encore le niveau d'éclairement. Une puissance crête représente la puissance du système (hellowatt, 2020). La puissance d'une installation photovoltaïque se calculera en fonction de la consommation du ménage et en fonction de différentes conditions comme l'orientation, le lieu...

## ○ Différents modèles

En effet, afin d'obtenir une puissance de l'installation photovoltaïque idéale, cette dernière dépend de plusieurs facteurs. Afin d'obtenir un rendement optimal en Belgique, le toit dirigé de préférence vers le Sud doit idéalement avoir une inclinaison de 30°. Ensuite, la surface utilisée du toit et la qualité des matériaux utilisés auront également un impact sur la production photovoltaïque. Un autre facteur influençant le rendement des panneaux est le choix de ces derniers, car trois sortes existent (SOS photovoltaïque, 2020) :

- Les panneaux monocristallins dont les prix sont très hauts, mais dont le rendement est également élevé impliquent que le panneau au m<sup>2</sup> produit beaucoup
- Les panneaux polycristallins dont le rendement est moins élevé que le premier type de panneaux, mais dont le coût de production est également moins élevé ce qui rend le panneau plus abordable à l'achat.
- Les panneaux à base de silicium amorphe sont moins répandus et peu onéreux. De plus, le rendement de ce type est très bas.

Le dernier facteur ayant un impact sur le rendement est la pose des panneaux qui peut s'effectuer de plusieurs manières que ce soit sur la façade ou encore au sol par exemple, selon la contrainte de l'habitation.

Reprenons maintenant le ménage-type dont la consommation était de 4.000 kWh durant l'année. Dans les conditions optimales (toit orienté sud et incliné à 30° entre autres), un kilowatt-crête correspond à une production de 950kWh.

Vu la consommation du profil type de 4.000kWh (cfr. supra p. 12), l'installation aura dès lors une puissance de 4,5 kWc équivalant à environ 18 panneaux (Sury, 2020). De plus, notons que tous les systèmes photovoltaïques de plus de 10 kWc sont considérés comme industriels. N'étant pas à caractère résidentiel, une installation de ce type n'entrera pas en compte dans la suite de ce mémoire.

## ii. L'onduleur

Les rayons lumineux que les panneaux perçoivent, permettent une production de courant continu. Cependant les appareils électroménagers fonctionnent en courant alternatif. C'est pourquoi un système convertissant le courant continu en courant alternatif est nécessaire pour pouvoir utiliser les équipements dans un foyer.

Un onduleur sert à convertir le courant continu perçu par les panneaux solaires, en courant alternatif nécessaire au bon fonctionnement d'une habitation. L'unité de



mesure d'un onduleur s'exprime en W ou en VA servant à mesurer la puissance maximale d'injection d'une installation solaire sur le réseau. En fonction de cette puissance, le prix de l'onduleur variera (Communal, 2019).

Contrairement aux panneaux, l'onduleur a, quant à lui, une durée de vie de plus ou moins une quinzaine d'années. C'est pour cela qu'il est conseillé de l'installer dans des conditions favorables (non près d'une source de chaleur par exemple) (futech, 2020).

L'onduleur dispose également d'une grande propriété qui est de limiter la baisse de production. En effet, une situation qui arrive souvent est le phénomène d'ombrage qui a pour conséquence de faire de l'ombre au panneau. Comme nous le savons, les panneaux ne fonctionnent que s'ils sont exposés à la lumière. L'onduleur jouera un rôle prépondérant là-dedans en contrant la baisse de production. En effet, le tracker MPP dont dispose l'onduleur photovoltaïque est nécessaire, car grâce à ce dernier, le générateur fonctionnera de manière optimale sans être affecté par l'ombrage en obtenant ainsi un rendement maximal de l'installation (SMA Solar, 2016).

### ○ Différentes sortes d'onduleurs

#### - Le micro-onduleur

Chaque module photovoltaïque sera relié à son onduleur spécifique. En outre, les micro-onduleurs sont placés sur le toit contrairement aux autres onduleurs qui peuvent être fixés à côté du tableau électrique. Par conséquent, la tâche devient plus compliquée si le micro-onduleur présente des défauts.

#### - L'onduleur de chaîne

L'onduleur « de chaîne » (provenant du mot *string* en anglais) est installé lorsqu'il faut assembler les différentes cellules photovoltaïques et intervient lors d'un string de panneaux (étant une autre configuration constituée d'une chaîne de panneaux reliée à un onduleur bien spécifique).

Les cellules envoient toute la tension à l'onduleur en question, ce qui résulte en une tension optimisée. Le string s'adapte au panneau présentant la production la plus faible, ce qui peut affecter le rendement global en raison de l'ombrage. Pour contrer cela, des composants comme les MPPT vus au-dessus ou encore les électroniques appelés « diodes by pass », installés à des réseaux de cellules photovoltaïques, permettent de limiter le problème lié à ce phénomène. La cellule exposée à l'ombre est alors isolée et le courant continue de circuler sans baisse de production. Cela évite que chaque panneau ne doive disposer de son propre onduleur et limite également tout problème suscité par l'ombrage (Gabriele, 2020).

À noter que les onduleurs modulaires peuvent toutefois disposer d'un seul ou de plusieurs MPPT, voire d'aucuns. Les panneaux possédant deux trackers (pour une habitation ayant une orientation et inclinaison différentes) par exemple, permettront de rechercher deux points maximum de puissance de telle sorte qu'il sera possible de profiter d'une puissance maximale de l'installation (transénergie, s.d.).

### iii. Types de courants

Ci-dessus, nous avons abordé la question des courants direct et alternatif. Toutefois, il est important de noter une différence entre les deux. En ce qui concerne le courant continu, on parle de pôle positif et négatif, car le courant électrique circule dans une même direction comme dans une pile par exemple.

Ensuite, lorsqu'il s'agit de courant alternatif en revanche, cela implique des électrons circulant alternativement d'un sens à l'autre (donnant une sinusoïde), l'on parle alors de phases et de neutre. Une phase correspond au fil conducteur amenant le courant dans une maison et l'autre fil assurant la répartition du courant constitue le neutre. La différence de tension entre ces deux fils est d'environ 230 V. Il s'agit de l'unité mesurant la différence de tension entre deux points d'un circuit. Deux types de réseaux de courant alternatif existent, en fonction des besoins en électricité du ménage. Un courant sera privilégié au détriment de l'autre :

1. Le réseau monophasé est constitué de deux fils conducteurs (une phase et un neutre) convenant à presque tous les types d'appareils électroménagers (chauffage et éclairage compris). La différence de tension entre les deux bornes est d'environ 230 V.
2. Le réseau triphasé est, dans le cas présent, constitué de quatre fils (trois phases et un neutre) convenant aux appareils un peu plus puissants comme des pompes à chaleur, un four... qui fonctionnent en 400 V.

À souligner que généralement, le courant triphasé est privilégié étant donné qu'il limite les déperditions énergétiques lors du transport d'électricité (ENGIE, 2019).

### iv. Compteur électrique

Le compteur électrique est nécessaire pour les détenteurs de panneaux comme pour les particuliers qui n'en possèdent pas. Il permet de mesurer la quantité d'électricité consommée sur une période déterminée. L'appareil permet d'afficher des chiffres formant des index qui calculent ainsi la consommation d'énergie. Ces index sont

importants et doivent être communiqués au fournisseur afin que ce dernier connaisse la consommation d'électricité qui aura été faite au cours de l'année.

En Belgique, trois types de compteurs existent. Tout d'abord, le premier type de compteurs, appelé compteur mono-horaire, est celui qui ne distingue pas les heures pleines (les heures en journée) des heures creuses (les heures comprenant la nuit et le week-end). Un seul tarif est appliqué au ménage possédant ce compteur.

Ensuite, nous retrouvons le compteur bi-horaire. Contrairement au premier, celui-ci distingue bien les heures pleines et les heures creuses. Le consommateur résidentiel se verra facturer le tarif de jour ou de nuit en fonction du moment où il a consommé. Le ménage essaiera donc de maximiser l'utilisation des appareils durant la nuit pour profiter des tarifs moins chers que ce compteur offre.

Enfin, le compteur exclusif nuit représente le troisième type de compteur fonctionnant exclusivement la nuit en fournissant de l'électricité aux appareils tels que les chaudières pour eau chaude par exemple. Ce dernier s'accompagne toujours d'un compteur mono-horaire ou bi-horaire et sera utilisé plus rarement que les deux premiers.

Ceci étant dit, nous pouvons constater en Belgique une émergence des compteurs intelligents. Comme décrit plus haut, ils mesureront l'électricité injectée et celle prélevée du réseau, ce qui aura un impact sur la facture d'électricité du Bruxellois. Toutefois, les législations prévoient encore des changements dans les années à venir et pourraient très certainement favoriser la mise en place du compteur bidirectionnel (Comparateur Énergie, 2018).

## 2. Aspects technologiques des solutions de stockage

Après avoir examiné les composantes d'une installation photovoltaïque, il était primordial d'étudier les différentes batteries de stockage existantes. Étant donné que le projet est axé sur les solutions de stockage, il a fallu examiner les différentes alternatives proposées sur le marché. En effet, le terme « stockage d'électricité » peut évoquer des aspects chez certaines personnes et d'autres aspects chez des autres individus. C'est pourquoi les recherches sur Internet étaient utiles pour se renseigner sur les différentes solutions existantes de nos jours.

## i. Différentes solutions de stockage

La première sorte de stockage existante est le **stockage hydraulique**. Le système de Transfert d'Énergie par Pompage, plus connu sous le nom de STEP, est une installation électrique composée de deux réservoirs positionnés à des hauteurs différentes. L'eau est pompée du bassin inférieur vers le bassin supérieur lors d'une faible demande. Inversement, lors d'une demande importante, les stations produisent de l'électricité en appliquant le phénomène de turbinage au bassin supérieur. L'objectif est de pomper l'eau lorsque le prix de l'électricité est faible (lors d'une demande faible) et de la turbiner lorsque celui-ci est élevé. En conséquence, l'intervention du système dans le mix de production d'électricité se fait en fonction du prix de l'électricité. Les installations hydroélectriques ont un bon rendement situé entre 70% et 85% (Connaissances des énergies, 2013).

Un autre type de stockage existe, appelé le **stockage mécanique**, où l'on peut retrouver deux solutions distinctes. Tout d'abord, l'installation par air comprimé consiste à faire un stockage d'énergie par air. L'air sera stocké dans des réservoirs lors d'une faible demande. À l'inverse, lors d'un pic de consommation, l'air comprimé est libéré et passe par une turbine reliée à un alternateur produisant ainsi de l'électricité. Étant donné que la compression de l'air s'accompagne d'un échauffement, ce système présente un rendement moindre.

Ensuite, le volant inertiel, faisant également partie du stockage mécanique, est une masse qui tournera lors d'un apport d'énergie électrique qui se transforme sous forme d'énergie cinétique. Une fois lancé, ce volant ne s'arrête plus. L'électricité peut être restituée en utilisant le moteur ce qui provoque une diminution de la vitesse du volant d'inertie. Ce système présente des problèmes d'autonomie dus aux multiples pertes de charge causées par le phénomène d'autodécharge (smartgrids-cre, s.d.).

La conversion d'électricité en gaz (plus connue sous le nom de *Power to gaz*) fait partie du **stockage chimique**. Le fait de favoriser le renouvelable pourrait nous amener à avoir une production d'énergies renouvelables qui dépasserait la demande, provoquant ainsi un surplus d'électricité verte. Si tel était le cas, la conversion de ces énergies en une autre forme pourrait être utile afin de valoriser l'excédent. Par électrolyse de l'eau, l'électricité issue des sources renouvelables sera convertie en gaz hydrogène qui sera stocké et utilisé sur place ou transporté dans les réseaux de gaz naturel. Ce système peut se conserver plusieurs mois avant une utilisation en permettant différents usages comme le fait de se chauffer ou le fait d'obtenir de l'eau chaude. Étant toujours au stade

de la recherche, cette technologie doit présenter un meilleur rendement, qui n'est que de 40% actuellement, ainsi qu'une amélioration du coût d'investissement (ENGIE, s.d.).

Le **stockage électromagnétique** comprenant le stockage d'énergie magnétique supraconductrice (SMES) inclut l'usage d'une bobine supraconductrice. Cette dernière, faisant référence à une absence de résistance électrique, charge grâce à un courant électrique. Une fois chargée, l'énergie magnétique peut dès lors être stockée indéfiniment. Ce n'est qu'en déchargeant l'anneau que l'énergie sera délivrée au réseau via un onduleur qui transformera le courant alternatif en courant direct. Ce système ne présente seulement que 2 à 3% de pertes d'énergie causées par l'onduleur. Néanmoins, il reste un système très coûteux (electrosun, s.d.).

Les différents stockages vus ci-dessus sont majoritairement destinés à l'industriel. Étant donné que le projet se focalise sur des alternatives consacrées aux particuliers, il est dès lors temps d'introduire le **stockage électrochimique**. Ce dernier type de stockage fait l'objet de différents dispositifs de batteries connus comme les batteries dans les véhicules électriques, les batteries de téléphones ou encore celles permettant aux ménages de consommer leurs propres productions d'électricité en pleine nuit.

Ce type de stockage convertit l'énergie chimique en énergie électrique et nécessite dès lors un accumulateur électrochimique. Cette technologie met en œuvre des réactions chimiques entre deux électrodes, l'une cédant des électrons (anode) et l'autre les recevant (cathode), via un pont salin et des solutions salines que l'on appelle des électrolytes, capables de transporter des électrons. Une tension électrique apparaît due à un matériau d'électrode différent. Son fonctionnement peut se faire via plusieurs types de batteries comme les batteries plomb-acide ou les lithium-ion entre autres (Cognet et Carboni, s.d.).

Bien que la batterie plomb-acide présente une faible densité énergétique<sup>9</sup> d'environ 35 Wh/kg, celle-ci reste la plus utilisée grâce à sa robustesse, sa disponibilité, son faible investissement et son rendement d'environ 70 à 75% (INRS, 2018).

Le lithium, dont le nombre atomique est trois, est composé de trois électrons et de trois protons. Il cède facilement un électron, devenant alors l'ion lithium, d'où son nom. La batterie possède un ou plusieurs accumulateurs munis de deux électrodes.

---

<sup>9</sup> Équivalent à la quantité d'électricité stockée par kg.

Cette batterie se base sur le principe d'un échange de l'ion lithium entre une électrode positive (oxyde de Cobalt avec un peu de Lithium) et une électrode négative (graphite) au sein d'un électrolyte liquide ou solide (substance conductrice). L'anode (électrode négative) émet des électrons passant par le fil conducteur (reliant les deux électrodes) qui seront absorbés par la cathode. Cette réaction électrochimique entre les éléments provoque un courant (Bedin, 2018).

La cellule de lithium sera caractérisée par le voltage correspondant à sa tension électrique (dont l'unité de mesure est le Volt) entre l'anode et la cathode, qui détermine la puissance d'une cellule (= tension nominale de la cellule). Quant à l'Ah, il détermine le courant envoyé par la cellule sur un laps de temps (= capacité nominale de la cellule). À savoir que plus le voltage d'une batterie est élevé, plus la puissance est importante. Dans le même sens, plus l'ampérage de la batterie est supérieur, plus son autonomie est considérable. Du produit de la tension par l'intensité, en découle la capacité de la batterie exprimée en Wh (doctibike, s.d.). Toutes les batteries ont des puissances différentes exprimées en Wh. L'énergie d'une batterie va dépendre de la consommation d'un ménage. Ainsi, une batterie de 7.000Wh pourrait ne pas être suffisante pour un gros producteur consommant plus de 10.000 Wh par jour qui prélèvera donc du réseau à un moment donné.

Lors de la charge de la batterie, les électrons faisant partie de l'électrode positive, passent désormais de la cathode à l'anode via le fil conducteur. Lorsque le passage des ions est fait, la batterie est complètement chargée. Une fois la batterie totalement chargée, son utilisation (la décharge) aura l'effet inverse. Les électrons (ions de Lithium) voyageront dans l'autre sens. Le phénomène d'oxydation des matériaux implique une diminution des performances du dispositif, survenant au fur et à mesure du temps (Bedin, 2018).

Même si la batterie de stockage présente des risques liés à la surchauffe ou à la fuite, son avantage principal reste sa densité énergétique qui se traduit par un excellent rendement allant jusqu'à 98% même si cette technologie peut avoir de conséquences désastreuses dues à une température supérieure à 20°C ou à un environnement humide. La densité énergétique est marquante, car la lithium-ion présente une densité plus importante de 180 Wh/kg (masolise, s.d.).

Bien qu'une batterie lithium polymère (Li-Po) présente des caractéristiques semblables à celles de la lithium-ion, elle est moins dangereuse dans le second cas dû à un électrolyte utilisé qui est à base de gel (masolise, s.d.).

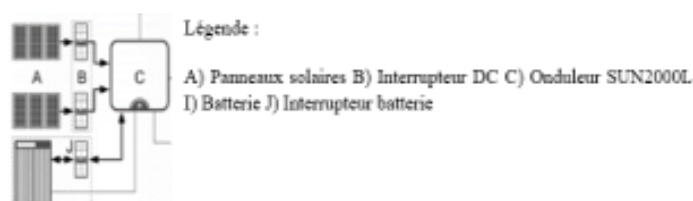
Ensuite, certaines batteries disposent d'une particularité : l'alimentation de secours. En effet, lorsqu'une coupure de courant survient, un onduleur appelé onduleur UPS garantit une alimentation électrique des différents équipements du foyer, variant en

fonction de la puissance de la batterie. Il est important de souligner que toutes les batteries ne possèdent pas cette fonction spéciale (L'Écho, 2019).

Ensuite, tout comme les panneaux photovoltaïques, les batteries de stockage d'électricité nécessitent un onduleur également. Une petite nuance est tout de même à signaler car, dans ce cas-ci, l'onduleur n'exerce pas le même rôle. En effet, comme nous l'avions vu plus haut, l'onduleur photovoltaïque sert à transformer le courant continu provenant des panneaux en courant alternatif, courant nécessaire au bon fonctionnement d'une maison. Nous pourrions penser que les batteries domestiques, fonctionnant en courant continu, n'auraient aucunement besoin d'onduleur. Le fait est que le voltage des panneaux solaires est bien supérieur à celui présent dans les batteries impliquant qu'une liaison directe entre les deux dispositifs n'est généralement pas possible. Par conséquent, un onduleur est tout de même requis pour charger une batterie de stockage (Puglia, 2019).

Néanmoins, il existe plusieurs configurations possibles d'onduleurs avec leurs batteries. En effet, si le voltage n'est pas le même, cela n'implique pas que toutes les sociétés présentent la même configuration de batteries avec leurs onduleurs. C'est pourquoi le tableau ci-dessous reprend les explications des trois configurations existantes. La première configuration se présente comme cela :

#### 1) Première configuration



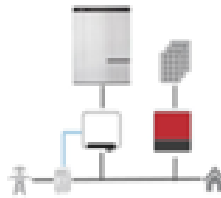
**Figure 7 :** Batterie LG CHEM et son onduleur Huawei

Source : Support Huawei. (2019).

Sur ce schéma ci-dessus provenant du manuel d'installation d' Huawei (2019), les panneaux solaires sont raccordés à l'onduleur pour convertir le courant direct en courant alternatif. L'onduleur relie la batterie aux panneaux solaires. La liaison entre les panneaux solaires et la batterie ne peut pas se faire directement étant donné qu'ils fonctionnent tous deux à des voltages différents. C'est pourquoi les deux systèmes sont

reliés par un onduleur. Tout d'abord, l'onduleur transforme le courant continu en courant alternatif afin d'alimenter tous les appareils du foyer. Ce n'est qu'ensuite, que la batterie domestique se charge. Dans ce cas-ci, la batterie est dite en *haute tension* : seulement un onduleur est suffisant à la configuration et permet d'avoir une tension proche de celle du ménage. De plus, l'installation d'un seul onduleur est plus aisée que le deuxième cas où deux onduleurs distincts sont nécessaires.

## 2) Deuxième configuration



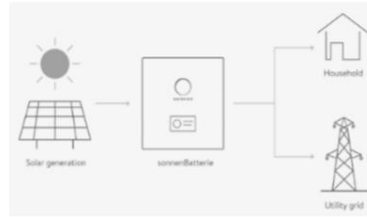
**Figure 8 :** Batterie LG CHEM et son onduleur SMA

**Source:** Communal. (2019). SMA Smart Home Intelligent Energy Management.

En ce qui concerne la gamme SMA, un onduleur (en rouge) est relié aux panneaux et un autre (en blanc) est raccordé à la batterie LGCHEM. Nous voyons donc que pour cette configuration, deux onduleurs distincts sont nécessaires. L'onduleur rouge va permettre de convertir le courant direct en courant alternatif tandis que le blanc va percevoir du courant alternatif et le transformer en courant direct pour alimenter la batterie (Communal, 2019). Cette méthode est plus efficace avec un système de panneaux déjà existant. Même si ce système se révèle un peu moins efficace en raison du fait que le courant est transformé deux fois après chaque sortie, il permet de garder l'onduleur des panneaux. La différence entre le premier cas et celui-ci est que la batterie dans ce cas-ci se trouve être en basse tension. Par conséquent, deux onduleurs sont nécessaires ; le rouge pour convertir le courant continu en courant alternatif et le second (blanc) afin de transformer la haute tension en basse tension (basse tension seulement tolérée par la batterie).



### 3) Troisième configuration



**Figure 9** : Batterie Sonnenbatterie et de son onduleur intégré

Source : Sonnengroup. (2020).

Pour cette troisième configuration, le générateur photovoltaïque est directement relié au système Sonnen, qui est lui-même raccordé au foyer et au réseau. Ce dernier est composé de la batterie et de l'onduleur. D'une part, l'énergie solaire produite passera dans l'onduleur et transformera le courant direct en courant alternatif pour qu'il y ait une utilisation des appareils. D'autre part, quand l'énergie produite n'est pas utilisée, elle est dès lors stockée dans la batterie pour une utilisation ultérieure (durant la nuit par exemple).

Quelle que soit la configuration de la batterie avec son onduleur, cette dernière permettra au foyer de consommer sa propre énergie et d'avoir un taux d'autoconsommation élevé. Le principe du taux d'autoconsommation est abordé au point suivant.

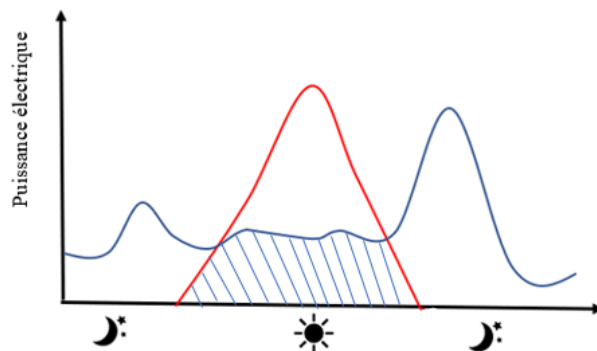
## 3. Taux d'autoconsommation

Un détenteur de panneaux solaires consomme l'énergie produite par ses panneaux. En effet, plus l'énergie produite par les panneaux est consommée par le ménage, plus son taux d'autoconsommation sera élevé. C'est en cela qu'il faut introduire la variable du taux d'autoconsommation.

Il faut également préciser le fait que la consommation d'un même ménage varie d'une saison à l'autre. Elle n'est évidemment pas la même en hiver qu'en été. Lors de la saison d'été, le soleil se couche plus tard, permettant ainsi au ménage de profiter plus de son installation photovoltaïque. C'est pourquoi les courbes qui suivent ne sont pas les mêmes tout au long de l'année, mais représentent un « cas général » qui permettra, par la suite, de comprendre le concept.

De plus, un contraste est à établir entre l'autoconsommation des détenteurs de panneaux (premier cas) et ceux possédant des panneaux ainsi qu'une batterie domestique (second cas). C'est pourquoi deux courbes seront introduites avec des explications liées.

i. Premier cas : particulier possédant des panneaux photovoltaïques



**Figure 10** : *Courbes de consommation et de production d'un particulier en possession de panneaux photovoltaïques*

Tout d'abord, le graphique met en évidence deux axes dont l'axe des abscisses représentant une journée de 24 heures et l'axe des ordonnées, la puissance électrique des panneaux photovoltaïques. Ensuite, deux courbes principales qui sont la courbe rouge de production journalière provenant des panneaux solaires (la cloche) ; et la courbe bleue de consommation quotidienne du ménage.

La production journalière d'électricité dépend de plusieurs facteurs à savoir la puissance de l'installation, le nombre de panneaux installés, l'ensoleillement... Généralement, la puissance produite s'amplifie au fur et à mesure de la matinée jusqu'à atteindre un pic vers le milieu de journée (midi). Elle s'atténue en fin de journée et redescend totalement lorsque le soleil se couche. Pour la courbe de consommation, les pics se situent principalement en début et en fin de journée lorsque le ménage se trouve chez lui. Cependant, cela n'empêche pas une consommation minimum des appareils durant la journée. Même si le ménage ne se trouve pas chez lui durant la journée, les appareils

électroménagers comme le réfrigérateur, le congélateur... fonctionnent en continu représentant la consommation minimum d'un ménage.

La surface au-dessus de la zone hachurée provient de l'absence du ménage qui n'utilise, par conséquent, pas l'électricité produite créant ainsi un surplus photovoltaïque qui sera réinjecté sur le réseau (Truquin, 2017).

Le taux d'autoconsommation est la production des panneaux directement utilisée par le ménage lorsque le soleil est présent. Il est à noter que ce taux, chez un ménage possédant des panneaux, est en moyenne de 30%. La partie hachurée reflète cela et est calculée comme suit :

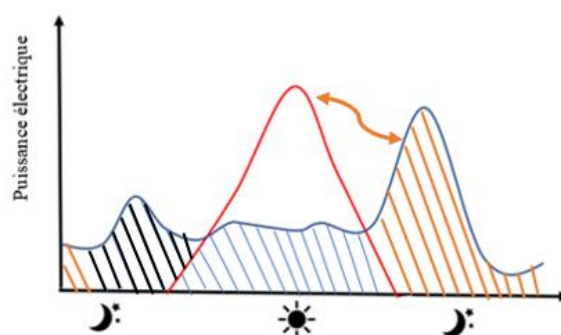
$$\text{Taux d'autoconsommation} = \frac{\text{Production utilisée (partie jaune)}}{\text{Production totale (parties jaune et orange)}}$$

Par ailleurs, les zones blanches en-dessous de la courbe bleue représentent l'énergie directement prélevée du réseau, car le ménage ne bénéficie pas de l'une production constante de ses panneaux photovoltaïques étant donné que l'énergie solaire est intermittente.

Le taux d'autoconsommation pourrait cependant être revu à la hausse en mettant à disposition du ménage, des systèmes afin que ce dernier prélève moins du réseau. De nombreuses solutions sont sur le marché et permettent d'optimiser ce taux d'autoconsommation comme le boiler thermodynamique ou encore la batterie domestique qui est le sujet du point suivant (Puglia, 2019).

## ii. Second cas : particulier possédant des panneaux photovoltaïques et une batterie domestique

La tendance est différente pour un ménage possédant des panneaux et une batterie domestique. Une batterie domestique influence d'une toute autre manière le taux d'autoconsommation d'un ménage. En effet, la manière dont l'énergie consommée par le ménage dans le deuxième cas de figure est tout à fait différente.



**Figure 11** : Courbes de consommation et de production d'un particulier en possession de panneaux et d'une batterie domestique

Comme vu sur la courbe d'autoconsommation précédente, le principe général reste le même. Les panneaux produisent de l'électricité permettant aux ménages d'autoconsommer davantage leurs propres productions. À un moment, la quantité produite d'électricité sera supérieure à la consommation faite.

Ensuite, le producteur confronté à un surplus d'électricité verte (représenté par la zone non hachurée en-dessous de la cloche) a la possibilité de s'équiper d'une batterie de stockage d'électricité dans laquelle il stockera l'électricité en trop, non consommée directement.

En effet, en se munissant d'une batterie de stockage, le ménage gagnera ainsi en autonomie. Rappelons-le, l'énergie solaire est intermittente empêchant ainsi une production continue de cette source. Ainsi, pendant la nuit, la production provenant des panneaux est nulle. En temps normal, le producteur aurait alors recours au réseau de distribution afin de s'alimenter en électricité. Toutefois, dans ce cas présent, la batterie lui permettra de stocker le surplus d'électricité verte afin de l'utiliser pendant la nuit. La zone hachurée en orange, provenant du surplus de production (zone non hachurée de la cloche), représente la production photovoltaïque stockée et utilisée pendant la nuit. Ensuite, après avoir utilisé toute l'énergie dans la batterie, le ménage puisera sur le réseau (zone hachurée en noir) afin de combler ses besoins en électricité.

Grâce à la mise à disposition d'une batterie de stockage, le ménage sera plus indépendant du réseau que dans le premier cas. Ainsi, le taux d'autoconsommation tournera aux alentours des 65 à 70% représentant une hausse de plus de 30% en comparaison avec le particulier qui était seulement détenteur de panneaux.

En fonction de plusieurs facteurs (comme la capacité de la batterie par exemple), la batterie de stockage permettra l'alimentation du ménage pendant un certain temps.

Ensuite, le réseau (zone hachurée en noir) prendra le relais jusqu'au lever du soleil (ne permettant pas d'atteindre les 100% d'autoconsommation). À partir du moment où le soleil se lève, le ménage consomme directement sa propre électricité produite (autoconsommation), comme nous l'avons vu précédemment (zone hachurée en bleu) (Terresolaire, 2018). Nous verrons dans *l'analyse économique* que l'objet de ce point (à savoir le *taux d'autoconsommation*) aura un impact sur la rentabilité de la batterie de stockage.

Jusqu'ici, le projet consistait à faire beaucoup de recherches concernant l'environnement auquel est rattachée l'entreprise qui était l'objectif premier. La revue littéraire vue plus haut sera appliquée à l'entreprise et l'industrie photovoltaïque dans le chapitre suivant.

Ensuite, il a fallu examiner et comprendre tous les dispositifs comme le photovoltaïque et les différentes solutions de stockage pour ainsi comprendre les différents aspects existants chez les potentiels partenaires d'Energreen.

# Chapitre 3

## Apports pratiques

Dans le présent chapitre, la mise en œuvre du projet sera expliquée. Premièrement, une étude bibliographique sera établie. En effet, il est primordial pour certaines entreprises d'analyser l'environnement qui les entoure afin d'en connaître la concurrence entre autres. Étant donné l'essor du renouvelable ces dernières années, il pourrait dès lors être intéressant de savoir si le secteur présente de réelles menaces aux nouvelles entreprises qui aimeraient faire leur entrée. C'est en cela que l'explication de la matrice de Porter ainsi que l'hexagone sectoriel seront d'une grande aide afin de comprendre le cas d'Energreen qui suivra. Elles mèneront à la compréhension et à l'adoption ou non d'une stratégie de croissance pour l'organisation.

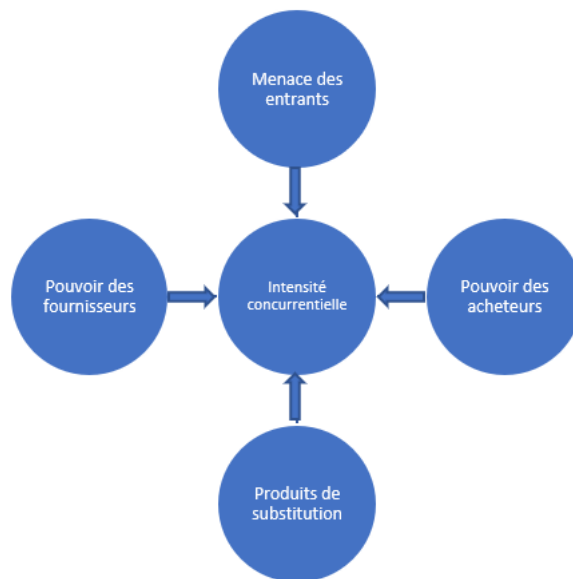
Ensuite, le second point relatif au stockage se penchera sur la recherche des différents fournisseurs ainsi que la manière de faire. Les différentes étapes afin de trouver la meilleure batterie pour Energreen seront exposées et détaillées au fur et à mesure de ce chapitre.

Enfin, les analyses économiques concernant les batteries domestiques suivront pour avoir une idée de la rentabilité du profil type dans les trois régions belges. En se basant sur de la théorie, la rentabilité de la batterie domestique sera détaillée en fonction des différentes législations. La méthodologie utilisée pour la mise en œuvre du projet sera abordée de manière plus approfondie au fur et à mesure de ce troisième chapitre.

### 1. Stratégie de l'entreprise

#### a. Revue littéraire : analyse concurrentielle

Pour toute organisation, il est important d'identifier son avantage concurrentiel, puisqu'il s'agit de ce qui différencie cette dernière par rapport à ses concurrents. Afin de déterminer cela, il faut analyser l'environnement de l'entreprise. Pour cela, Michaël Porter a recensé cinq forces de la concurrence, à savoir la menace des entrants potentiels, le pouvoir de négociations des acheteurs et celui des fournisseurs, la menace des produits ou services substituables. Ces dernières auront toutes un impact sur la cinquième force : l'intensité concurrentielle. Ces cinq forces vont permettre la compréhension de la *structure* de l'industrie (Johnson, 2017, p. 65).



**Figure 12** : Les 5 forces de Porter

Premièrement, plus une industrie est attrayante, plus les barrières à l'entrée seront fortes réduisant ainsi la menace de nouveaux concurrents. Les nouveaux entrants auront plus de mal à surmonter les obstacles à l'entrée s'ils veulent être compétitifs. Cette force dépend des barrières à l'entrée qui sont de trois types, à savoir les barrières financières, commerciales et celles des ressources et compétences. Quelques exemples de barrières d'entrée sont les économies d'échelle ou le manque de compétences dû à un manque d'expérience par exemple.

En ce qui concerne le pouvoir de négociation des acheteurs, ces derniers sont les acheteurs directs et pas nécessairement les consommateurs ou les utilisateurs du produit/ service. Ceux-ci seront puissants à partir du moment où ils exigeront des prix bas ou des améliorations coûteuses de produits/ services. Il existe plusieurs cas de figure où le pouvoir de négociation des acheteurs sera élevé :

- La concentration des acheteurs : cela vaut pour certains cas où des gros clients représentent la majorité des ventes et où le pouvoir d'achat est élevé. Lorsque le produit ou service représente un certain pourcentage élevé des achats des acheteurs, le pouvoir de négociation de ces derniers suit la même tendance étant donné qu'ils seront plus susceptibles d'avoir une influence sur les fournisseurs afin d'obtenir les meilleurs prix.
- Coûts de transfert faibles : lorsque l'acheteur peut facilement changer de fournisseur sans subir des coûts conséquents alors leur pouvoir de négociation est

solide. Ces coûts sont généralement plus faibles dans le cas de produits standardisés ou indifférenciés (Johnson, 2017, p. 68).

Les fournisseurs sont indispensables pour fournir à l'organisation ce dont elle a besoin pour produire un produit ou service, comme les matières premières, les équipements divers ou encore la main d'œuvre... Plusieurs cas de figure existent permettant aux fournisseurs d'avoir un grand pouvoir de négociation tel que :

- La concentration des fournisseurs : quelques producteurs pourraient imposer leurs prix et leurs procédures de vente ce qui les rendrait plus puissants.
- Les coûts de transfert élevés : il peut être coûteux, pour un acheteur, de passer à un autre fournisseur, car les procédés de fabrication pourraient être très dépendants d'une seule technologie...
- Les produits différenciés : le pouvoir de négociation de la part des fournisseurs est élevé lorsque les produits sont différenciés. De plus, s'il n'existe pas de substituts aux produits, le pouvoir sera d'autant plus élevé (Johnson, 2017, p. 69).

Ensuite vient la menace des produits et services substituables. Les substituts offrent un avantage similaire aux clients, mais n'ont pas la même nature. Par exemple, une tablette d'ordinateur remplit les mêmes fonctions de base qu'un ordinateur portable... Principalement, les entreprises se focalisent beaucoup sur la concurrence directe et pas assez sur les menaces et contraintes provenant un plus loin dans l'industrie (celles posées par les substituts entre autres). Cependant, les coûts de transfert sont à prendre en compte. Plus ces derniers seront faibles, plus la menace augmentera et moins l'industrie dans laquelle l'entreprise se trouve, sera attractive (Johnson, 2017, p. 66).

Comme nous pouvons l'apercevoir sur la *figure 12*, tous les facteurs cités ci-dessus ont un impact direct sur l'intensité concurrentielle (impliquant la concurrence directe) étant la cinquième force de Porter. Ainsi, au centre de cette analyse, se trouve donc la cinquième force : les concurrents directs de l'industrie. Ces derniers visent le même groupe de clients en proposant des produits/ services similaires. Par exemple, lorsque les concurrents ont des tailles à peu près équivalentes, l'un d'eux essaiera de dominer les autres et interviendra sur le prix en les diminuant. Les coûts fixes élevés sont un autre facteur nécessitant des investissements colossaux de la part des industries. De plus, les concurrents en forte position de rivalité, peuvent jouer sur le prix (Johnson, 2017, p. 65).

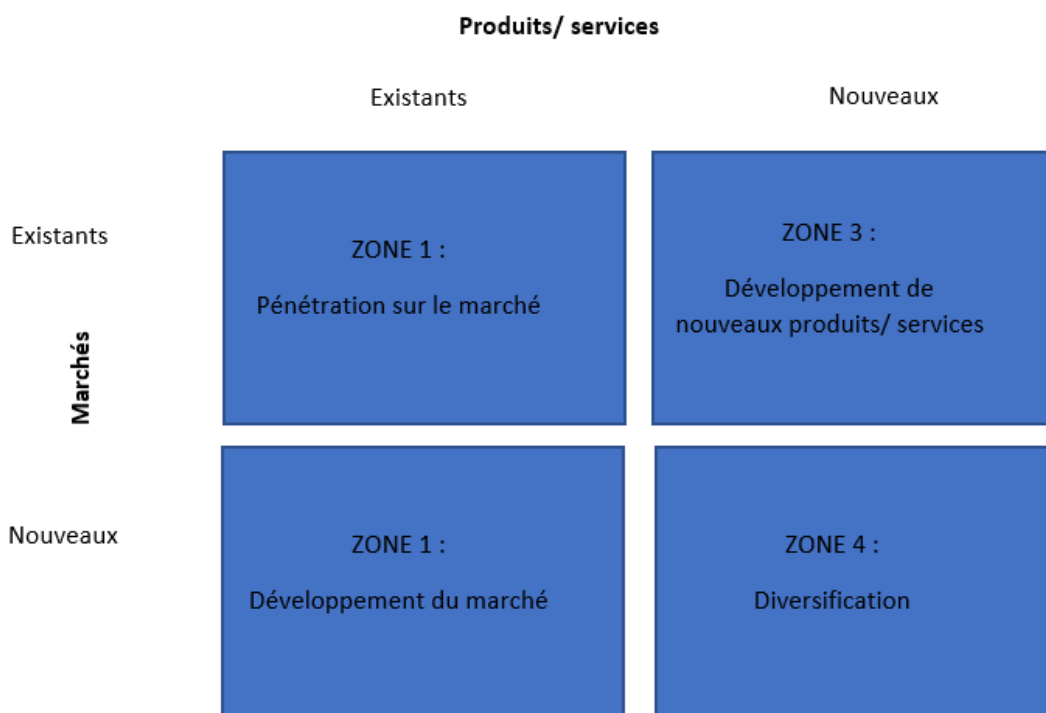
Chacune des forces contribue à la structure concurrentielle d'une industrie. À noter que plus l'intensité de ces forces est élevée et moins l'industrie sera attrayante pour les entreprises qui voudraient faire leur entrée sur le marché. De plus, ce modèle doit être utilisé au niveau d'un « domaine d'activité stratégique ». En effet, si l'on prend une organisation dans son ensemble, elle peut être subdivisée en plusieurs domaines



d'activité stratégiques. Un domaine d'activité stratégique comprend les mêmes ressources, les mêmes concurrents et une stratégie similaire (Johnson, 2017, p. 65).

Sur base des cinq forces de Porter, un graphe nommé l'hexagone sectoriel peut être construit. Celui-ci permet d'avoir une représentation visuelle claire quant à l'attractivité de l'industrie. En effet, ce radar permet de hiérarchiser les forces de Porter en lui donnant un certain aspect dynamique. L'hexagone sectoriel de l'industrie photovoltaïque dans laquelle se situe l'entreprise Energreen ainsi que les différentes forces de Porter apparaîtront plus tard (cfr. infra p. 55) (Johnson, 2017, p. 80).

Après avoir analysé l'environnement concurrentiel, l'entreprise a la possibilité d'établir ou non une stratégie de croissance selon l'attractivité de l'industrie. Si l'organisation décide de mettre sur pied une stratégie de développement, la matrice d'Ansoff permet dès lors une compréhension des différentes stratégies possibles à entrevoir. Cette matrice repose sur quatre zones donnant la possibilité à une entreprise de croître.



**Figure 13 :** *Matrice d'Ansoff*

Pour commencer, une entreprise fait généralement sa première apparition dans la première zone en pénétrant sur le marché. Ensuite, l'organisation fera le choix soit de renforcer sa pénétration dans le marché avec la même offre en restant dans la zone

initiale, soit de se diversifier en choisissant d'aller vers de nouveaux marchés ou encore, en lançant de nouveaux produits.

Lors de sa pénétration dans le marché, une entreprise peut renforcer son offre sur le marché déjà existant empêchant ainsi l'entreprise d'aller vers des territoires inconnus (zone 2). Cela permet à l'entreprise d'accroître sa part de marché tout en renforçant son pouvoir de négociation avec ses fournisseurs et acheteurs actuels. De ce fait, l'organisation acquiert de l'expérience. Cependant, cela ne va pas sans contraintes. En effet, cette zone peut avoir une influence sur l'une des forces de Porter qui est l'intensité concurrentielle. Le fait qu'une entreprise veuille renforcer sa position et que la rivalité soit accrue peut impliquer une guerre de prix entre les entreprises, qui seraient au final plus coûteuses que les parts de marché que l'entreprise pourrait gagner (Johnson, 2017, p.245).

Vient ensuite le développement de nouveaux produits et services impliquant la proposition d'une toute nouvelle offre sur un marché déjà existant (zone 3). Les technologies utilisées pour les produits et services sont différentes tandis que le public visé reste toujours le même. Cela s'avère être un problème pour une nouvelle entreprise si les technologies utilisées ne leur sont pas familières. Des investissements colossaux sont à prévoir afin de proposer une nouvelle offre. De plus, le développement de nouveaux produits et services pourrait également mener à des délais et des coûts imprévus. Les coûts et les risques liés au développement de nouveaux produits peuvent être néanmoins repoussants pour une entreprise voulant se lancer sur ces nouveaux créneaux (Johnson, 2017, p.247).

Finalement, la dernière zone concerne la diversification consistant en un engagement de l'entreprise sur de nouveaux domaines d'activité stratégiques lui permettant de découvrir de nouveaux marchés et d'offrir de nouveaux produits/ services (zone 4). Dans ce cas, le terme à utiliser est celui de diversification conglomerale et concerne la modification de l'activité de base de l'entreprise. Cela ne veut pas pour autant dire que le changement est radical. Cependant, de nouvelles ressources et compétences seront dans tous les cas à envisager afin de diversifier de manière optimale. Cette partie est le développement le plus radical qu'une entreprise puisse connaître (Johnson, 2017, p.248).

Beaucoup d'entreprises appliquent la « diversification », car cela peut être intéressant pour les propres intérêts des managers. Différentes recherches ont été menées afin d'observer si une entreprise diversifiée performe mieux. Il a été constaté que les performances sont supérieures pour les entreprises adoptant une diversification liée (développer de nouvelles activités ayant un lien avec les activités présentes de l'entreprise) qu'une diversification conglomerale. Autrement dit, la performance d'une

entreprise (sa rentabilité) augmente lorsque l'entreprise diversifie ses activités. Il ne faut pas oublier que ce constat n'est pas vrai dans tous les cas. En effet, certaines entreprises présentant une diversification liée pourraient échouer et inversement, certaines organisations qui adopteraient la diversification conglomerale pourraient avoir beaucoup de succès. Bien entendu, la capacité à gérer cette diversification a également un impact important (Johnson, 2017, p.252).

En effet, sur base de cette revue littéraire, nous verrons s'il est bel et bien judicieux pour Energreen d'établir une stratégie de croissance pour l'élargissement de sa gamme de produits.

## b. Stratégie de croissance dans le cas d'Energreen

Comme vu ci-dessus, la théorie concernant les différentes forces de Porter a été abordée. En effet, pour croître, une entreprise a besoin d'établir des stratégies. Premièrement, il a fallu identifier les cinq forces de Porter de l'entreprise pour son activité principale à savoir l'installation de panneaux photovoltaïques.

Pour rappel, l'intensité concurrentielle désigne tous les concurrents directs qui offrent des produits ou services similaires à une cible équivalente. Dans ce cas présent, pas mal d'installateurs ont commencé leurs activités avant ou en même temps qu'Energreen ce qui a permis le développement du marché belge photovoltaïque. Aujourd'hui, il existe plus d'une trentaine d'installateurs de panneaux (en ce compris des indépendants) en Belgique, dont deux qui fabriquent eux-mêmes leurs panneaux solaires (Duchemin, 2020).

Cependant, l'intensité concurrentielle ne constitue pas la seule condition pour avoir une idée de l'avantage concurrentiel d'une organisation. La menace des entrants potentiels est un autre aspect à analyser. Dans le cas présent, la technologie du photovoltaïque est très développée depuis un bon nombre d'années grâce aux différents services proposés à travers le pays. Étant donné l'essor du renouvelable ces deux dernières décennies (surtout pour le solaire et l'éolien), cela en fait un marché attractif aux yeux des entrants potentiels. Sur le plan national, les indépendants font de plus en plus leur apparition alors que les entreprises comme décrites dans le point *concurrence* (cfr. supra p. 25) sont apparues sur le marché lorsque le renouvelable prenait plus d'ampleur, dès le début des années 2010. Malgré le développement de ces organisations, il ne faut pas perdre de vue qu'un manque d'expérience, d'expertise et de compétences sera un frein à l'entrée pour les entrants potentiels.

Ensuite, une autre force de Porter est la menace des produits de substitution. Les énergies renouvelables se trouvent être principalement en concurrence avec les énergies traditionnelles composées des combustibles fossiles (gaz, charbon, pétrole) et de l'énergie nucléaire. Néanmoins, comme vu plus haut, les coûts d'installation d'une installation photovoltaïque s'avèrent être de moins en moins élevés d'année en année jusqu'à atteindre une parité réseau où le coût au kWh produit par l'habitation est égal au coût du kWh acheté sur le réseau provenant majoritairement des sources d'origine fossile ou du nucléaire (cfr. supra p.22). De plus, des objectifs de réduction des émissions de CO<sub>2</sub> ont été établis ; ce qui aura pour but de favoriser l'utilisation des sources d'origine renouvelable. Toutefois, il reste plus difficile aux énergies de type renouvelable de dominer le mix énergétique belge lorsque le nucléaire et les énergies fossiles s'imposent grandement en contribuant ensemble à 74,4% de la production d'électricité en Belgique (cfr. supra p.8). Pour rappel, les objectifs fixés par la Commission attestent que les États membres doivent adopter plus de renouvelables dans leur mix énergétique. Le photovoltaïque se retrouve cependant également confronté aux autres énergies renouvelables comme l'éolien, le solaire thermique ou encore l'hydraulique.

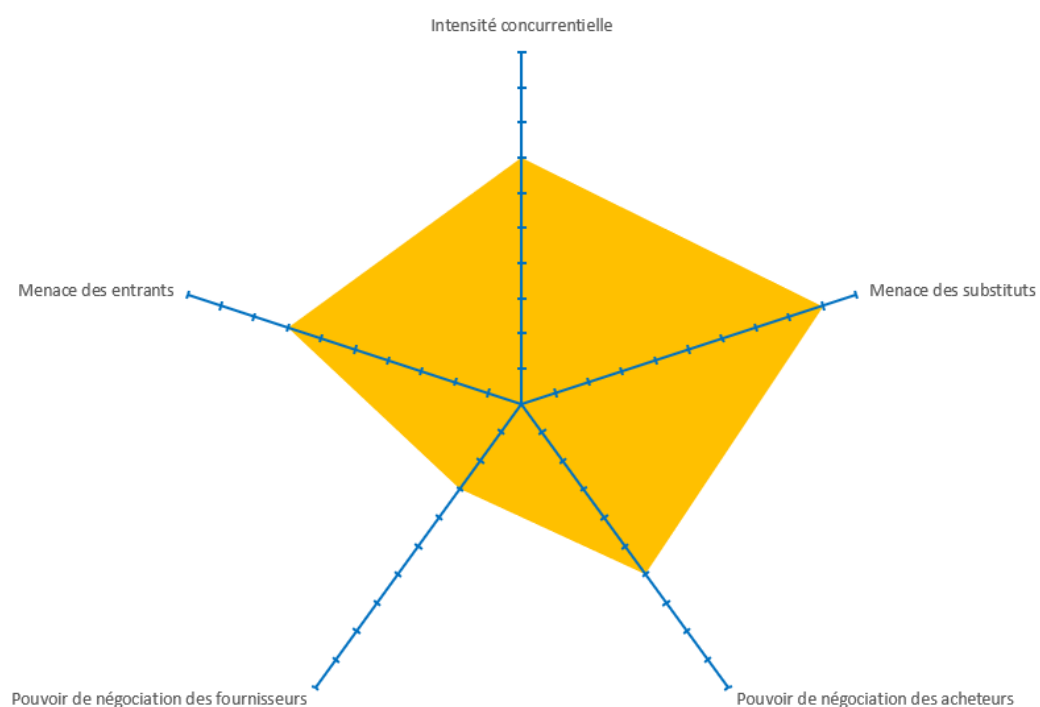
En plus d'être un système très peu rentable, l'éolienne domestique possède un très faible rendement en raison des technologies non abouties et du manque d'expertise technique (contrairement aux entreprises se chargeant des grandes éoliennes) (Haveaux et al., 2018). Concernant le solaire thermique reprenant les chauffe-eau solaires par exemple, la majorité des entreprises propose ce type d'installations à côté des panneaux solaires tout comme Energreen. Pour ce qui est de l'énergie hydraulique, elle intervient principalement dans les installations de type industriel. En conséquence, le poids de cette force est plutôt élevé étant donné qu'il existe de nombreux substituts à l'énergie solaire.

En ce qui concerne le pouvoir de négociation des acheteurs, ces derniers sont puissants dès le moment où ils exigent des prix bas ou des améliorations coûteuses de produits/services. Dans ce cas-ci, le client a plusieurs offres similaires à sa disposition. Ce dernier peut donc décider de se diriger vers un autre prestataire de services s'il le souhaite et le coût de commutation (coût engendré après avoir changé de prestataire de service) sera faible. Nous pouvons ainsi comprendre que le pouvoir du consommateur est plutôt élevé du fait qu'il ait une multitude d'offres à sa disposition.

Pour ce qui est des fournisseurs, des modules (ou panneaux) photovoltaïques belges tels que Solartech ou encore Evocells existent sur le marché. Cependant, les entreprises installant le photovoltaïque préféreront se tourner vers les fabricants chinois par

manque d'expertise, mais également, car le coût de fabrication des cellules est assez élevé. Mis à part la Chine, les fabricants principaux sont d'origine américaine et japonaise. Le pouvoir de négociation des fournisseurs est particulièrement bas en raison de la grande diversité qu'offrent les entreprises. Dans le cas contraire, s'ils fournissaient une technologie unique, leur pouvoir serait beaucoup plus élevé (Duchemin, 2020).

Après avoir établi toutes les forces de Porter, il convient de les hiérarchiser afin de déterminer les éléments stratégiques à maîtriser pour une entreprise qui aimerait obtenir un avantage concurrentiel. L'hexagone sectoriel permet de hiérarchiser les forces de Porter en donnant un certain dynamisme. Afin de visualiser au mieux les forces, reprenons l'hexagone avec une échelle allant du plus faible (le point d'intersection des axes) au plus fort. Un hexagone dont la surface est moindre rend l'industrie attractive aux yeux d'une entreprise qui aimerait faire son entrée dans celle-ci. Par conséquent, le potentiel de profit est important lorsque la zone est plus étroite. À l'inverse, une surface plus imposante laisse envisager une situation concurrentielle difficile de l'industrie. Cependant, il n'est pas à exclure que les forces évolueront au cours du temps.



**Figure 14 :** *Analyse de la dynamique de l'industrie photovoltaïque via l'hexagone*

La situation dynamique actuelle du radar nous permet de comprendre que la menace des entrants potentiels et l'intensité concurrentielle sont élevées. La menace des produits substitués est encore plus élevée contrairement au pouvoir de négociation des fournisseurs et de ceux des acheteurs. Un tel radar impliquerait que l'industrie en question est attractive aux yeux des entrants potentiels, mais qu'il existe pas mal de barrières à son entrée, rendant sa prospérité compliquée étant donné que l'entrant aura du mal à se faire une place à cause de son manque de compétences par exemple.

Sur base de cela, l'entreprise a la possibilité d'établir ou non une stratégie de croissance selon l'attractivité de l'industrie. Via la matrice d'Ansoff, le développement de nouveaux produits pourrait, entre autres, permettre à l'entreprise de connaître une expansion. C'est pourquoi il est intéressant pour la société d'appliquer ce qu'il y a dans la matrice d'Ansoff à savoir le développement de nouveaux produits connexes à la vente de panneaux photovoltaïques afin qu'Energreen connaisse une croissance plus marquante (cfr. supra p.53). En effet, sur le marché déjà existant, l'innovation et le développement de nouveaux produits permettront aux clients résidentiels de bénéficier d'une indépendance plus élevée à l'égard du réseau que s'ils ne disposaient que de panneaux photovoltaïques.

Si l'on établissait un hexagone sectoriel pour les batteries de stockage d'électricité, nous remarquerions que les forces de Porter pour ce domaine d'activité stratégique (différent des panneaux étant donné que les technologies utilisées sont différentes) sont encore faibles en comparaison avec celui vu ci-dessus. Cependant, en développant ce nouveau produit, cela pourrait suivre la même tendance que celle des panneaux photovoltaïques.

Après avoir constaté un potentiel pour l'extension de la gamme de produits d'Energreen, il a fallu entrer en contact avec des entreprises qui pourraient devenir des partenaires fiables pour la société. Ainsi, la section ci-dessous abordera les choix stratégiques, en ce compris, toute la recherche faite en amont afin de trouver les possibles fournisseurs et leurs différentes batteries.

## 2. Choix stratégiques

Cette partie est constituée de deux points. Premièrement, il a fallu faire toute une analyse concernant les potentiels partenaires de l'entreprise. Après avoir choisi le partenaire idéal pour l'entreprise en fonction des critères qui seront expliqués ci-après, deux batteries (plus précisément une seule batterie avec deux puissances différentes)

ont été sélectionnées pour l'élargissement de la gamme. Le deuxième point reprend donc tous les éléments de la batterie sélectionnée.

## A. Recherche de fournisseurs de batteries de stockage

Durant le stage, plusieurs recherches ont été effectuées afin d'élargir la gamme de produits que propose actuellement Energreen. Pour cela, j'ai reçu quelques folders et beaucoup d'informations à propos des partenaires actuels d'Energreen comme Krannich Solar ou encore IBC Solar qui sont des grossistes proposant plusieurs marques distinctes. D'autres potentiels partenaires ont fait leur apparition comme Solarwatt ou encore Sonnen qui ne distribuent que des batteries de leurs marques.

Après avoir récolté beaucoup de données, un tableau qui peut être retrouvé en *ANNEXE 4 (Contacts fournisseurs)* a été créé, reprenant les différents fournisseurs existants sur le marché. Concernant les mails et numéros de ces derniers, ils n'apparaissent pas, car Energreen préfère ne pas divulguer les informations à caractère personnel suite au Règlement Général sur la Protection des Données (RGPD) mis en place dans la société.

Ensuite, un premier fichier Excel a été établi. Celui-ci est constitué des différents types de batteries disponibles chez les fournisseurs avec tous les types de batteries existants et leurs caractéristiques. Voici une ligne du tableau en question pour en avoir un meilleur aperçu :

**Tableau 8 :** Exemple de la batterie LG CHEM RESU 13 et de ses caractéristiques

Marque	Type	Voltage	Puissance (kWh)	Onduleur compatible	Prix d'achat	Alimentation de secours	Disponibilité	Poids	Garantie
LG CHEM	RESU 13	51,8 V	13,1	SMA Sunny Island 4.4/6.0	4.569,60€	/	En stock	98,5 kg	10 ans

Voici l'une des batteries faisant partie de la liste. Pour ce cas-ci, il s'agit de la batterie de la marque *LG CHEM*. La deuxième colonne représente l'un des modèles de la marque à savoir la *RESU 13*. Celle-ci a la particularité d'avoir une puissance de 13 kWh qui permettra au ménage de stocker 13 kWh d'électricité. Au contraire, la RESU 10 stockera moins, à savoir 10 kWh. Dans le chapitre premier (cfr. supra p. 12), nous avons vu que le profil type consommait 13 kWh durant les journées en hiver et presque 11 kWh durant

l'été. La batterie, prise en exemple dans le tableau, permettrait donc de subvenir aux besoins du profil type durant une journée entière d'hiver.

Ensuite, le voltage de la batterie permet de connaître la nécessité d'utiliser un ou deux onduleurs comme nous l'avons vu dans les différentes configurations un peu plus haut (cfr. supra pp. 41-43). Dans ce cas-ci, le voltage de cette batterie est quasi de 52 V (étant une basse tension) permettant de comprendre la nécessité de deux onduleurs distincts et donc la compatibilité avec les onduleurs SMA Sunny Island entre autres.

Pour rappel, les batteries de stockage fonctionnent toutes en courant continu. Cependant, cela ne les empêche pas d'être équipées d'un onduleur tout comme les panneaux photovoltaïques. Si la batterie fonctionnait en haute tension, un onduleur aurait suffi contrairement à ce qui est requis pour la LG CHEM RESU 13. Les différents techniciens doivent être au courant de cela afin que l'installation se fasse de manière optimale. Dans ce cas-ci, les onduleurs de batterie peuvent être reliés à un réseau monophasé ou triphasé, contrairement à d'autres onduleurs vendus sur le marché qui seront plutôt adaptés à un réseau plutôt qu'un autre.

Lors de la recherche, la batterie était bien disponible chez l'un des fournisseurs d'équipements à savoir Krannich Solar et le prix d'achat s'élevait à 4.569,60€ contrairement à IBC Solar par exemple qui la vendait plus cher. De plus, la garantie du fabricant pour ce système était de 10 ans.

Comme nous l'avons vu, certains dispositifs ont une option « alimentation de secours » permettant au ménage de bénéficier d'électricité lors d'une coupure de courant (cfr. supra p.41). Cependant, cette option n'est pas valable pour la majorité des batteries, car elle se révèle être beaucoup trop chère. Dans l'idée de choisir la meilleure batterie à la vente pour Energreen, il a fallu faire une présélection à la suite de l'élaboration de ce tableau Excel. Pour cela, différentes réunions ont été organisées à ce sujet.

Dans ce tableau Excel, certains systèmes avaient une puissance dépassant les 15 kWh. Au contraire, d'autres présentaient une puissance d'environ 3 kWh. L'objectif d'Energreen n'était pas non plus de mettre en vente une gamme de batteries avec tout le panel de puissances existantes, mais seulement d'en garder une ou deux qui puissent subvenir aux besoins d'un ménage moyen.

Après avoir dressé le tableau avec les différentes batteries présentes sur le marché et être entrée en contact avec quelques fournisseurs, il est apparu que certains d'entre eux comme VARTA, PowerVAULT ou encore SENECHome étaient indisponibles, ce qui a réduit le nombre de partenaires potentiels. De plus, certains dispositifs relevaient essentiellement de nouvelles technologies utilisées, comme la batterie de stockage d'électricité à l'eau salée de chez Greenrock. Il était plus sûr pour Energreen de se diriger



vers une entreprise vendant des batteries lithium-ion, car elles avaient déjà été concluantes auparavant sur le marché.

Ensuite, d'autres batteries telles que celles de la marque Solarwatt ont également été supprimées de la première liste. En effet, contrairement aux marques comme LG CHEM, les batteries de la gamme Solarwatt privilégiaient plutôt un réseau monophasé selon certains modèles, « discriminant » ainsi les ménages disposant d'un réseau triphasé chez eux. Comme l'objectif d'Energreen était de donner la possibilité de disposer d'une batterie à l'entière satisfaction de sa clientèle, il paraissait dès lors plus judicieux de proposer une batterie qui puisse satisfaire un maximum de besoins.

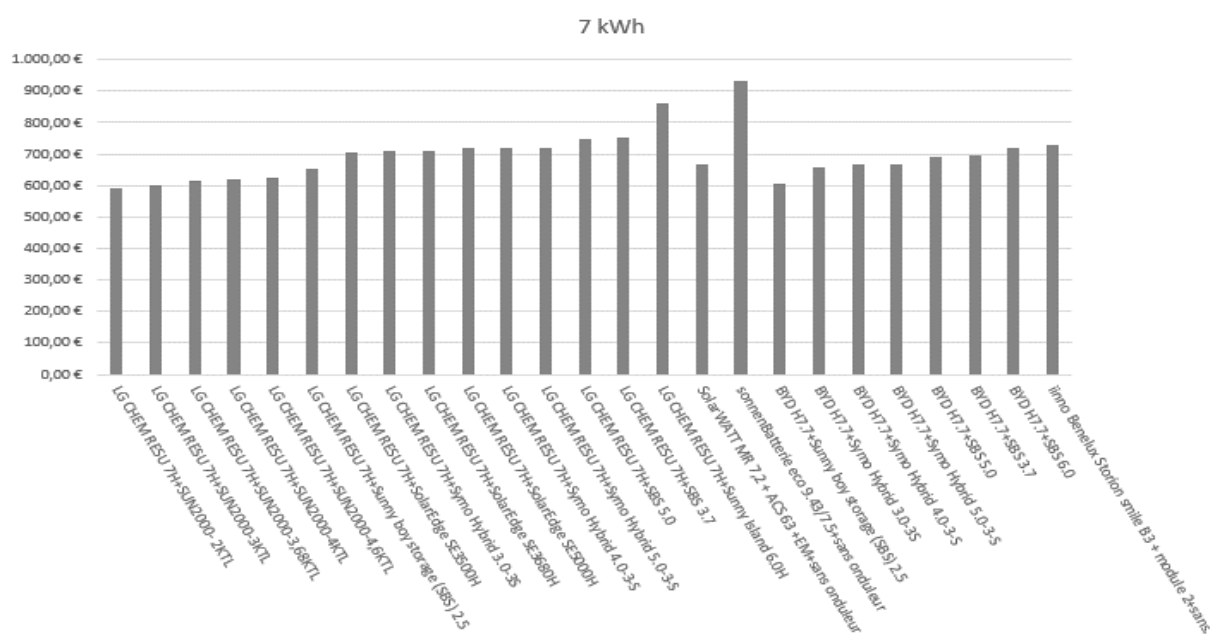
Sur base de toutes ces données, un nouveau tableau Excel a été créé où les batteries sélectionnées apparaissent, reprenant ainsi le prix d'achat de chaque combinaison. Néanmoins, pour ce fichier, les colonnes étaient quelque peu différentes du premier fichier. Comme le tableau précédent, les différents modèles de batteries étaient exposés avec leurs onduleurs compatibles. Mais cette fois-ci, les prix totaux étaient calculés, comme suit :

**Tableau 9** : Ligne du second fichier Excel reprenant les batteries avec leurs coûts totaux (prix d'achat)

Marque batterie	Marque onduleur	Configuration	Prix d'achat de la batterie	Prix d'achat de l'onduleur	Matériel (prix d'achat)	Main-d'œuvre	Prix total	Puissance	Prix par kWh stocké
LG CHEM RESU 13	Sunny Island 6.0H	LG CHEM RESU 13 + Sunny Island 6.0H	4.569,60€	2.161,32€	40€	472€	7.242,92€	13,1 kWh	552,89€

Sont compris dans le *prix total d'achat*, le prix de la batterie et de son onduleur, le prix du câblage estimé à 40€ par les équipes techniques. De plus, le prix de la main-d'œuvre est estimé à presque 500€. Dans ce cas-ci, l'entreprise a estimé, sur base des installations de batteries faites auparavant (en 2016), que la main-d'œuvre serait constituée de quatre techniciens qui feraient cela en deux heures. De plus, le prix par heure s'élève à 59€ ce qui correspond ainsi aux 472€ repris ci-dessus. Cependant, certains ouvriers pourraient avoir besoin de cinq heures pour la pose d'une batterie. Ces différents prix dépendent donc des différents chantiers test ayant eu lieu plus tard dans la gestion de projet. C'est pourquoi il s'agit ici d'estimations qui pourraient être revues à la baisse ou à la hausse en fonction de ce qui se passe réellement sur le chantier.

Le but d’avoir le prix total était de le diviser par la puissance de la batterie afin d’obtenir le prix par kWh stocké dans chacune des configurations. Cela servait notamment à savoir quelle batterie était la plus onéreuse par kWh stocké.



Ci-dessus, nous pouvons distinguer les différents prix oscillant entre un peu moins de 600€ et plus de 900€ le kWh stocké. La *LG CHEM* accompagnée de son onduleur *Huawei* reste la moins chère tandis que la plus onéreuse est la batterie de la marque *Sonnen*. De plus, si l'on fait une comparaison avec une Tesla de 7 kWh par exemple (qui n'avait pas du tout été sélectionnée en raison des expériences passées de l'entreprise avec cette

batterie), on se rend vite compte que pour un coût avoisinant les 10.000€, le prix au kWh stocké revient à environ 1.500€, ce qui se révèle être approximativement le triple de la *LG CHEM*.

Après avoir terminé ce tableau, des choix ont dû être pris sur base des réunions organisées avec les nombreux fournisseurs et les différents départements de l'entreprise. La batterie sélectionnée apparaît dans le point suivant.

## B. Batterie sélectionnée

Après le déroulement des dernières réunions et l'établissement du choix stratégique final, les batteries *LG CHEM RESU 7H* et *10H* ont finalement été sélectionnées avec l'onduleur *Huawei SUN2000L*. Premièrement, le prix au kWh fut l'un des plus abordables comme remarqué ci-dessus. Ensuite, le critère n'ayant laissé personne indifférent fut la formation des techniciens. Effectivement, il n'est pas possible pour les équipes d'installer une batterie sans avoir reçu une formation et une certification au préalable. S'il n'y a pas de possibilité de recevoir une formation, Energreen doit se diriger vers un autre fournisseur.

Une autre raison poussant au choix de cette batterie et de son onduleur fut leur configuration. En effet, comme nous l'avons vu, trois types de configurations existent impliquant trois montages distincts (cfr. supra pp. 41-43).

Premièrement, la batterie avec l'onduleur intégré, comme la *Sonnenbatterie*, a été mise hors catégorie étant donné que celle-ci est très onéreuse. Pour les deux autres configurations, différentes techniques de pose existent. Pour rappel, la batterie n'ayant besoin que d'un seul onduleur est celle avec le couplage courant continu réservée aux hautes tensions tandis qu'une batterie nécessitant deux onduleurs est réservée aux basses tensions. Nous pouvons donc comprendre que le fait de sélectionner une batterie avec seulement un onduleur (le cas de la *LG CHEM* et de son onduleur *Huawei*) se révèle être plus abordable étant donné que l'achat d'un deuxième onduleur demande plus de fonds pour le particulier (*LG CHEM*, s.d.).

De plus, nous pourrions croire que vu que le prix au kWh stocké est bas, celui-ci pourrait ne pas être aussi performant que les autres batteries vendues sur le marché. Contrairement à ce que l'on pourrait penser, cette technologie présente une durée de vie d'environ 24 ans. En effet, la *LG CHEM* a une capacité de plus ou moins 6.000 cycles signifiant qu'elle peut être chargée et déchargée environ 6.000 fois. Il est estimé qu'environ 250 cycles par an sont réalisés par une batterie avant qu'elle ne perde en

performance donnant ainsi une durée de vie assez longue comparée à une majorité de batteries présentant une durée de vie de maximum 20 ans (Imsolar, 2020).

Il est important de souligner que les constructeurs se différencient aussi via la modularité des batteries. En effet, certains jouent sur les modules en ajoutant des unités de tailles différentes les unes aux autres afin de viser une plus grande autonomie, comme par exemple la batterie de la marque *BYD*. D'autre part, certaines entreprises telles que Tesla appliquent un dimensionnement juste, où des modules supplémentaires ne sont pas nécessaires en essayant de miser sur l'autonomie totale. Cependant, comme nous l'avons vu auparavant avec la courbe du taux d'autoconsommation pour un ménage disposant de panneaux photovoltaïques et d'une batterie, une partie de l'électricité est toujours soutirée du réseau à un moment donné (zone hachurée noire) (cfr. supra p. 46). Généralement, même si la capacité totale d'une batterie permet au particulier de satisfaire à ses besoins pendant une grande partie de la journée, l'autonomie totale n'est pas envisageable, notamment en raison du climat.

### 3. Analyse économique

Sur base des différentes recherches des nombreux fournisseurs et de la législation applicable dans les trois régions, une analyse économique sera établie sur base de la batterie qui a été sélectionnée dans le point précédent. Sur base de cette information, nous pourrions observer la rentabilité de cette dernière chez un ménage-type dans les trois régions belges.

Cependant, avant cela, la théorie managériale focalisée sur l'aspect financier sera introduite. De ce fait, nous comprendrons la manière utilisée pour calculer le retour sur investissement de la batterie dont dispose le profil type.

#### a. Prix de la batterie

Après avoir choisi minutieusement cette batterie avec deux puissances différentes, un prix de vente pour chacune d'elles devait être établi. Différents partenaires proposaient des prix assez différents et le choix d'Energreen fut de s'orienter vers Krannich Solar.

Le système *LG CHEM RESU 7H* vaut 3.557,76€ à l'achat tandis que le prix de la version *RESU 10H* s'élève à 4.188,80€. Le prix d'achat de l'onduleur *Huawei SUN2000L* est

également à prendre en compte, dans certains cas. Néanmoins, il est possible que certains détenteurs de panneaux qui voudraient rajouter une batterie domestique, aient peut-être déjà l'onduleur en question en leur possession, ce qui signifie que seuls les câblages et la main-d'œuvre seront nécessaires pour mener à bien l'installation de la batterie. Mais dans ce cas-ci, le prix du *Huawei* sera comptabilisé dans le prix total. Ensuite, le prix de la main-d'œuvre est à inclure. Il s'élève à 472€, car cela prend en compte deux techniciens procédant à l'installation qui devrait durer 4 heures avec un prix de main-d'œuvre fixé à 59€ l'heure. De plus, les câblages présentent un prix d'environ 40€ comme vu ci-dessus, donnant ainsi le prix total d'achat de la *RESU 7H* s'élevant ainsi à 4.069€. De la même manière, le prix d'achat de la *LG CHEM RESU 10H* est fixé à 4.700,80€ en prenant en compte les mêmes données que son homologue de 7 kWh.

À cela, la marge sur la vente pour l'entreprise est également à prendre en compte ainsi que la commission attendue de 400€ de la part des représentants de vente. Avec une marge de 27% (applicable sur le prix d'achat de la batterie, le câblage et la main d'œuvre) et une commission de 400€, les prix de vente (comprenant la commission et la TVA de 6%) pour les batteries *LG CHEM RESU 7H* et *10H* sont respectivement de 6.956,42€ et de 7.872,75€. Le détail de toute l'explication se trouve dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 10** : Détails du prix de vente de la batterie sélectionnée (2 puissances différentes)

	Prix batterie	Onduleur	Câblage	Main-d'œuvre	Marge <sup>10</sup>	Commission	Prix de vente (TVA de 6% comprise)
LG CHEM RESU 7H	3.557,76€	429€	40€	472€	27%	400€	6.956,42€
LG CHEM RESU 10H	4.188,80€	429€	40€	472€	27%	400€	7.872,75€

<sup>10</sup> La marge de 27% établie par l'entreprise est applicable sur le prix d'achat de la batterie, le prix d'achat de l'onduleur, le câblage et la main-d'œuvre (Puglia, 2019).

## b. Mise en place d'un calculateur de rentabilité

Après avoir calculé le prix total de vente de la batterie pour un particulier, le retour sur investissement doit être observé sur tout le territoire belge. Pour ce faire, de la théorie managériale bien spécifique à la *finance* est utilisée afin d'évaluer la rentabilité d'un projet d'investissement. Sur base de cette théorie seront établis les différents calculs de retours sur investissement. Ces derniers prendront en compte les mécanismes existants dans chacune des régions, comme cela a été évoqué dans les *aspects législatifs* (cfr. supra 15). Afin de connaître le retour sur investissement, c'est le prix de la batterie LG CHEM RESU 7H qui sera pris en compte.

La Région de Bruxelles-capitale sera d'abord introduite avant de passer à la Région wallonne et enfin à la Région flamande. Celles-ci présenteront des résultats différents. Notons également que les différents résultats concernent les ménages possédant uniquement le compteur mono-horaire ne faisant pas la distinction entre les heures pleines et les heures creuses.

### i. Revue littéraire : analyse financière

La *valeur actuelle nette* (VAN) d'un projet permet de calculer la rentabilité d'un projet d'investissement. Plus connu sous le nom de VAN, cet indicateur permet de mesurer la profitabilité d'un projet. La valeur actuelle nette « représente la valeur à l'instant présent,  $t_0 = 0$ , de l'ensemble des investissements et flux nets de trésorerie, actualisée au taux  $r$ , produits par le projet au cours de sa durée de vie économique  $T$ . » (Devolder, Fox & Vaguener, 2012, p.67) et sera calculé comme suit :

$$VAN_0 = -I_0 + \sum_{t=1}^T \frac{F_t}{(1+r)^t}$$

Dans cette formule,  $I_0$  désigne l'investissement initial pour le projet qui sera négatif étant donné que cela constitue une dépense. Il pourrait être positif dans le cas où une autre société attribue une avance, mais ce n'est pas le cas ici. Ensuite, concernant les flux de trésorerie prévisionnels, plus connus sous le nom de *cash-flows*,  $F_t$ , cela représente la différence entre les entrées et sorties de trésorerie. En d'autres mots, ce sont les différentes dépenses et recettes faites au cours des années. Les flux de trésorerie seront à comptabiliser à la fin de chaque année comptable. Pour ce qui est de

l'indice  $r$ , il désigne le taux d'actualisation qui est considéré comme la « rentabilité anticipée la plus élevée sur le marché pour un placement ayant un risque et un horizon comparables au flux à actualiser » (Berk & De Marzo, 2011, p.158). Par conséquent, nous pouvons comprendre que la somme des flux sera actualisée via le taux d'actualisation. Pour finir, la durée de vie totale du projet, représentée par  $T$ , est exprimée en années. Sur base du calcul, trois cas peuvent se présenter (Devolder, Fox & Vaguener, 2012, p.67) :

- Soit la VAN est positive impliquant ainsi que l'acteur aura alors intérêt à investir dans le projet étant donné qu'il représente une plus-value pour ce dernier. En conséquence, l'investissement sera rentable au taux de rentabilité fixé.
- Soit elle est négative alors le projet ne vaut pas le coup d'être entrepris étant donné qu'il ne sera pas suffisamment rentable.
- Soit la VAN est égale à 0 signifiant ainsi que l'investissement initial est égal aux flux de trésorerie générés par ce dernier. Cela n'indique aucune plus-value, ni moins-value de la part du projet d'investissement.

En effet, la valeur de la VAN exprimée en euros, pourrait aider à connaître la profitabilité du projet grâce au rapport entre les flux de trésorerie actualisés et l'investissement de départ. Ensuite, l'indice de profitabilité, l' $IP$  peut aussi être connu. Cela exprime la rentabilité du projet par rapport au montant investi. La formule mathématique de cette mesure s'établit comme suit (Devolder, Fox & Vaguener, 2012, p.70) :

$$IP = \frac{\sum_{t=1}^T \frac{F_t}{(1+r)^t}}{I_0} = \frac{I_0 + VAN_0}{I_0} = 1 + \frac{VAN_0}{I_0}$$

Ainsi, lorsque l' $IP$  est, par exemple, égal à 1,31, cela signifie qu'un investissement de 1€ rapportera à l'entreprise 1,31€. Cet indicateur pourrait aider l'entreprise à choisir entre plusieurs projets d'investissements. Inversement, lorsque l' $IP$  est inférieur à 1, cela indique que l'investissement n'est pas rentable.

Les calculs de VAN et d' $IP$  dépendent du taux d'actualisation. L'analyse du marché financier ainsi que la décision de l'entreprise sont deux facteurs à prendre en compte dans la détermination de ce taux. Pour cela, afin d'atténuer cette difficulté, une autre manière de mesure de la rentabilité d'un projet existe : le *taux de rentabilité interne*, plus communément appelé le TRI.

Le taux de rentabilité interne (exprimé en %) est considéré comme le taux d'actualisation ramenant la valeur actuelle de l'ensemble des flux de trésorerie au coût initial et est, par conséquent, défini comme le taux annulant la VAN. En d'autres mots, il constitue le taux de rentabilité implicite du projet. Le projet sera intéressant lorsque le taux présentera un taux supérieur au taux d'actualisation. Ce dernier est calculé comme suit (Devolder, Fox & Vaguener, 2012, p.72) :

$$VAN_0 = -I_0 + \sum_{t=1}^T \frac{F_t}{(1 + TRI)^t} = 0$$

Le taux de rentabilité interne se calcule sur base d'itérations si le nombre d'années est supérieur à 3. Cependant, grâce aux tableurs Excel mis à notre disposition, ce taux sera directement calculé sur base des différents flux de trésorerie et de l'investissement initial. Par conséquent, les différentes méthodes servant à établir des itérations ne seront pas utiles.

De la même manière, le taux de rentabilité interne suit la même tendance que la VAN. Effectivement, lorsque cette dernière est positive, le TRI aura également une valeur positive, même supérieure au taux d'actualisation. Cependant, il est toujours préférable de tenir compte de plusieurs indices afin de dégager une interprétation exacte au lieu de se focaliser sur un seul critère. Certaines fois, l'entreprise devant choisir entre deux investissements, remarque que la VAN du deuxième investissement excède celle du premier. Pourtant, le TRI du premier investissement peut, dans certains cas, se révéler être plus élevé. Dès lors, il faudra tenir compte du fait que le deuxième investissement offre une plus-value plus importante. De cette manière, nous comprenons que le TRI est un indicateur utilisé en complément de la VAN.

Ensuite, un quatrième indicateur comptabilise le nombre d'années nécessaires à la rentabilité de l'investissement initial, le *payback period* (PB) ou encore, la période de remboursement. Cette unité de mesure est exprimée en années. Les différents flux de trésorerie trouvés sont additionnés à l'investissement de départ jusqu'à obtenir un montant positif. Par conséquent, à terme, il faut retrouver le montant de la VAN calculée auparavant.

La période de remboursement est calculée d'une certaine manière. En effet, il est important de prendre en compte la première année où le cumul des différents flux de



trésorerie devient positif. De cette année, sera additionné le montant du flux de trésorerie cumulé y afférant, divisé par le *CF actualisé* (cash-flow actualisé) de l'année suivante. Afin de calculer la période de remboursement de manière exacte, la formule mathématique est donc présentée comme suit (Corporate Finance Institute, 2020) :

$$\text{Période de récupération} = \text{Année du PB positif} + \frac{\text{PB positif}}{\text{CF actualisé } n+1}$$

En prenant en compte les différents mécanismes ainsi que la théorie établie ci-dessus, différents scénarios seront observés en fonction des régions belges. Pour calculer la rentabilité de la batterie domestique, la *LG CHEM RESU 7H* sera utilisée dans les calculs qui suivront, pour le profil type qui avait déjà été établi plus tôt. Commençons avec la capitale avant d'embrayer sur les deux autres territoires.

## ii. Calcul de la rentabilité à Bruxelles

Comme nous l'avons vu dans la partie abordant les *aspects législatifs*, avant le premier janvier 2020, le mécanisme de compensation totale (plus connu sous le nom de *compteur à l'envers*) était d'application dans la capitale. Ce dernier avait une influence positive sur la facture d'électricité du consommateur lorsque celui-ci injectait de l'électricité sur le réseau. Cependant, depuis le mois de janvier 2020, cela n'est plus d'actualité. La capitale a instauré le mécanisme de compensation partielle signifiant qu'il n'y a plus que l'électricité prélevée qui est comptabilisée sur la facture du détenteur de panneaux.

Désormais, le producteur d'électricité verte bruxellois aura plutôt tout intérêt à consommer davantage de sa propre électricité au risque de voir sa facture augmenter. Contrairement à avant, plus aucun gain n'est occasionné par l'injection d'électricité du ménage. Nous pouvons imaginer que les tableaux de rentabilité antérieurs incluaient l'électricité injectée sur le réseau étant donné qu'elle représentait un gain pour le particulier. C'est pourquoi, comme vu précédemment dans la section *taux d'autoconsommation* (cfr. supra pp. 44-45), le surplus d'électricité faisant partie de la cloche dans la courbe de production photovoltaïque pourrait être stocké dans la batterie et ainsi davantage valorisé. En valorisant le surplus via le stockage, le ménage bénéficie du surplus sans avoir besoin de prélever spécialement plus sur le réseau. Voici la raison

principale pour laquelle le taux d'autoconsommation d'un particulier possédant la combinaison panneaux solaires ainsi qu'une batterie domestique passe de 30% à 70%.

Plusieurs autres données sont dès lors à prendre en compte dans le calcul de la rentabilité de la batterie domestique. Un premier facteur important pour le calcul de rentabilité est le prix de l'électricité en Belgique. C'est pourquoi ce dernier, valant, pour rappel, 0,2839€/ kWh a été rajouté. Il reste, tout de même, à souligner que le prix de l'électricité augmente d'année en année. Un taux d'inflation de 4% a, par conséquent, été appliqué sur ce facteur, chaque année.

Ensuite, la production du ménage est également importante pour connaître le montant de l'économie réalisée. En ce qui concerne la production du ménage, au fur et à mesure du temps, comme il a déjà été signalé auparavant (cfr. supra p.33), l'installation perd en efficacité d'année en année. C'est pourquoi un coefficient de dégressivité de 0,035% sera appliqué sur la production de l'installation représentant la perte d'efficacité de cette dernière. La production, prise en compte dans le cas présent, sera de 4.000 kWh et diminuera au fur et à mesure des années. En effet, la consommation du ménage-type reprise plus haut est de 4.000 kWh. Étant donné que la consommation égale à la production d'un ménage au bout d'une année, cette donnée sera à prendre en compte lors des calculs qui suivront. Par conséquent, en prenant en compte toutes les données traitées ci-dessus, le gain réalisé (représentant la recette) se calcule de la manière suivante :

$$\text{Gain} = \text{Prix de l'électricité} \times \text{Taux d'autocons.} \times \text{Production de l'installation}$$

Dans le cas présent, il n'y a aucun certificat vert à prendre en compte dans le calcul. Pour rappel, ces certificats ont pour but de bénéficier aux producteurs disposant de panneaux solaires ou de cogénérations uniquement. C'est pourquoi, il ne sera aucunement question de certificats verts dans le cas d'un ménage disposant d'une batterie domestique.

Les gains réalisés lors des différentes années seront actualisés afin d'obtenir la VAN. Le taux d'actualisation sera de 2% permettant ainsi d'actualiser tous les flux de trésorerie. Pour rappel, ce dernier constitue le taux d'inflation attendu dans les prochaines années qui a été choisi par l'entreprise (Puglia, 2020). Ainsi, le taux d'actualisation est affecté à chaque gain réalisé par année. Pour calculer les flux de trésorerie actualisés (ou CF actualisé) :

$$CF \text{ actualisé} = \text{Gain réalisé} \times (1 + 0,02)^{-t}$$

Grâce au taux de 2% et à l'année auquel le flux est rattaché, le CF actualisé se calculera. Ce calcul sera fait de la même manière pour les 25 années (en émettant l'hypothèse que la batterie domestique ait une durée de vie de 25 ans). Afin d'obtenir la VAN, l'investissement initial ou  $I_0$  est également à prendre en compte. Dans le cas présent, nous prenons en compte la batterie de stockage d'électricité *LG CHEM RESU 7H* (s'élevant à un montant de 6.956,45€) pour un profil type basé sur Bruxelles.

Ainsi, grâce à l'investissement de départ ainsi qu'aux 25 flux actualisés, la VAN nous donne une valeur de 16.781€ supposant ainsi qu'il est intéressant d'investir dans cette batterie domestique étant donné la valeur positive de la VAN.

En calculant le deuxième indicateur, à savoir l'IP, cela permet de comprendre que l'investisseur aura intérêt à acquérir une batterie de ce type étant donné que l'indice s'élève à 3,45. Ainsi, un investissement de 1€ dans le projet rapportera à l'investisseur trois fois plus.

Ensuite, le TRI trouvé concorde bien avec la VAN vue au-dessus. En effet, nous avons vu que lorsque la VAN est positive, cela implique que le TRI doit obligatoirement être supérieur au taux d'actualisation défini au préalable. C'est bien le cas étant donné que lorsque la VAN est égale à 0, le TRI équivaut à 12% étant un taux bien supérieur au taux  $r$  qui a été fixé à 2%. Le détail des calculs donnant la VAN se trouve en ANNEXE 5 (tableau de rentabilité d'une batterie domestique pour un ménage bruxellois).

Grâce au cumul de l'investissement initial ainsi que des différents flux actualisés, la période de récupération pourra être comptabilisée. En effet, la huitième année présente un montant de -360€ tandis que la neuvième année suivant l'investissement de départ nous donne 525€ (les données se trouvent en ANNEXE 5 : tableau de rentabilité d'une batterie domestique pour un ménage bruxellois). Cela signifie que la rentabilité de la batterie de stockage se fait durant la huitième année. Afin de connaître la période exacte, le calcul à établir est le suivant :

$$8 + \frac{-360}{885} = 8,41 \text{ ans}$$

En effet, grâce à un taux d'autoconsommation plus élevé du ménage, impliquant également que l'électricité prélevée sur le réseau est moindre comparée à un simple détenteur de panneaux, ce dernier verra son investissement rentabilisé en 8,41 années. La rentabilité de la *LG CHEM RESU* de 7 kWh pour le ménage-type bruxellois se fera bien avant la moitié de sa durée de vie.

### iii. Calcul de la rentabilité en Wallonie

Concernant la rentabilité des batteries de stockage d'électricité en Région wallonne, un élément qui n'était pas dans le cas précédent à savoir, le tarif prosommateur, est désormais à prendre en compte. En conséquence, les calculs seront différents du premier cas présenté.

Le mécanisme de *compteur à l'envers* est toujours d'actualité dans cette Région donnant au détenteur de panneaux la possibilité d'économiser sur sa facture d'électricité. Cependant, en Wallonie, il existe deux tarifs comme vus dans les *aspects législatifs*. En effet, l'un est le tarif forfaitaire qui se calcule sur base de la puissance de l'onduleur tandis que l'autre tarif se calcule sur base de l'électricité prélevée sur le réseau (CWAPE, 2019). De nouveau, le coefficient de dégressivité de 0,035% sera à prendre en compte sur la production de l'installation représentant la perte d'efficacité de cette dernière. La production, prise en compte dans le cas présent, sera de 4.000 kWh et diminuera au fur et à mesure des années.

Contrairement à la Région flamande où seul le tarif capacitaire est entré en vigueur il y a de cela cinq années, la Région wallonne a commencé à appliquer cette tarification (comprenant deux tarifs) à partir du mois de mai 2020. À la suite de la crise sanitaire du *Coronavirus* survenue au mois de mars, les prosommateurs pouvaient espérer un certain report, car cela a freiné les négociations à ce sujet. Cependant, le tarif prosommateur est bien entré en vigueur depuis le premier mai 2020. Néanmoins, afin d'avoir une meilleure visualisation du retour sur investissement, partons de l'hypothèse que le tarif prosommateur est entré en application dès le premier janvier 2020 et par conséquent, que le détenteur de panneaux paie l'entièreté du tarif pour l'an 2020.

Premièrement, le tarif forfaitaire ou capacitaire intervient lorsque le ménage a un taux d'autoconsommation inférieur ou égal à 37,76%. Le régulateur a décidé du seuil des 37,76%. Concernant ce tarif, celui-ci varie d'un GRD à l'autre. Le propriétaire de panneaux paiera un peu plus chaque année étant donné qu'une évolution du tarif est constatée au fur et à mesure (voir ANNEXE 6 : évolution des tarifs prosommateurs). Dans

le cas où le taux d'autoconsommation est supérieur ou si le ménage dispose au préalable d'un compteur bidirectionnel comptabilisant l'électricité prélevée et celle injectée sur le réseau, le tarif proportionnel lui sera automatiquement appliqué. De plus, étant donné que le ménage fera l'utilisation du réseau pour injecter et/ ou prélever sur le réseau de l'électricité, des coûts de transports et de distribution seront dès lors à prendre en compte, représentant un peu plus de 0.16€ le kWh (CWaPE, 2019).

Deuxièmement, prenons l'hypothèse que le dimensionnement de l'installation est correct et que donc la production est égale à la consommation du ménage-type, sur une année. En conséquence, la consommation du profil type, valant 4.000 kWh, sera égale à sa production des panneaux faite sur une année. Cela veut dire que sur cette année, l'injection faite sur le réseau équivaldra également au prélèvement. Établissons donc plusieurs calculs où le ménage est sujet à différents taux d'autoconsommation afin de voir s'il existe un réel avantage pour le détenteur de panneaux de disposer d'une batterie de stockage. Pour cela, prenons l'exemple d'un ménage wallon provenant plus spécifiquement de Jambes, signifiant qu'il est rattaché au GRD Ores Namur dont le tarif prosommateur capacitaire équivaut à 88,16€/kWe. Tout d'abord, voyons la différence entre les deux tarifs (capacitaire et proportionnel), pour un taux d'autoconsommation de 37,76% (seuil) de la part du consommateur de profil type.

- Cas pour un taux d'autoconsommation de 37,76%

Premièrement, pour connaître le montant du tarif capacitaire, il suffit de multiplier la puissance de l'installation du profil type de 4,5 kWc par le tarif instauré par le régulateur wallon, s'élevant à 396,72€. En ce qui concerne le tarif proportionnel, si l'on calcule bien les kWh prélevés sur le réseau, cela équivaut à 2.489,6 kWh sur le total de 4.000 kWh. Ce dernier doit être multiplié par 0,16€/ kWh soit les coûts de distribution et de transport du réseau. Nous pouvons observer que les tarifs capacitaire et réel sont presque similaires à 2€ près, pour ce seuil établi par le régulateur.

**Tableau 11** : *Tarifs avec un taux d'autoconsommation de 37,76%*

	Tarif forfaitaire	Tarif réel
Taux d'autoconsommation : 37,76%	4,5 kWc * 88,16€ = 396,72€	2.489,6 kWh * 0,16 €/ kWh = 398,34€

- Cas pour un taux d'autoconsommation de 30%

Imaginons maintenant que le taux d'autoconsommation est d'environ 30% suite à la mise en place des panneaux solaires, le ménage consommera ainsi 1.200 kWh sur les 4.000 kWh, qui seront directement produits par ses panneaux. Cela implique que le restant, à savoir 2.800 kWh sera injecté et prélevé sur le réseau à des moments différents, bien entendu.

Le premier tarif sera calculé de la même manière que dans le *tableau* ci-dessus. Le tarif réel, cette fois-ci, s'élèvera à 448€ comprenant les kWh prélevés sur le réseau ainsi que les tarifs d'utilisation du réseau. Nous pouvons constater que lorsqu'un ménage consomme 30% de sa propre électricité, il sera plus favorable pour ce dernier d'opter pour le tarif capacitaire étant donné qu'il se révèle être près de 51€ moins cher.

**Tableau 12** : *Tarifs avec un taux d'autoconsommation de 30%*

	<b>Tarif forfaitaire</b>	<b>Tarif proportionnel</b>
Taux d'autoconsommation : 30%	4,5 kWc * 88,16€ = 396,72 €	2800 kWh * 0,16€/ kWh = 448€

Prenons maintenant le cas de figure où le ménage possède une batterie de stockage, en plus de ses panneaux photovoltaïques. Son taux d'autoconsommation sera plus élevé et le calcul sera tout autre.

- Cas pour un taux d'autoconsommation de 70%

Pour ce qui est du tarif forfaitaire, il restera toujours le même étant donné que la puissance de l'onduleur ne changera pas. En revanche, le montant du tarif proportionnel sera tout autre. Il est clair que l'énergie prélevée sur le réseau sera différente des deux autres situations. Lorsque le taux d'autoconsommation est près de 70%, le ménage consommera directement 2.800 kWh d'électricité impliquant que les 30% constituent l'électricité prélevée comptant pour 1.200 kWh sur un total de 4.000 kWh produits par le profil type. Les montants afférents aux différents tarifs seront calculés comme suit :

**Tableau 13** : *Tarifs avec un taux d'autoconsommation de 70%*

	<b>Tarif forfaitaire</b>	<b>Tarif proportionnel</b>
Taux	4,5 kWc * 88,16 =	1.200 kWh *
d'autoconsommation : 70%	396,72€	0,16€/kWh = 192€

Nous pouvons alors constater que lorsque le taux d'autoconsommation dépasse les 37,76%, le prosommateur a intérêt à se diriger vers le tarif proportionnel qui lui sera plus bénéfique avec une économie de 203,72€, ce qui n'est pas négligeable.

De nouveau, si l'on applique la même méthode concernant l'actualisation des flux de trésorerie au cours des 25 années, il en ressort que la VAN est, cette fois-ci, négative comparée au scénario précédent. L'investissement du profil type en Wallonie ne s'avère pas être une bonne idée étant donné que cela ne crée aucune valeur pour ce dernier.

En effet, la VAN trouvée pour le ménage namurois est de -2.843,17€. Similairement, le TRI suit exactement la même tendance affichant un taux de -4% qui est bien moins inférieur au taux d'actualisation de base. Le détail des calculs se trouve en ANNEXE 7 (*tableau de rentabilité d'une batterie domestique pour un ménage wallon*). L'IP de cet investissement pour un ménage wallon représente 0,59 qui, une fois de plus, souligne la non-rentabilité de la batterie de stockage sur sa durée de vie.

Concernant la période de récupération, étant donné que le cumul des flux ne présente aucun montant positif à aucune année, il n'est donc pas possible de calculer l'année où la rentabilité se fera. En effet, il reste à supposer que si la méthode avait été appliquée sur une durée plus longue (si la batterie avait eu une durée de vie d'une trentaine d'années par exemple), la rentabilité aurait peut-être été visible. Toutefois, ce que l'on peut remarquer pour le calculateur de rentabilité de la Région wallonne, c'est qu'en 25 ans, il n'est pas possible de rentabiliser l'investissement.

De plus, il faut tout de même noter que les économies réalisées dépendront, bien entendu, de plusieurs facteurs dont le taux d'autoconsommation, mais également le GRD auquel le ménage est rattaché. En conclusion, nous pouvons donc comprendre par ces chiffres présentés ci-dessus que le ménage wallon ne rentabilise pas son investissement sur la durée de vie du dispositif.

#### iv. Calcul de la rentabilité en Flandre

Les ménages flamands n'ont qu'une option à savoir le tarif capacitaire. En effet, le seul tarif applicable est le tarif forfaitaire calculé sur base de la capacité de la puissance installée dans le ménage. De plus, en Région flamande, le *compteur à l'envers* prime toujours et aucun incitant n'est mis en place afin de moins prélever sur le réseau.

Concernant la rentabilité de la solution, il ne sera pas question d'établir des calculs comme vus ci-dessus. Le seul incitant existant actuellement chez les habitants de la Flandre est une prime qu'ils pourraient potentiellement recevoir, valable depuis août 2019 jusqu'à décembre 2020. Sous plusieurs conditions, une prime de 250 € par kWh est accordée, avec un plafond de 3.200€ par batterie. Le montant de la prime peut aller jusqu'à maximum 35% de l'investissement initial, équivalent à un montant de 2.434,75€ dans le cas de la *LG CHEM RESU 7H*. Nous pouvons donc comprendre que l'investissement sera très loin d'être rentable durant la durée de vie de la batterie domestique...



## Chapitre 4

### Bilan et perspectives du projet

Ce chapitre se focalise sur l'analyse et la mise en perspective du projet. En effet, les différents objectifs seront énoncés ainsi que les difficultés rencontrées durant la gestion de ce dernier. Après avoir retracé les objectifs, une discussion finale sera reprise afin de visualiser les différentes perspectives futures du projet.

#### 1. Analyse et mise en perspective

Après avoir travaillé sur l'un des projets de l'entreprise, une analyse critique est à établir sur ce dernier. En effet, au cours de la gestion de projet, différentes difficultés ont été rencontrées par rapport aux objectifs. Pour cela, nous discuterons de l'approche méthodologique, mais également des questions sur le plan technique ou encore humain.

Pour rappel, les deux parties principales de cette gestion de projet étaient l'élargissement de la gamme de produits d'Energreen ainsi que la mise en place d'un calculateur de rentabilité pour la batterie domestique. Ce projet est donc scindé en plusieurs objectifs.

Le premier objectif réalisé était de comprendre le fonctionnement de l'entreprise ainsi que de son activité principale à savoir l'installation des panneaux photovoltaïques. Pour cela, la méthodologie utilisée était de chercher les différents documents internes et externes de la société menant à une meilleure compréhension de l'activité principale de l'entreprise ainsi que la responsabilité des départements au sein de l'organisation. Ensuite, concernant l'aspect technique du photovoltaïque, la consultation des documents internes s'est avérée insuffisante. Pour pallier cette difficulté, des explications complémentaires des différents départements ont été nécessaires afin de comprendre le fonctionnement des systèmes photovoltaïques d'une meilleure manière.

La compréhension de la législation applicable sur le territoire belge faisait également partie du premier objectif. C'était également l'une des difficultés rencontrées lors de la gestion du projet. Cependant, les entretiens et réunions passés avec les représentants de vente et les équipes techniques ont permis une meilleure représentation des différents mécanismes présents comme le mécanisme des certificats verts ou encore l'entrée en vigueur du tarif prosommateur...

Le deuxième objectif : *les choix stratégiques*, comprenait le contact avec les fournisseurs en vue d'élargir la gamme de produits que propose actuellement Energreen. Pour cela, plusieurs tableurs Excel ont été dressés avec l'apparition des potentiels partenaires pour la fourniture de batteries. Concernant cet objectif, la difficulté rencontrée était le contact à établir avec les fournisseurs. Certaines fois, il était compliqué d'établir un contact avec ces derniers étant donné leurs indisponibilités. Ensuite, après les avoir passés en revue, la compréhension de la batterie de stockage d'électricité était primordiale afin d'établir des choix par la suite. Pour cela, différentes formations ainsi que la documentation sur le sujet ont permis une meilleure assimilation du dispositif et de son fonctionnement. Encore une fois, la difficulté rencontrée dans cet objectif était plutôt d'ordre technique. Dans cet objectif, étaient également compris les choix stratégiques établis par l'entreprise. En fonction de plusieurs critères déjà vus auparavant, de nouveaux fichiers ont vu le jour sur base desquels les départements ont pris une décision finale.

Le troisième et dernier objectif de ce projet était la mise en place d'un calculateur de rentabilité pour les trois régions belges. En prenant en compte les différentes contraintes via les différentes législations, le calcul de chaque région était différent. Le résultat attendu était un fichier Excel qui illustre le retour sur investissement d'une batterie selon un profil choisi. À l'issue de ce fichier, nous avons pu observer une différence flagrante entre les trois régions. Pour cet objectif, la difficulté rencontrée était de comprendre comment refléter les mécanismes au travers du calculateur.

## 2. Discussion finale

Avant l'essor du renouvelable, il y a de cela 10 années, le solaire était très peu voire pas du tout rentable. Cependant, de nombreux mécanismes ont été mis en place en Belgique afin que les ménages puissent investir pour y voir un retour sur investissement plutôt rapide. Le prix de ces dispositifs a diminué au fil des années. Les incitants financiers sont moins présents qu'auparavant sur le marché, car la rentabilité naturelle des panneaux photovoltaïques est meilleure. Comme nous avons pu le voir grâce à la conclusion de l'hexagone sectoriel, la batterie de stockage pourrait suivre la même tendance que les panneaux solaires en devenant un produit de référence dans le futur.

À l'heure actuelle, comme montré dans *l'analyse économique*, le Bruxellois est le seul à voir son investissement rentabilisé sur la durée de vie de la batterie. Le régulateur pourrait, de ce fait, décider d'accorder certaines primes, comme actuellement en

Flandre. Des aides et/ ou des subventions pourraient également apparaître. En effet, pour rappel, les certificats verts octroyés par la Région wallonne lors du *plan Solwatt* ont incité les ménages à investir dans le solaire créant ainsi un boom dans le renouvelable et par extension, une tendance des ménages à s'orienter vers des solutions renouvelables. Dès lors, de la même manière, un autre incitant ou élément dans le cas de la batterie de stockage d'électricité pourrait être mis en place par les régulateurs et/ou le Gouvernement.

Cependant, d'autres facteurs pourraient également être retenus afin de favoriser l'achat d'une batterie de stockage. Nous vivons actuellement dans un environnement qualifié de volatil, d'incertain, de complexe et d'ambigu (acronyme plus connu sous le nom de VUCA en anglais). C'est pourquoi des tendances futures pourraient être envisagées en faveur de l'utilisation d'une batterie de stockage d'électricité. L'un des éléments étroitement corrélés avec les tendances est le comportement du consommateur. Il est possible que le comportement d'un individu puisse avoir une influence sur d'autres personnes créant ainsi un mouvement.

En attendant, plusieurs options sont ouvertes au consommateur final qui souhaiterait se diriger vers d'autres solutions d'amélioration du taux d'autoconsommation. C'est le cas du boiler thermodynamique, en étant écologique et rentable plus rapidement. Il permet au ménage de rentabiliser son investissement sur quatre années pour une durée de vie de 20 ans du dispositif. Nous pouvons le comparer avec le boiler traditionnel que l'on connaît dont le retour sur investissement est plus long.

Ensuite, une autre solution pour le ménage serait les bornes de rechargement électriques prenant de plus en plus d'ampleur de nos jours. Cette technologie prend en compte la charge des véhicules électriques (qui sont également munies de batteries lithium-ion.) Cependant, bien que les coûts d'entretien et de maintenance se révèlent être peu élevés pour ce genre de véhicules, le retour sur investissement est atteint de manière plus lente.

Grâce aux différents produits vus ci-dessus, plusieurs solutions permettent d'optimiser l'autoconsommation chez un particulier en plus de la batterie de stockage. Le ménage possède donc une multitude de choix concernant les alternatives vers lesquelles il pourrait se tourner. Cependant, il est utile qu'il se tienne à jour (tout comme les entreprises) de tous les aspects législatifs concernant la Région à laquelle il est rattaché. N'oublions pas non plus que les législations fluctuent au cours du temps pour laisser place à de nouveaux systèmes.

Cependant, ne perdons pas de vue les choses essentielles. Avant d'investir dans un quelconque dispositif écologique et/ ou économique, le consommateur peut agir de manière différente tout en faisant des économies d'énergie. Tout d'abord, le ménage

pourrait isoler sa maison ce qui conduirait à une diminution de sa consommation d'énergie et par conséquent, une diminution de sa facture d'électricité. De fait, des gestes minimes peuvent parfaitement contribuer à une diminution du montant sur sa facture. Le choix des appareils électroménagers adéquat, convenant aux besoins du ménage, pourrait être bénéfique afin de consommer moins d'énergie. Par exemple, un ménage aura tout intérêt à choisir un modèle de lave-vaisselle adapté à ses besoins et privilégier le programme économique. De plus, cela coulerait de source de lancer la machine lorsqu'elle est pleine. Un autre exemple serait également d'opter pour un réfrigérateur proportionnellement adapté aux besoins du ménage, car n'oublions pas que plus le volume du frigo est important, plus il consomme de l'énergie. Comme nous pouvons le voir, les bons comportements peuvent avoir une influence positive sur la facture du particulier. La majorité du temps, il ne suffit pas seulement d'investir dans des nouveaux dispositifs, mais d'adopter un autre état d'esprit afin d'en tirer tous les bénéfices.

Concernant les perspectives futures du projet, elles sont nombreuses. Les différentes législations qui entreront en vigueur laissent penser que les compteurs intelligents prendront plus d'ampleur dans les années à venir. En effet, le compteur double flux commence à devenir un sujet de discussion important abordé par les régulateurs. Ainsi, ce dispositif favoriserait la mise en place des mécanismes contribuant à calculer l'électricité prélevée sur le réseau. Il ne serait pas étonnant d'apprendre dans les réformes suivantes que le système de *compteur à l'envers* soit aboli en Région wallonne par exemple.

Dans cette optique, une nouvelle alternative pourrait voir le jour à l'avenir : l'autoconsommation collective. Sujet encore peu palpable aujourd'hui, cela pourrait survenir dans les années à venir. En effet, au vu de la croissance des compteurs intelligents installés, l'autoconsommation collective serait vraisemblablement une issue que les producteurs d'électricité verte pourraient adopter dans les années à venir. Le fait de partager l'électricité entre voisins dans un périmètre restreint pourrait s'avérer être une idée intéressante d'un point de vue financier. L'idée est que le compteur intelligent du voisin producteur puisse calculer l'électricité injectée chez le voisin et ainsi lui permettre d'avoir une facture d'électricité présentant un montant moindre. Cependant, cela reste encore une idée abstraite étant donné que des projets-pilotes sont actuellement mis en œuvre afin d'en observer le déroulement, les opportunités et les désagréments (Energuides, 2020).

# Conclusion

Ce mémoire a pour but de répondre à une problématique bien précise qui est de savoir si une batterie de stockage d'électricité est bien rentable ou non pour un client résidentiel disposant d'un compteur mono-horaire. C'est pourquoi, le projet assigné était d'une part, de trouver un fournisseur fiable afin de proposer une batterie adéquate aux consommateurs finaux et d'autre part, d'établir un calculateur de rentabilité pour chaque Région belge destiné aux représentants de vente et aux clients afin d'évaluer le retour sur investissement du dispositif.

Comme nous l'avons vu dans le début du mémoire, la politique énergétique évolue de telle manière que les énergies renouvelables deviennent une part importante du mix énergétique belge. En effet, grâce aux objectifs fixés par la Commission européenne, la part de renouvelable doit augmenter pour l'entière de l'Union européenne. En Belgique, les régions ont agi en faveur de l'utilisation des sources d'énergies renouvelables jusqu'à aujourd'hui. Grâce aux législations mises en place par chacune des régions, les ménages ont été incités à investir créant un ainsi un boom dans les énergies renouvelables.

C'est pourquoi il a, tout d'abord, fallu comprendre s'il était judicieux pour l'entreprise d'entreprendre une stratégie de croissance et de proposer un nouveau produit à la vente. De fait, l'élargissement de la gamme peut être certes une des options pour que l'entreprise connaisse une expansion. Comme nous l'avons vu grâce à la littérature managériale via les cinq forces de Porter, l'entreprise détient actuellement un avantage concurrentiel qui lui donne la possibilité de croître. Après avoir analysé l'industrie du photovoltaïque, il a semblé judicieux pour Energreen de proposer une gamme de produits plus élargie afin de satisfaire un panel de besoins croissants.

Afin d'élargir la gamme, il a été nécessaire de procéder à une recherche de partenaires fiables. À la suite de cela, la batterie adéquate a dû être choisie sur base de plusieurs critères. Finalement, la batterie *LG CHEM RESU 7H* et *10H* ont été sélectionnées.

Sur base du prix de vente de la batterie *RESU 7H*, l'analyse économique a été établie. Force est de constater que les batteries domestiques sont seulement rentables à Bruxelles, contrairement aux deux autres régions. L'un des problèmes de la rentabilité en Wallonie par exemple, réside dans la durée de vie de la batterie. Cela nous laisse penser qu'après 25 ans, la batterie ne fonctionnerait plus alors qu'elle pourrait encore tenir au-delà de cette durée. Ensuite, un autre problème provient des incitants

financiers peu nombreux au niveau régional, freinant ainsi l'investissement des ménages.

Bien que la batterie de stockage d'électricité ne soit pas rentable pour la Région wallonne ni la Région flamande, elle pourrait cependant être profitable pour les clients résidentiels si les régions mettent en application des aides financières à l'achat du dispositif. Comme déjà évoquée auparavant, la législation ne cesse de changer au fur et à mesure du temps. Les batteries de stockage d'électricité pourraient connaître la même tendance qui a été connue par les panneaux photovoltaïques. Par conséquent, des incitants en faveur de l'achat d'une batterie pourraient voir le jour.

Ensuite, comme dit dans le chapitre précédent, il existe également plusieurs manières de consommer son électricité autrement. D'une part, le ménage pourrait décider d'agir sans nécessairement investir dans de nouveaux dispositifs pour plus autoconsommer en essayant de réduire sa consommation d'énergie. D'autre part, d'autres alternatives actuellement plus abordables que les batteries existent sur le marché afin de consommer davantage son électricité.

Une autre solution pour le ménage serait de coupler l'utilisation de ces différents dispositifs (boiler thermodynamique et/ou bornes de recharge électriques et/ou batterie) afin de gagner d'autoconsommer davantage. Ainsi le taux d'autoconsommation des ménages wallons excéderait les 37,76% fixés par le régulateur et ils passeraient donc immédiatement au régime de *tarif réel*. Cependant, même via ce système, les ménages ne verront pas ce dispositif rentabilisé. C'est pourquoi une éventuelle prime (ou tout autre incitant) peut être espérée de leur part. Concernant les ménages flamands, leur système est à revoir étant donné qu'ils n'y voient aucun avantage pour l'instant. Quant aux ménages bruxellois, s'ils décident d'associer les différents dispositifs entre eux, cela pourrait engendrer une plus grande économie et ainsi, un retour sur investissement encore plus rapide.

# Bibliographie

- Agence européenne pour l'environnement. (2017, 17 novembre). *L'énergie en Europe : situation actuelle*. Récupéré le 3 avril 2020 de <https://www.eea.europa.eu/fr/signaux/signaux-2017-1/articles/l2019energie-en-europe-situation-actuelle>
- APERE. (2020, 6 avril). *Production d'énergie renouvelable*. Récupéré le 5 avril 2020 de <http://www.apere.org/fr/observatoire-energies-renouvelables?fbclid=IwAR1j-7VazVM1y9JFIXWD1YFJNCzOw7FZQAwk624cqtNzSS0zNxXFDREGAa0>
- APERE. (2020, 17 avril). *Puissance installée*. Récupéré le 2 avril 2020 de <https://apere.org/fr/observatoire-photovoltaïque>
- APERE. (s.d.). *Statistiques : le solaire photovoltaïque en Belgique*. [PDF]. Récupéré le 2 avril 2020 de [http://www.apere.org/doc/120123\\_CP\\_statistiques\\_photovoltaïque.pdf](http://www.apere.org/doc/120123_CP_statistiques_photovoltaïque.pdf)
- Autoconsommation.io. (s.d.). *Parité réseau ? On vous explique tout !* Récupéré le 2 avril 2020 de <https://autoconsommation.io/autoconsommation/parite-reseau-on-vous-explique-tout>
- Banque nationale de Belgique. (2016, octobre). *Rapport d'évaluation du mécanisme du filet de sécurité des prix de détail du gaz et d'électricité relatif à l'année 2016*, pp.4-5. [pdf]. Récupéré le 3 avril 2020 de [https://www.nbb.be/doc/ts/publications/other/ds1610454\\_mecanisme\\_du\\_filet\\_secu\\_rite\\_rapport\\_octobre2016.pdf](https://www.nbb.be/doc/ts/publications/other/ds1610454_mecanisme_du_filet_secu_rite_rapport_octobre2016.pdf)
- Berk, J. et DeMarzo, P. (2011). *Corporate Finance*. Stanford University : Pearson.
- Bedin, F. (2018, 24 février). *Comment fonctionne une batterie Lithium- Ion ?* Récupéré le 10 avril 2020 de <https://www.01net.com/actualites/comment-fonctionne-une-batterie-lithium-ion-1378434.html>
- Blog Mega. (2019, 26 août). *Investir ou ne pas investir dans une batterie domestique ?* Récupéré le 4 avril 2020 de <https://blog.mega.be/investir-ou-ne-pas-investir-dans-une-batterie-domestique/>
- BRUGEL. (s.d.). *Fin de la compensation sur la partie « coûts de réseau »*. Récupéré le 2 avril 2020 de <https://www.brugel.brussels/actualites/info-pour-les-propriteaires-de-panneaux-photovoltaïques-362>
- BRUGEL. (s.d.). *Mécanisme de certificats verts*. Récupéré le 2 avril 2020 de [https://www.brugel.brussels/acces\\_rapide/energies-renouvelables-11/mecanisme-des-certificats-verts-35](https://www.brugel.brussels/acces_rapide/energies-renouvelables-11/mecanisme-des-certificats-verts-35)
- Bruxelles environnement. (s.d.). *La convention climat et Kyoto*. Récupéré le 5 avril 2020 de <https://environnement.brussels/thematiques/batiment-et-energie/bilan-energetique-et-action-de-la-region/les-engagements>
- Callmepower. (2020). *Quelle est la consommation moyenne d'électricité en Belgique ?* Récupéré le 3 avril 2020 de <https://callmepower.be/fr/energie/guides/consommation/moyenne-electricite>
- Climat.be. (2013). *Les compétences*. Récupéré le 2 avril 2020 de <https://www.climat.be/fr-be/politiques/politique-belge/politique-nationale/competences/>

- Cognet, M. et Carboni, M. (s.d.). *Stockage de l'énergie : évolution des batteries (2/2)*. Récupéré le 12 avril 2020 de <http://culturesciences.chimie.ens.fr/print/1664?print=yes&nid=1664>
- Communal, S. (2019, 24 octobre). SMA Smart Home intelligent energy management. [Présentation de PowerPoint]. SMA Solar Academy : Mechelen.
- Comparateur Energie. (2018, 31 janvier). *Compteur mono ou bi-horaire : lequel vous convient ?* Récupéré le 9 avril 2020 de <https://www.comparateur-energie.be/blog/2016/09/15/choisir-mono-bi-horaire/#definition>
- Comparateur Energie. (2020, 11 mars). *Les différents intervenants du secteur de l'énergie : qui fait quoi ?* Récupéré le 3 avril 2020 de <https://www.comparateur-energie.be/blog/2015/02/25/acteur-marche-energie/>
- Comparateur Energie. (2019, 7 octobre). *Que signifie la libéralisation du marché pour les consommateurs ?* Récupéré le 3 avril 2020 de <https://www.comparateur-energie.be/blog/2015/01/21/liberalisation-marche-energie/>
- Connaissances des énergies. (2013, 2 janvier). *Hydroélectricité : stations de transfert d'énergie pompage (STEP)*. Récupéré le 10 avril 2020 de <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/hydroelectricite-stations-de-transfert-d-energie-par-pompage-step>
- Corporate Finance Institute. (2020). *What is the Payback Period?* Récupéré le 22 avril 2020 de <https://corporatefinanceinstitute.com/resources/knowledge/modeling/payback-period/>
- CWaPE. (2019). *Communication : FAQ – Tarif prosumer*. [pdf]. Récupéré le 10 février 2020 de <https://www.oxira.be/sites/default/files/upload/photovoltaique/note-explicative-prcisant-le-tarif-prosu.pdf>
- CWaPE. (2020). *Comprendre ma facture*. Récupéré le 2 avril 2020 de <https://www.cwape.be/?dir=2.7.01>
- Dauvister. (2020). *Comptes annuels et autres documents à déposer en vertu du code des sociétés*. [pdf]. Liège : Company Web. Récupéré le 20 mars 2020 de <https://www.companyweb.be/company/888476547/free-pub/18758364>
- Dauvister. (2019, 11 décembre). *Certificats verts : vers une modification de la législation à Bruxelles dès 2020*. Récupéré le 3 avril 2020 de [https://www.dauvister.com/fr/news/229\\_certificats-verts-panneaux-solaires-bruxelles-modification-legislation-avril-2020](https://www.dauvister.com/fr/news/229_certificats-verts-panneaux-solaires-bruxelles-modification-legislation-avril-2020)
- Debitoor. (s.d.). *Fonds propres – Qu'est-ce que les fonds propres ?* Récupéré le 5 avril 2020 de <https://debitoor.fr/termes-comptables/fonds-propres>
- Defoy, C. (2019, 29 avril). « Bulle » wallonne des certificats verts : l'opposition s'abstient, le projet adopté en plénière vendredi ? Récupéré le 10 avril 2020 de [https://www.rtb.be/info/regions/detail\\_wallonie-la-resorption-de-l-immense-dette-des-certificats-verts-vient-de-passer-un-premier-cap?id=10207825](https://www.rtb.be/info/regions/detail_wallonie-la-resorption-de-l-immense-dette-des-certificats-verts-vient-de-passer-un-premier-cap?id=10207825)
- Depicker, T. (2019, 5 mars). *La Belgique passe à côté de ses objectifs climatiques*. Récupéré le 5 avril 2020 de <https://www.moustique.be/23251/la-belgique-passe-cote-de-ses-objectifs-climatiques>



- Devolder, P. et Fox, M. et Vaguener, F. (2012). Chapitre 4 : Choix d'investissement et taux de rentabilité interne. [Chapitre de livre]. Dans *Mathématiques financières*. (pp. 65-93). Montreuil : Pearson.
- Doctibike. (s.d.). *Tout savoir sur la batterie au lithium*. Récupéré le 10 avril 2020 de <https://doctibike.com/fr/content/22-tout-savoir-sur-batterie-au-lithium>
- Duchemin, N. (2020). *Dossier d'analyse de la concurrence*. [Document Word]. Wavre : Energreen.
- Ef4. (s.d.). *Comptage de l'électricité*. Récupéré le 7 avril 2020 de <http://www.ef4.be/fr/pv/cadre-legal/comptage-electricite.html>
- Electrosun. (s.d.). *Stockage énergétique SMES*. Récupéré le 10 avril 2020 de <http://electrosun.fr/energy-news-actualites-photovoltaïque-énergie-renouvelable-onduleur-connecteur-MC4-solaire/video-sujets-énergie-renouvelable-solaire/stockage-énergie-batterie-/SMES>
- Energreen. (2019). *Les critères pour de bons panneaux photovoltaïques*. Récupéré le 8 avril 2020 de <https://www.energreen.be/faq/photovoltaïque/investir-photovoltaïque/criteres-pour-de-bons-panneaux-photovoltaïques>
- Energreen. (2019). *Les panneaux (modules) photovoltaïques*. Récupéré le 5 avril 2020 de <https://www.energreen.be/faq/photovoltaïque/comprendre-photovoltaïque/les-panneaux-modules-photovoltaïques>
- Energreen. (2019). *Maca d'Or*. Récupéré le 19 février 2020 de <https://www.energreen.be/glossaire/maca-d-or>
- Energreen. (2019). *Qui sommes-nous ?* Récupéré le 20 février 2020 de <https://www.energreen.be/entreprise-energreen/qui-est-energreen>
- Energie +. (s.d.). *Caractéristiques électriques des cellules et modules*. Récupéré le 8 avril 2020 de <https://sites.uclouvain.be/energie-plus/local/index.php?id=16696#c20550>
- Energuidé. (2020). *Le watt et le kilowattheure, c'est quoi ?* Récupéré le 2 avril 2020 de <https://www.energuide.be/fr/questions-reponses/le-watt-et-le-kilowattheure-cest-quoi/121/>
- Enersol. (s.d.). *Nos solutions pour votre habitation*. Récupéré le 20 mars 2020 de <https://www.enersol.be/mon-habitation/>
- ENGIE. (2019, 20 septembre). *Certificats verts : 5 questions pour tout savoir*. Récupéré le 2 avril 2020 de <https://www.engie.be/fr/blog/actualite-energie/certificats-verts-5-questions-pour-tout-savoir>
- ENGIE. (2019, 30 avril). *Comparez votre consommation électrique moyenne à celle de votre voisin*. Récupéré le 2 avril 2020 de <https://www.engie.be/fr/blog/solutions-pour-la-maison/consommation-electricite-moyenne-belge>
- ENGIE. (2019, 18 décembre). *Courant monophasé et courant triphasé : tout savoir sur ces deux types de courant électrique*. Récupéré le 7 avril 2020 de <https://particuliers.engie.fr/electricite/conseils-electricite/comprendre-electricite/courant-monophas-triphas.html>
- ENGIE. (2019, 22 mars). *Du changement pour le tarif prosommateur en Flandre ?* Récupéré le 3 avril 2020 de <https://www.engie.be/fr/blog/actualite-energie/du-changement-pour-le-tarif-prosommateur-en-flandre-en->

- [2020/?utm\\_medium=native&utm\\_source=lesoir&utm\\_campaign=b2c.native.2019.pv&utm\\_content=primespv](https://www.lesoir.be/actualite/energie/2019/11/20/2020/?utm_medium=native&utm_source=lesoir&utm_campaign=b2c.native.2019.pv&utm_content=primespv)
- ENGIE. (2017, 26 avril). *L'évolution des panneaux photovoltaïques depuis 10 ans*. Récupéré le 2 avril 2020 de <https://www.engie.be/fr/blog/solutions-pour-la-maison/levolution-des-panneaux-photovoltaïques-depuis-10-ans>
  - ENGIE. (2020, 7 janvier). *Le tarif prosumer entrera bien en vigueur en Wallonie en 2020 mais...* Récupéré le 3 avril 2020 de <https://www.engie.be/fr/blog/actualite-energie/nouveau-taxe-panneaux-solaires-wallonie-2020>
  - ENGIE. (s.d.). *Power to gaz*. Récupéré le 10 avril 2020 de <https://www.engie.com/activites/infrastructures/power-to-gaz>
  - Energide. (2020). *Qu'est-ce que le kilowatt-crête (kWc) ?* Récupéré le 3 avril 2020 de <https://www.energide.be/fr/questions-reponses/quest-ce-que-le-kilowatt-crete-kwc/1409/>
  - Eurostat. (2019, 10 juillet). *La population de l'UE en hausse à plus de 513 millions d'habitants au 1<sup>er</sup> janvier 2019*. [pdf]. Récupéré le 2 avril 2020 de <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/2995521/9967990/3-10072019-BP-FR.pdf/eb54774b-b431-4d02-b230-9de4aea40d17>
  - Eurostat. (2020). *Prix de l'électricité par type d'utilisateur*. Récupéré le 3 avril 2020 de <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ten00117/default/table?lang=fr>
  - Eurostat. (2020, 24 janvier). *Statistiques sur les prix de l'électricité*. Récupéré le 2 avril 2020 de [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Electricity\\_price\\_statistics/fr](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Electricity_price_statistics/fr)
  - FEBEG. (2020). *Statistiques électricité*. Récupéré le 1<sup>er</sup> avril 2020 de <https://www.febeg.be/fr/statistiques-electricite>
  - Fluvius. (2020). *Heb ik recht op groenestroomcertificaten?*. Récupéré le 3 avril 2020 de <https://www.fluvius.be/nl/thema/zonnepanelen/heb-ik-recht-op-groenestroomcertificaten>
  - Forum Nucléaire. (s.d.). *Comment se fait-il que les centrales nucléaires soient si économes en émission de CO<sub>2</sub>?* Récupéré le 8 avril 2020 de <https://www.forumnucleaire.be/theme/la-technologie-nucl%C3%A9aire-pour-les-nuls/comment-se-fait-il-que-les-centrales-nucl%C3%A9aires-soient-si-%C3%A9conomes-en-%C3%A9mission-de-co2>
  - Forum Nucléaire. (s.d.). *L'énergie nucléaire dans l'Union européenne*. Récupéré le 2 avril 2020 de <https://www.forumnucleaire.be/theme/dans-le-monde/lunion-europeenne>
  - Forum Nucléaire. (s.d.). *Quelles sont les conséquences possibles d'une sortie du nucléaire en 2025 ?* Récupéré le 5 avril 2020 de [https://www.forumnucleaire.be/et-apres-2025?gclid=CjwKCAjw2a32BRBXEiwAUcugiEhsf\\_vBgSua5ydGmUEMRBDJ2QuoPs0iLkDcG3q3yA7JMh2Yals1hRoCmH4QAvD\\_BwE&gclsrc=aw.ds](https://www.forumnucleaire.be/et-apres-2025?gclid=CjwKCAjw2a32BRBXEiwAUcugiEhsf_vBgSua5ydGmUEMRBDJ2QuoPs0iLkDcG3q3yA7JMh2Yals1hRoCmH4QAvD_BwE&gclsrc=aw.ds)
  - Forum Nucléaire. (2018, 29 janvier). *Mix électrique belge en 2017 : la plus importante source d'électricité bas-carbone est le nucléaire*. Récupéré le 2 avril 2020 de <https://www.forumnucleaire.be/actus/nouvelle/mix-energetique-belge-en-2017>
  - Forum Nucléaire. (2018, 29 novembre). *Une diminution de l'énergie nucléaire entraîne une augmentation des émissions de CO<sub>2</sub> en Belgique*. Récupéré le 25 avril 2020 de

- <https://www.forumnucleaire.be/actus/nouvelle/une-diminution-de-lenergie-nucleaire-entraîne-une-augmentation-des-emissions-de-co2-en-belgique>
- Futech. (2020). *Quelle est la durée de vie de l'onduleur ?* Récupéré le 8 avril 2020 de <https://www.futech.be/fr/quelle-est-la-duree-vie-londuleur/>
  - Gabriele, F. (2020, 24 janvier). *Onduleurs, micro-onduleurs et optimiseurs pour panneau solaire*. Récupéré le 29 avril 2020 de <https://www.insunwetrust.solar/blog/le-solaire-et-vous/onduleur-optimiseur/>
  - Global Carbon Atlas. (2019). *Europe Territorial Emissions*. Récupéré le 29 avril 2020 de <http://www.globalcarbonatlas.org/en/CO2-emissions>
  - Haveaux, C., Wilkin, B. (2018, 11 avril). *Bulle de certificats verts : enfin une solution ?* Récupéré le 2 avril 2020 de <https://www.renouvelle.be/fr/debats/bulle-de-certificats-verts-enfin-une-solution>
  - Haveaux et al. (2018, 14 novembre). *Petit éolien, grands soucis*. Récupéré le 6 avril 2020 de <https://www.renouvelle.be/fr/technologies/petit-eolien-grands-soucis>
  - Hellowatt. (2020, 13 février). *Tout comprendre de la puissance crête et des différentes unités de vos panneaux photovoltaïques*. Récupéré le 2 avril 2020 de <https://www.hellowatt.fr/panneaux-solaires-photovoltaïques/puissance-crete>
  - Huawei. (2019, 6 juin). *SUN2000L-(2KTL-5KTL). User Manual*. p.12. Récupéré le 2 février 2020 de <https://e.huawei.com/fr/>
  - Ilinca, D. (2020, 22 janvier). *Panneaux photovoltaïques : vers la fin du système de compensation ?* Récupéré le 4 avril 2020 de <https://www.comparateur-energie.be/blog/2020/01/22/panneaux-photovoltaïques-vers-la-fin-du-systeme-de-compensation/>
  - Imsolar. (2020). *Ses avantages incontestés*. Récupéré le 29 avril 2020 de <https://im.solar/fr/batterie-solaire/batterie-lg-chem-resu7h-7kwh-80.html>
  - INRS. (2018, avril). *Charge des batteries d'accumulateurs au plomb*. [pdf]. Récupéré le 10 avril 2020 de <file:///C:/Users/Sarah%20Sarigul/Downloads/ed6120.pdf>
  - Iweps. (2020). *Part d'énergie renouvelable dans la consommation énergétique*. Récupéré le 28 avril 2020 de <https://www.iweps.be/indicateur-statistique/part-denergie-renouvelable-consommation-energetique/>
  - Johnson, G. et al. (2017). Chapter 3 : Industry and sector analysis [Chapitre du livre]. Dans *Exploring strategy* (eleventh edition, pp. 62-95). Harlow: Pearson.
  - Johnson, G. et al. (2017). Chapter 8 : Corporate strategy and diversification [Chapitre du livre]. Dans *Exploring strategy* (eleventh edition, pp. 242-252). Harlow: Pearson.
  - L'Echo. (2019, 18 septembre). *Premières interventions en cas de panne de courant*. Récupéré le 19 avril 2020 de <https://www.lecho.be/partner/schneider-electric/efficacite-energetique/premieres-interventions-en-cas-de-panne-de-courant/10163612.html>
  - L'expert-comptable. (2018, 30 avril). *La marge brute : un indicateur clé de performance*. Récupéré le 25 mars 2020 de <https://www.l-expert-comptable.com/dossiers/la-marge-brute-un-indicateur-cle-de-performance.html>
  - Lepage, M. (2020, 25 mars). *5 conseils pratiques pour estimer votre consommation d'électricité*. Récupéré le 2 avril 2020 de <https://www.comparateur-energie.be/blog/2017/11/16/calcul-consommation-electricite/>

- Leroy, S. (2019, 5 mars). *La Belgique ratera ses objectifs climatiques*. Récupéré le 5 avril 2020 de <https://www.lecho.be/dossier/climat/la-belgique-ratera-ses-objectifs-climatiques/10104330.html>
- LG CHEM. (s.d.). *Change your energy charge your life*. [pdf]. Récupéré le 12 octobre 2019 de [file:///C:/Users/Sarah%20Sarigul/Downloads/160712\\_New-RESU-leaflet\\_Global-small.pdf](file:///C:/Users/Sarah%20Sarigul/Downloads/160712_New-RESU-leaflet_Global-small.pdf)
- Lumiworld. (2020, 5 mars). *Compteurs intelligents : le tableau de la situation*. Récupéré le 4 avril 2020 de <https://lumiworld.luminus.be/fr/investissements-malins/compteurs-intelligents-le-tableau-la-situation/>
- Marcheteau, G. (2019, 29 avril). *Quelle est la différence entre un panneau solaire et un panneau photovoltaïque ?* Récupéré le 15 avril 2020 de <https://www.lenergiesoutcompris.fr/actualites-et-informations/photovoltaique-solaire/quelle-est-la-difference-entre-un-panneau-solaire-et-un-panneau-photovoltaique-48515>
- Masolise. (s.d.). *Comparaison des différentes technologies de batterie lithium, plomb*. Récupéré le 10 avril 2020 de <https://www.masolise.com/comparatif-technologie-batterie>
- Meteoslins. (2010). *L'énergie solaire photovoltaïque*. Récupéré le 5 avril 2020 de <http://www.meteoslins.be/photovoltaique03.php>
- Ministère de la transition écologique et solidaire. (2020, 28 février). *Cadre européen énergie-climat*. Récupéré le 10 avril 2020 de <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/cadre-europeen-energie-climat>
- Monenergie. (2020). *Libéralisation du marché de l'énergie en Belgique*. Récupéré le 2 avril 2020 de <https://www.monenergie.be/liberalisation-energie-electricite-gaz-Belgique->
- Nemeth, F. (2015, 6 décembre). *Tout comprendre sur le « burden sharing »*. Récupéré le 26 avril 2020 de [https://www.rtb.be/lapremiere/article/detail\\_tout-comprendre-sur-le-burden-sharing?id=9156895](https://www.rtb.be/lapremiere/article/detail_tout-comprendre-sur-le-burden-sharing?id=9156895)
- ORES. (2020). *Le tarif prosumer*. Récupéré le 3 avril 2020 de <https://www.ores.be/particuliers-et-professionnels/tarif-prosumer>
- Parlement européen. (2020). *Énergies renouvelables*. [pdf]. Récupéré le 2 avril 2020 de [https://www.europarl.europa.eu/ftu/pdf/fr/FTU\\_2.4.9.pdf](https://www.europarl.europa.eu/ftu/pdf/fr/FTU_2.4.9.pdf)
- Plan national énergie-climat. (2019, 18 décembre). *Plan National intégré Énergie Climat Belge*. [pdf]. Récupéré le 5 avril 2020 de <https://www.plannationalenergieclimat.be/admin/storage/nekp/pnec-version-finale.pdf>
- Puglia, M. (2019, 27 septembre). Responsable du département « Business development ». (Entretien). Wavre.
- RTBF. (2020, 23 janvier). *La Belgique est à la traîne en matière d'énergies renouvelables*. Récupéré le 4 avril 2020 de [https://www.rtb.be/info/economie/detail\\_la-belgique-est-a-la-traine-en-matiere-d-energies-renouvelables?id=10414410](https://www.rtb.be/info/economie/detail_la-belgique-est-a-la-traine-en-matiere-d-energies-renouvelables?id=10414410)
- RTBF. (2019, 22 mars). *Le prix de l'électricité a augmenté de plus de 60% en Belgique depuis la libéralisation*. Récupéré le 5 avril 2020 de

- [https://www.rtbef.be/info/economie/detail\\_le-prix-de-l-electricite-a-augmente-de-plus-de-60-en-belgique-depuis-la-liberalisation?id=10178075](https://www.rtbef.be/info/economie/detail_le-prix-de-l-electricite-a-augmente-de-plus-de-60-en-belgique-depuis-la-liberalisation?id=10178075)
- RTBF. (2014, 9 avril). *Le prix de l'électricité a diminué... Et votre facture ?* Récupéré le 3 avril 2020 de [https://www.rtbef.be/info/economie/detail\\_le-prix-de-l-electricite-a-diminue-mais-pas-la-facture-des-menages?id=8242569](https://www.rtbef.be/info/economie/detail_le-prix-de-l-electricite-a-diminue-mais-pas-la-facture-des-menages?id=8242569)
  - Selectra. (2020). *Consommation moyenne d'électricité d'une maison*. Récupéré le 3 avril 2020 de <https://selectra.info/energie/guides/conso/consommation-moyenne-electricite/maison>
  - Sibelga. (2019, 22 janvier). *SolarClick : 15 000 m<sup>2</sup> de panneaux photovoltaïques en plus à Bruxelles en 2018 !* Récupéré le 10 février 2020 de <https://www.sibelga.be/fr/blog/solarclick-15000-m2-panneaux-photovoltaïques-bruxelles-2018>
  - SMA Solar. (2016). *Gestion de l'ombrage*. Récupéré le 8 avril 2020 de <https://www.sma-france.com/centre-de-connaissances/conseils-techniques-avant-l'installation/gestion-de-lombrage.html>
  - Smartgrids-cre. (s.d.). *Les différentes technologies stationnaires de stockage de l'électricité*. Récupéré le 10 avril 2020 de <http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?p=stockage-technologies>
  - Sonnengroup. (2020). *It's time to declare your independence – sonnenBatterie*. Récupéré le 1er février 2020 de <https://sonnengroup.com/sonnenbatterie/>
  - SOS Photovoltaïque. (2020). *Qui sommes-nous ?* Récupéré le 25 mars 2020 de <https://www.sos-photovoltaique.be/accueil/qui-sommes-nous>
  - SPF économie. (2019, 24 septembre). *Composition du prix de l'énergie*. Récupéré le 2 avril 2020 de <https://economie.fgov.be/fr/themes/energie/prix-de-lenergie/composition-du-prix-de>
  - Sury, C. (2020, 12 février). *Investir dans des panneaux photovoltaïques reste rentable*. Récupéré le 2 avril 2020 de [https://www.lecho.be/monargent/immobilier/renover/investir-dans-des-panneaux-photovoltaïques-reste-rentable/10205836.html?fbclid=IwAR3y8Rii5YotHsx5f-HiZ-EGpT5XDBIA\\_mANT9jV30IR2z\\_R357PKtQMQ](https://www.lecho.be/monargent/immobilier/renover/investir-dans-des-panneaux-photovoltaïques-reste-rentable/10205836.html?fbclid=IwAR3y8Rii5YotHsx5f-HiZ-EGpT5XDBIA_mANT9jV30IR2z_R357PKtQMQ)
  - Transénergie. (s.d.). *Onduleurs photovoltaïques raccordés au réseau*. [Présentation Power Point]. Lyon.
  - Trends-Tendances. (2020, 13 février). *Gazelles Brabant Wallon 2020 « Petites entreprises » - Energreen Solutions : plein soleil*. Récupéré le 25 mars 2020 de <https://trends.levif.be/economie/entreprises/gazelles-brabant-wallon-2020-petites-entreprises-energreen-solutions-plein-soleil/article-normal-1250281.html>
  - Terresolaire. (2018, 13 février). *Batterie panneau solaire : gagner en autonomie à domicile et sur site isolé*. Récupéré le 28 avril 2020 de <https://terresolaire.com/Blog/autoconsommation-photovoltaique/batterie-panneau-solaire-autonomie/>
  - Verhasselt, P. (2019). *Environnement*. Syllabus. ICHEC, Bruxelles.
  - VREG. (2020). *Prosumementarief*. Récupéré le 3 avril 2020 de <https://www.vreg.be/nl/prosumementarief-sector>

- Wallonie. (2018, 18 septembre). *Certificats verts : les mesures du Gouvernement contre la bulle photovoltaïque*. Récupéré le 2 avril 2020 de <https://www.wallonie.be/fr/actualites/certificats-verts-les-mesures-du-gouvernement-contre-la-bulle-photovoltaïque>
- Wallonie énergie SPW. (2020, 27 mars). *Les transactions de certificats verts*. Récupéré le 2 avril 2020 de <https://energie.wallonie.be/fr/les-transactions-de-certificats-verts.html?IDC=9822&IDD=135920>
- Wallonie énergie SPW. (s.d.). *Tout savoir sur Quali watt*. Récupéré le 2 avril 2020 de <https://energie.wallonie.be/fr/qualiwatt.html?IDC=9827>

