

## **Mémoire de fin d'études : "La rentabilité des batteries domestiques dans une habitation uni-familiale belge en 2019"**

**Auteur :** Pierret, Dimitri

**Promoteur(s) :** Greisch, Philippe

**Faculté :** Faculté d'Architecture

**Diplôme :** Master en architecture, à finalité spécialisée en art de bâtir et urbanisme

**Année académique :** 2018-2019

**URI/URL :** <http://hdl.handle.net/2268.2/7347>

---

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

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

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

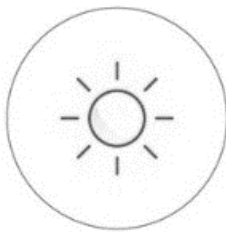
---

Université de Liège

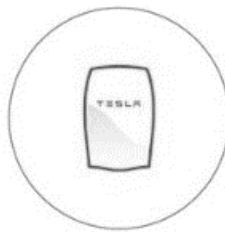
Faculté d'Architecture

---

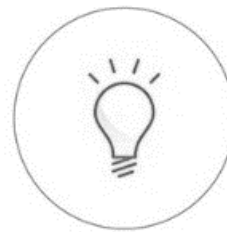
# La rentabilité des batteries domestiques dans une habitation unifamiliale belge en 2019



Harness



Store



Power

Travail de fin d'études présenté par Dimitri PIERRET en vue de l'obtention du grade de  
master en Architecture

Sous la direction de Philippe GREISCH

Année académique 2018-2019

Axe de recherche : Haute qualité constructive - Science et technologie de l'architecture





---

UNIVERSITÉ DE LIÈGE – FACULTÉ D’ARCHITECTURE

# La rentabilité des batteries domestiques dans une habitation unifamiliale belge en 2019

Travail de fin d’études présenté par Dimitri PIERRET en vue de l’obtention du grade de  
Master en Architecture

Sous la direction de : Philippe Greisch

Année académique 2018-2019

Axe(s) de recherche : Haute qualité constructive



# Table des Matières

---

I.	REMERCIEMENTS	7
II.	TABLE DES ILLUSTRATIONS	8
III.	INTRODUCTION	10
IV.	LA BELGIQUE EN 2019	12
<b>A.</b>	<b>La mentalité belge</b>	<b>12</b>
1.	La politique énergétique	12
2.	Le coût de l'énergie	14
3.	Les certificats verts	17
4.	Le principe de non-autoconsommation	18
5.	La taxe sur le rejet ou tarif Prosumer	21
6.	La déclaration PEB	22
<b>B.</b>	<b>La consommation moyenne d'un ménage en Belgique</b>	<b>24</b>
1.	Composition de ménage	24
2.	La consommation électrique moyenne	25
3.	La consommation journalière	28
<b>C.</b>	<b>Les conditions météorologiques</b>	<b>29</b>
1.	Les ressources disponibles	29
<b>D.</b>	<b>La Belgique en 2050</b>	<b>32</b>
V.	L'ÉQUIPEMENT	34
<b>A.</b>	<b>Les batteries</b>	<b>34</b>
1.	L'automobile comme déclencheur	34
2.	Les précurseurs	35
3.	La technologie lithium-ion	35
4.	La limite écologique	36
5.	Les autres technologies	36
6.	Capacité technique	38

<b>B.</b>	<b>Les différentes approches de recharge</b>	<b>42</b>
1.	Le photovoltaïque	42
2.	L'éolien	43
3.	Le réseau traditionnel	44
4.	Les groupes électrogènes	45
5.	Véhicule-to-grid (V2G)	46
<b>VI.</b>	<b>LA RENTABILITÉ</b>	<b>47</b>
<b>A.</b>	<b>Le prix des batteries</b>	<b>48</b>
1.	Comparaison	48
2.	Prix placé	50
<b>B.</b>	<b>Le retour sur investissement</b>	<b>52</b>
1.	Pour une autoconsommation améliorée	52
2.	Par une autonomie totale	55
<b>VII.</b>	<b>CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES</b>	<b>57</b>
<b>VIII.</b>	<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	<b>60</b>
<b>IX.</b>	<b>ANNEXES</b>	<b>66</b>
<b>A.</b>	<b>Devis de placement</b>	<b>67</b>
<b>B.</b>	<b>Devis extension</b>	<b>68</b>

---

## I. Remerciements

---

*Avant d'aller plus loin, je souhaite exprimer ma gratitude envers toute personne ayant participé de près ou de loin à l'élaboration ou aux discussions permettant la remise en question de ce travail.*

*Je tiens à exprimer mes sincères remerciements à mon promoteur Philippe Greisch pour ses points de vues éclairés sur de nombreux sujets ainsi que son soutien dans la mise en place des réflexions de ce travail.*

*Ce mémoire n'aurait pu exister sans la participation de Vincent Bellin, ingénieur au sein de la société Enersol, et des conférences instructives dont j'ai pu bénéficier.*

*Je tiens à remercier les membres du jury pour avoir bien voulu examiner et juger ce travail.*

*Je remercie également Ninon Puttaert pour l'aide précieuse et la motivation qu'elle m'a apporté.*



## II. Table des Illustrations

Figure 1- Illustration approvisionnement réseau (Engie, 2015) .....	13
Figure 2- Production d'énergie électrique par rapport au CO2 en 2017 (Forum Nucléaire, 2019a) .....	14
Figure 3- Graphique répartition des coûts de l'électricité (CREG, 2019 ).....	15
Figure 4 - Prix du Kwh en avril 2019 (Comparateur-energie.be, 2019).....	16
Figure 5 - Schéma fonctionnement photovoltaïque et réseau (Atout Energie, 2017)	19
Figure 6 - Graphique des consommations et de production photovoltaïque. (Enersol, 2019b).....	19
Figure 7- Graphique Monitoring (Enersol, 2019b) .....	20
Figure 8- Graphique répartition Ménage Belgique (IWEPS, 2018) .....	24
Figure 9- Tableau comparatif chauffage électrique (Callmepower, 2019b) .....	26
Figure 10 - Cartographie d'irradiation européenne (Energie Facteur 4, 2006) .....	29
Figure 11- Graphique des productions photovoltaïques par mois (Energie Facteur 4, 2008).....	30
Figure 12 - Tableau des vitesses moyennes du vent par mois 1981 - 2010 (IRM, 2014) .....	31
Figure 13 - Graphique de puissance électrique demandé par heure (Elia, 2019) .....	32
Figure 14 - Fiche technique Powerwall 2 Tesla (Tesla, 2019b) .....	38
Figure 15 - Fiche technique Lg Chem RESU 3.3 / 6.5 / 9.8 kWh (LG Chem, 2019)	39
Figure 17 - Schéma annoté système haute tension (Enersol, 2019c).....	40
Figure 16 - Schéma annoté système basse tension (Enersol, 2019b).....	40
Figure 18 - Tableau récapitulatif système AC / DC (Enersol, 2019a).....	41
Figure 19 - Graphique fonctionnement batterie (Enersol, 2019b).....	42
Figure 20 - Tableau comparatif de différentes batteries .....	49
Figure 21 - Tableau récapitulatif prix batterie basse tension (Enersol, 2019b) .....	50
Figure 22 - Tableau récapitulatif prix haute tension (Enersol, 2019c) .....	50
Figure 23 - Schéma explicatif de fonctionnement de rejet et prélèvement du réseau (Enersol, 2019a) .....	52
Figure 24 – Comparaison capacitaire / proportionnel autoconsommation classique de 30 % (Enersol, 2019a).....	53
Figure 25 - Comparaison capacitaire / proportionnel avec autoconsommation de 80 % (Enersol, 2019a) .....	53

Figure 26 - Comparaison entre capacitaire / proportionnel avec autoconsommation inférieur à 20 % (Enersol, 2019a) .....	53
--	----

### III. Introduction

---

Ce travail de fin d'études est une approche de la rentabilité des batteries nouvelle génération utilisées dans les habitations, le but étant d'arriver à une réflexion critique sur le réel intérêt de cet équipement. Le mot rentabilité doit donc être défini de prime abord afin de rendre ce travail cohérent.

L'architecture est une discipline qui englobe une multitude de compétences aussi bien techniques que philosophiques. Elle apporte un point de vue critique sur le monde de l'art ainsi que sur les capacités techniques de domaines allant de la construction jusqu'à la ventilation en passant par l'électricité, le parement, la décoration, etc. Les disciples de ce domaine ne maîtrisent jamais un sujet à cent pour cent, ce qui serait impossible, mais sont des élèves en apprentissage constant dans de nombreux domaines. La clef du succès réside dans l'intérêt porté au plus large éventail de sujets possibles. C'est précisément pour cette raison que la rentabilité est ici définie de manière prospective et peu quantitative. Nous nous concentrerons sur la capacité de ce système à fournir des bénéfices ou non, qu'ils se présentent sous forme d'argent ou de confort. Le calcul précis de la rentabilité exacte de ces technologies sera laissé à l'avis éclairé des ingénieurs. Des chiffres seront malgré tout indispensables pour comprendre les idées développées, c'est pourquoi la plupart des arguments exposés seront appuyés par un compte rendu de chiffres provenant de sources fiables.

Actuellement, l'équipement technique dans une maison constitue un enjeu crucial et inhérent à la construction. Les déclarations PEB sont obligatoires, la ventilation, le système de chauffage, les étanchéités, etc. sont tous, particulièrement soignés. Les pendants écologiques de ces réglementations tendent non seulement à faire l'unanimité dans la population, mais constituent également une plus-value économique si le projet est correctement étudié. Qu'en est-il de l'équipement électrique ? Nous pouvons donner l'exemple des voitures qui sont équipées de batteries de plus en plus performantes. De manière plus spécifique, Tesla veut révolutionner les maisons en plaçant des batteries Powerwall dans les habitations, Nissan embraye avec sa XSTORAGE, Lg avec sa CHEM, etc. Les industries proposent continuellement de nouvelles alternatives, à nous de décider de nous adapter ou non.

La Belgique connaît actuellement une crise de l'énergie sans précédent : le prix du transport de l'électricité représente un tiers de la facture des consommateurs. De plus en plus de personnes déçues du système font le pas de devenir totalement autonomes en électricité grâce

à ces nouvelles technologies. Que dire des accords passés contre le nucléaire ? Certains experts parlent même d'éventuelles coupures d'électricité (black-out) pour les années à venir. Ces batteries nous permettraient-elles de garder nos maisons indépendantes ?

## IV. La Belgique en 2019

---

### A. La mentalité belge

#### 1. La politique énergétique

Les décisions liées à la gestion de l'énergie en Belgique sont, à l'image de la politique générale, d'une complexité sans nom. Les trois régions (wallonne, flamande et Bruxelles-Capitale) ont des pouvoirs décisionnels en la matière sur leur territoire respectif. Chacune est indépendante l'une par rapport à l'autre, ce qui signifie qu'elles n'ont aucune obligation de s'accorder, ce qui implique de surcroît une complexification supplémentaire du système du point de vue de l'égalité entre habitants du même pays. Cependant, le problème central relève du fait que l'autorité fédérale a également son mot à dire ; notamment sur le déclassement des centrales nucléaires et sur le transport de l'énergie, rendant le système totalement incohérent (SPF Economie, 2019). En 2005, des experts de l'agence internationale de l'énergie ont déclaré : « ...il est difficile d'atteindre les politiques nationales en matière d'énergie. Cela peut réduire l'efficacité et l'efficacités des systèmes énergétiques en Belgique de manière générale. »<sup>1</sup> (IEA, 2005). Cependant, les régions semblent s'accorder autour de mêmes thèmes comme l'efficacité et l'approvisionnement. Elles gèrent le transport des moyennes et basses tensions, mais pas la haute tension celle-ci étant gérée par le fédéral. Cela constitue, à mon sens, une aberration de plus dans le système déjà très complexe. Les régions ont défini des autorités de contrôle gérant le marché libéralisé : CWaPE pour la région wallonne, BRUGEL pour Bruxelles-Capitale et VREG pour la région flamande. Un organisme appelé la CREG a également été créé dans le but de vérifier l'application des lois et des règlements. Des gestionnaires de réseaux de distribution (GRD) assurent la distribution des habitations et des PME par l'intermédiaire du réseau basse et moyenne tension, ils jouent souvent le rôle de fournisseur d'électricité, qu'il ne faut pas confondre avec les producteurs de courant. Cependant, un producteur peut également être fournisseur mais pas toujours (CWAPE, 2019a). En voici un exemple : Electrabel (qui est majoritairement privé mais pour lequel l'état belge a des parts de marché) est un producteur de courant, mais également un fournisseur. La société produit notamment de l'électricité dans les centrales nucléaires et la revend ensuite à d'autres

---

<sup>1</sup> « [...] it is challenging to achieve national energy policy goals. This can reduce the efficiency and the effectiveness of the energy systems of Belgium as a whole. »

fournisseurs, qui eux-même la revendent aux particuliers. Il existe beaucoup de fournisseurs, une soixantaine pour être exact (Luminus, Lampiris, Essent, ...). Ces exemples suffisent à démontrer la complexité et l'incohérence sans nom du système belge, bien qu'il soit encore possible de mentionner les intercommunales qui sont, quant à elles, des fournisseurs ayant survécu à la libéralisation du marché (Mon Energie, 2019). La Belgique a encouragé cette politique dépourvue de logique, créant ainsi un climat d'incompréhension pour le consommateur tout en affirmant vouloir jouer la carte de la simplicité et de la transparence, alors que toutes deux sont absolument inexistantes ! Cet état de fait pousse donc les Belges à vouloir être de plus en plus autonomes en matière d'énergie et par conséquent à ouvrir un marché plus important pour les batteries domestiques.

La production d'énergie électrique belge est assurée par deux mécanismes principaux. La première est la production dite 'grise', principalement les centrales nucléaires (Tihange et Doel), le charbon et le pétrole (Central turbine gaz vapeur). La deuxième dite 'verte' constituée de la production des énergies renouvelables englobant les parcs éoliens, les centrales hydroélectriques, la biomasse et le photovoltaïque. Ces différents modes de production existent pour alimenter ce qu'on appelle des utilisateurs finaux (particuliers, industries, commerces, etc.) (Electabel, 2015).



Figure 1- Illustration approvisionnement réseau (Engie, 2015)

Le 31 janvier 2003, la Belgique adoptait une loi sur la sortie progressive du nucléaire avec arrêt définitif pour 2025. Le but de cette loi était d'amorcer la transition énergétique et limiter la production d'énergie 'grise' afin de pouvoir la remplacer par des producteurs d'énergie 'verte' considérée comme plus 'propre' (Forum Nucléaire, 2019a). Les ministres de l'époque estimaient, non sans une certaine pression de quelques individus réticents au nucléaire,

qu'il était temps d'en finir. Le nœud du problème est qu'en termes de production électrique, le nucléaire reste le choix le plus avantageux si on se réfère au combat des politiques pour la réduction des émissions de CO<sub>2</sub>. Le mix énergétique de la figure 2 nous indique des chiffres pour le moins interpellants.



Figure 2- Production d'énergie électrique par rapport au CO<sub>2</sub> en 2017 (Forum Nucléaire, 2019a)

Dès lors, il apparaît impossible de renforcer à la fois la lutte contre les émissions de CO<sub>2</sub> (et donc par extension de lutter contre le réchauffement climatique) et de suivre les politiques anti-nucléaires actuelles si ce choix nous prive de la principale source d'énergie la moins émettrice de particules. Un choix logique serait sans nul doute de travailler sur les énergies fossiles, car il est beaucoup plus simple de trouver des alternatives en termes de production électrique pour 32% de production que pour 58%.

Cet élément supplémentaire vient s'ajouter à la liste des exemples qui tendent à démontrer l'incohérence de la politique belge à savoir que les actions entreprises concernent rarement les sujets centraux à la situation-problème et permettent donc rarement d'atteindre une évolution positive de la situation. Les batteries domestiques constituent une solution potentielle à ce problème en permettant à une large majorité de devenir acteur de leur production électrique. Des arguments permettant de motiver les consommateurs à faire le pas existent. On peut notamment citer les primes au placement ou encore les certificats verts qui, comme nous le verrons par la suite, furent une grande déception pour une majorité de Belges.

## 2. Le coût de l'énergie

Comme nous l'avons vu au chapitre précédent, le mécanisme de gestion de l'énergie est extrêmement complexe. Cet imbroglio engendre donc des différences importantes en termes de coût d'une région à l'autre en fonction de la politique appliquée.

Le prix de l'électricité s'articule autour de quatre points principaux (Lepage, 2018) :

- Le prix de l'énergie englobe : le prix de production (l'argent relatif à la production dans les centrales nucléaires, éoliennes, etc.) avec la marge que le fournisseur applique. De manière exacte, le prix d'achat du courant, le prix de gestion des clients, la marge appliquée sur le prix d'achat, le marketing. C'est la seule variante de l'équation qui diffère entre les concurrents.
- Les tarifs de transport : ils sont dus à l'utilisation des lignes haute tension pour acheminer le courant jusqu'au gestionnaire de réseau de distribution (GRD). Ce prix est fixé par le gestionnaire du réseau de transport, à savoir Elia.
- Les tarifs de distribution : ils sont dus à l'utilisation et l'entretien du réseau basse et moyenne tension acheminant le courant depuis le GRD jusqu'à l'utilisateur final. Les tarifs de transport et de distribution sont fixés par la CREG mais peuvent varier d'une région à l'autre en fonction de la facilité à fournir du courant dans une zone ou l'autre.
- Les taxes : elles sont demandées par le fédéral et le régional notamment pour financer les missions de services publics.

Ces points se retrouvent sur la figure 3 et sont d'application pour la région wallonne. On remarque que le prix réel de l'électricité pour sa production ne représente que +/- ¼ de la facture (23.25%), le reste servant à l'entretien du réseau et les taxes. Ces éléments renforcent davantage l'idée que l'autonomie est un choix avantageux en Belgique.

#### Electricité en Wallonie - Résidentiel

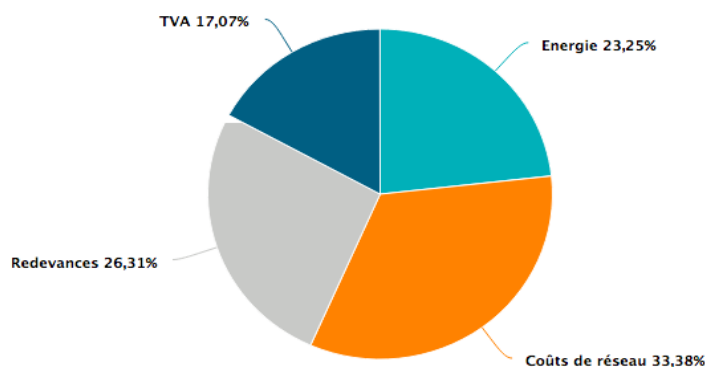


Figure 3- Graphique répartition des coûts de l'électricité (CREG, 2019 )

Le prix peut également varier en fonction du compteur électrique choisi. En effet, un compteur bi-horaire permet de différencier le tarif de nuit du tarif de jour. Ce tarif peut également varier si l'utilisateur choisit un tarif fixe ou un tarif variable, compliquant un peu plus



le choix à effectuer. De manière générale, le prix moyen d'un Kilowatt Heure au prix normal est de 0.0876€ si on se base sur les données de plusieurs fournisseurs (Figure 4). Une optimisation est possible en faisant le choix du tarif le plus adéquat au besoin réel du consommateur avec un compteur approprié. Mais, comme nous pouvons le constater, le tarif bi-horaire applique des prix de jour plus élevés, il est donc primordial de le savoir et de gérer sa consommation en conséquence si cette méthode est sélectionnée. Les chiffres ci-dessous ne reprennent pas l'entièreté du prix facturé à la personne intéressée, mais simplement la partie énergie plus la TVA.

Prix de l'électricité (c€/kWh) en Flandre et en Wallonie, TVAC – à jour en avril 2019

Fournisseur	Nom de l'offre	Monohoraire	Bihoraire		Exclusif de nuit	Redevance (€/an)
			Jour	Nuit		
Engie Electrabel	Easy fixed	9,25	10,61	7,94	7,94	50
Luminus	Comfy Green	8,42	9,69	6,73	6,73	72,60
Lampiris	TOP	7,21	8,44	6,07	6,95	85
Eneco	Soleil & Vent fixe	9,58	11,88	8,58	8,58	50
Essent	Fixe vert	9,37	10,06	8,14	8,14	69,95

Figure 4 - Prix du Kwh en avril 2019 (Comparateur-energie.be, 2019)

En 2007 a eu lieu, dans le pays, ce qu'on appelle la libéralisation complète du marché de l'énergie. Cette manœuvre avait pour but de supprimer les 'intercommunales' gérant la distribution au profit de sociétés particulières afin de faire jouer la concurrence entre ces nouveaux fournisseurs pour baisser les prix. Il faut savoir que certaines intercommunales ont été conservées et continuent à gérer la distribution de courant, alors que d'autres ont fusionné pour donner naissance à de nouvelles sociétés comme par exemple ORES ou TECTEO RESA. Le plus inquiétant dans cette démarche, mais qui reste malgré tout cohérent dans la logique belge, est que l'effet escompté est totalement inverse : les prix n'ont jamais été aussi hauts. En 2016, la CREG annonçait une augmentation du prix de 69.51% depuis le début de la réforme (Belga, 2019). Au vu de l'augmentation impressionnante entre 2016 et 2019, nous pouvons constater que ce score a largement été dépassé. En septembre 2018, le professeur Damien Ernst, spécialiste de l'énergie à l'université de Liège, déclarait ceci : "Un ménage qui avait un contrat à prix fixe pour son électricité payera en 2019 100 euros de plus qu'en 2018. Quelqu'un qui a

*un contrat à prix variable payera déjà 100 euros de plus en 2018 par rapport à 2017*" (RTBF Info, 2018). La libéralisation n'est pas seule responsable de cette augmentation, la volonté de sortir du nucléaire l'est tout autant. Les énergies vertes coûtent beaucoup plus cher que le nucléaire, ce qui a un effet non négligeable sur la facture finale du consommateur. Par conséquent, l'avenir de l'énergie en Belgique est de plus en plus préoccupant, sans parler des éventuels black-out que la sortie du nucléaire pourrait engendrer (Ecoconso, 2018).

### 3. Les certificats verts

Les certificats verts ont été un moyen attrayant de motiver la population belge au placement de technologies de production d'électricité renouvelable. Ce mécanisme a démontré son efficacité par l'augmentation du nombre de placement de panneaux photovoltaïques (Boccard & Gautier, 2015). De manière concise, ces certificats sont des titres donnant droit à une rémunération compensatoire calculée sur base de l'impact 'réel', en CO2 sur l'environnement que n'engendrent pas les énergies vertes. La commission wallonne pour l'énergie définit le but des certificats verts comme suit : « *Un régime de certificats verts favorisant toute technologie performante de production d'électricité verte basée sur l'économie de CO2* » (CWAPE, 2019a). La complexité des mécanismes relevant des calculs et échanges de ces certificats non abordés ici, bien qu'elle constitue une raison supplémentaire d'opter pour l'autonomie électrique et le renforcement de l'autoconsommation des panneaux photovoltaïques.

En réalité, ce chapitre n'existe que pour illustrer le changement que les Belges sentent arriver depuis de nombreuses années concernant l'arrêt définitif de ces certificats. Une diminution du prix a déjà été constatée, justifiée par le coût que représente le traitement du processus, ainsi que sur le désavantage qu'auraient les non-consommateurs d'énergie photovoltaïque. Ce désavantage compliqué à saisir serait lié à l'utilisation des lignes basse tension pour rejeter le surplus sur le réseau. Ces éléments nous amèneront au chapitre sur l'autoconsommation et le chapitre sur une future taxe de rejet. Quoi qu'il en soit, les éléments soulevés ici reflètent bien les arguments amenés depuis le début de ce chapitre, à savoir un problème de confiance entre d'une part les personnes désirant placer ces technologies dans le but de produire leur énergie verte et, d'autre part, les politiques qui changent les règles du jeu

sans arrêt. Cela ne permet ni d'instaurer un climat de confiance, ni d'effectuer un calcul objectif sur le long terme de la rentabilité avec les certificats.

#### 4. Le principe de non-autoconsommation

Avant de poursuivre, il est important de comprendre deux notions distinctes pour la suite de ce travail (Engie, 2019) :

- L'**autoconsommation** : production personnelle de son énergie (par le photovoltaïque par exemple) et utilisation directe sans réinjection sur le réseau.
- L'**autosuffisance / autonomie** : production de l'entièreté de ses besoins sans puiser de l'énergie sur le réseau, être autonome. On peut être partiellement autosuffisant, par exemple un ménage qui est 60% autosuffisant ne va puiser que 40% de son énergie sur le réseau.

Un ménage peut avoir 100% d'autoconsommation et n'être qu'à 30% d'autosuffisance. Si la production de leurs panneaux ne comble pas l'entièreté de leurs besoins mais que l'entièreté de cette énergie produite est directement utilisée dans la maison, alors ils ont 100% d'autoconsommation mais ne sont pas autonomes.

Supposons un utilisateur d'électricité *lambda* dans une maison normale avec une consommation normale. Il décide un jour que le courant devient trop cher, veut faire un geste pour la planète et investit donc dans des panneaux photovoltaïques. Il contacte une société spécialisée dans le placement du produit qui va lui faire un devis en fonction du nombre de panneaux dont il a besoin. Ce besoin est calculé en fonction du nombre de personnes habitant la maison. De manière simplifiée, une personne consomme en moyenne 1000kWh par an. Notre personne *lambda* a une femme et deux enfants consommant chacun la même chose, il a donc  $1000\text{kWh} \times 4 = 4000\text{kWh}$  de consommation annuelle. Le soleil n'étant pas toujours présent en Belgique (cf. Chapitre IV C), on applique par défaut un facteur de 0.9 pour compenser les pertes, donc :  $4000 / 0.9 = 4450\text{Wc}$  (Watts crêtes) qui correspondent en réalité à la puissance maximale potentielle des panneaux (Energreen, 2019). Voilà comment notre utilisateur *lambda* estimera ses besoins de manière approximative. Lors d'un placement de panneaux photovoltaïques, un compteur de production est placé après l'onduleur (partie transformant le courant produit par les panneaux en courant alternatif utilisable par la maison). Le courant passe par ce compteur,

puis directement par celui de l'utilisateur qui tourne dans les deux sens (dans le sens normal s'il consomme du courant, et dans le sens contraire s'il rejette du courant sur le réseau) (Figure 5).

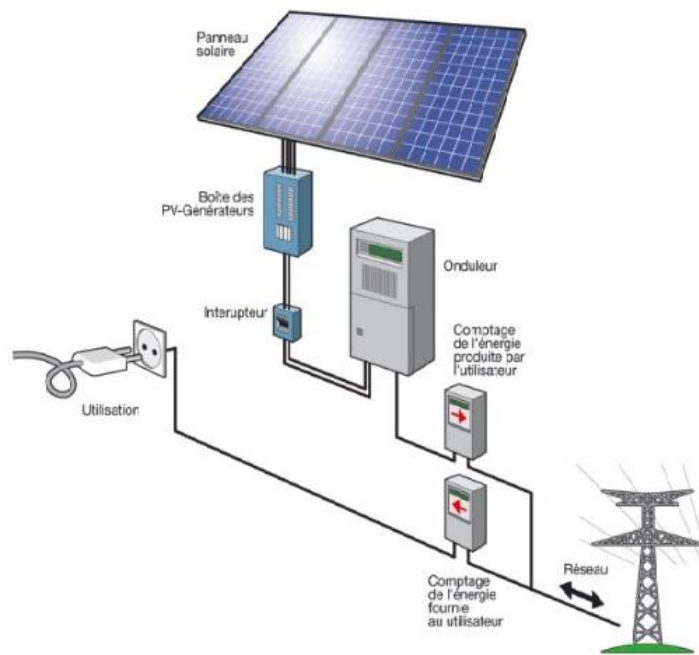


Figure 5 - Schéma fonctionnement photovoltaïque et réseau (Atout Energie, 2017)

Le bénéfice engendré par les panneaux est visible soit sur le compteur d'énergie produite, auquel cas on soustrait cette production à la consommation du compteur normal ; soit il fait tourner le compteur à l'envers, décomptant ainsi la production hors de la consommation traditionnelle (Atout Energie, 2017). Il existe dans ce processus un effet pervers : la fausse impression d'autonomie qui résulte du fait que la puissance de placement est calculée sur base des besoins annuels. Cela donne l'impression à l'utilisateur d'utiliser le courant qu'il produit. Or, comme nous pouvons le constater (Figure 6), les besoins en électricité ont principalement lieu le matin et le soir, alors que la meilleure production des panneaux se situe l'après-midi. L'autoconsommation pour un ménage moyen avoisine les 30% dans le meilleur des cas (Enersol, 2019a). Le reste du courant consommé provient du réseau traditionnel, autrement dit, d'une centrale nucléaire ou d'une centrale TGV.

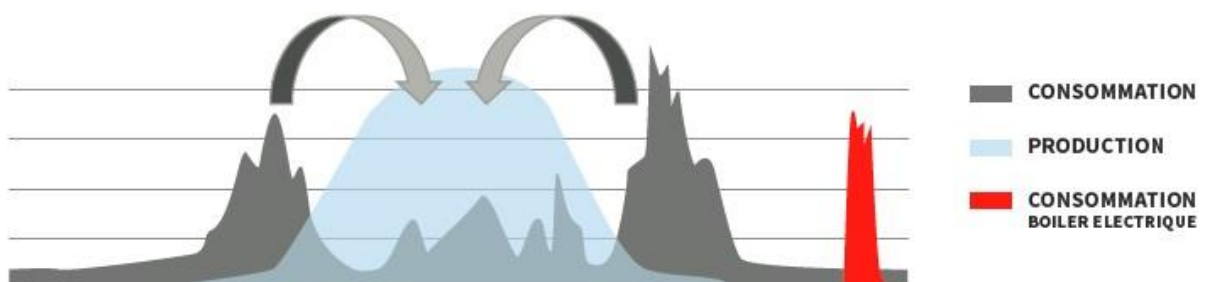
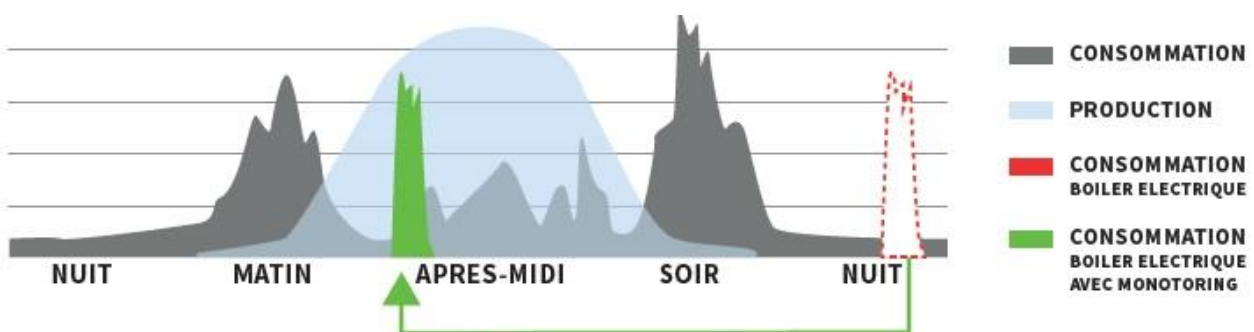


Figure 6 - Graphique des consommations et de production photovoltaïque. (Enersol, 2019b)

Ce mécanisme est tout à fait normal, il est lié à la problématique de la conservation de l'énergie. Avant l'arrivée récente des batteries domestiques, il était impossible de conserver son électricité. Comment faire autrement que de rejeter sur le réseau le surplus pour alimenter les personnes ayant besoin de courant sur le moment-même, et qu'en plus, il soit utile ? Admettons que l'utilisateur soit en vacances durant une période de grand soleil et que toutes les prises soient débranchées chez lui. Son compteur continue de tourner à l'envers de la même façon et le courant produit par ses panneaux continue d'alimenter le réseau, soulageant ainsi la production en centrale ou autre. Ce principe va à l'encontre de l'image donnée d'autoconsommation, image utopique imposée dès le premier contact avec un vendeur de panneaux ou même par les politiques. « *Devenez autonome* », « *autosuffisant* », « *gérez vous-même* », « *calculé selon vos besoins réels* », etc. Tous ces slogans pourraient devenir réels grâce à la batterie domestique.

Le changement d'habitude est la première des choses à mettre en place pour augmenter son autoconsommation. Par exemple, postposer l'utilisation de la machine à lessiver ou du séchoir lorsque le soleil est le plus présent et que les panneaux sont en pic de production, *idem* pour la production d'eau chaude du boiler électrique. Que faire si un nuage ou une averse passe pendant que les appareils tournent ? Nous l'avons vu, le meilleur moment reste en pleine journée pendant que l'utilisateur est au travail. Le monitoring est une solution potentielle souvent proposée (Enersol, 2019a). Cette solution consiste en l'utilisation d'un petit boîtier qui va 'piloter' ou déclencher la production d'eau chaude du boiler (par exemple) quand la production des panneaux est considérée comme bonne (Figure 7).



Cela aura pour conséquence d'augmenter l'autoconsommation et aura donc un effet bénéfique pour la future taxe Prosumer (cf. Chapitre IV A 5). Des versions encore plus élaborées permettent de se connecter à une station météorologique ou sur internet pour analyser le temps d'ensoleillement, ce qui aura pour conséquence d'améliorer le fonctionnement et éviter les coupures pour certains appareils qui ne peuvent pas se le permettre. De plus, le monitoring

est indispensable quand on veut s'équiper de batteries, car c'est ce même appareil qui gère la recharge et le déclenchement des appareils quand une batterie est présente. Cette intelligence artificielle est abordable puisque les prix se situent aux alentours de 450€ pour un bénéfice bien plus grand (Enersol, 2019a).

## 5. La taxe sur le rejet ou tarif Prosumer

Comme mentionné précédemment, les certificats verts ont été un moyen efficace d'inciter au placement de systèmes de production d'énergie renouvelable, et particulièrement de photovoltaïques. La volonté de supprimer cette aide est une idée centrale reprise dans un nombre croissant de débats politiques, ce qui va à l'encontre des buts fixés pour l'environnement en ayant pour effet de diminuer les placements de panneaux. Le problème n'est pas uniquement délimité à ce contexte, à l'avenir, une taxe pour l'utilisation du réseau sera demandée aux détenteurs de panneaux photovoltaïques rejetant de l'électricité verte produite sur le réseau (Ores, 2019). Cette taxe est, soi-disant, justifiée par l'équité entre les producteurs d'énergie photovoltaïque qui rejettent leur surplus sur le réseau et ceux qui ne le font pas. Comme mentionné précédemment, l'état belge a d'abord encouragé le placement de cette énergie renouvelable et veut à nouveau faire marche arrière. La justification discutable, donnée pour ce revirement, consiste en une volonté d'équité avec les non-producteurs. En d'autres termes, le coût du transport de l'électricité et de l'entretien du réseau coûte cher et prend une place importante dans le prix de l'énergie. Les consommateurs classiques de courant (ne disposant pas de panneaux photovoltaïques) paient cette taxe pour les 100% du courant qu'ils utilisent. *A contrario*, les utilisateurs qui parviennent à utiliser 30% de leur propre courant (*cf.* Chapitre IV A 4) ne paient plus cette taxe sur ces 30%, mais rejettent le courant en grande quantité pour leur surplus de production (CWAPE, 2019b). On pourrait supposer qu'ils soulagent ainsi le réseau et apportent donc leur contribution au système général. Ces producteurs ont fait le choix de dépenser de l'argent pour acheter des panneaux et produire de l'électricité verte profitable à tous, mais l'état ne le voit pas de cette manière. Selon eux, cette population utilise le réseau pour rejeter le surplus qu'ils produisent avec leurs panneaux ce qui implique 'logiquement' la création d'une nouvelle taxe. Cette taxe portera le nom de Prosumer (contraction de deux mots : producteur et consommateur) et devrait être d'application le premier janvier 2020. La finalité de cette démarche est relativement compréhensible, bien que la logique

qui lui est sous-jacente reste obscure. Le but final de cette taxe est donc d'encourager la consommation du courant pendant les heures d'ensoleillement afin d'augmenter l'autoconsommation et ainsi d'assurer la pérennité du réseau. Le tarif s'appliquera à toute technologie rejetant sur le réseau, éolien, hydraulique, cogénération et panneaux photovoltaïques. La Flandre applique déjà ce principe depuis le 1<sup>er</sup> juillet 2015 (CWAPE, 2019b).

Concernant le côté pratique de cette mesure, la RTBF annonçait en avril 2017 que cette taxe pourrait aller jusqu'à des montants pouvant atteindre 550€ pour une installation de 5kWc (comparable à l'exemple précédent), ce qui annulerait le bénéfice des certificats verts pour peu qu'ils restent encore en circulation (RTBF Info, 2017). Cette taxe devrait varier en fonction des régions, ce qui signifie que des zones seraient plus rentables que d'autres en fonction de leur localisation et de la difficulté d'entretien du réseau, discriminant encore un peu plus les endroits plus difficiles d'accès (Enersol, 2019a).

Ces informations pessimistes ne vont que renforcer le désintérêt populaire et la complexité de l'accès à l'énergie renouvelable. Malgré tout, il faut noter que le placement de panneaux n'a jamais été aussi rentable qu'actuellement, ce qui est notamment expliqué par le prix des panneaux historiquement au plus bas depuis plusieurs années, par la forte demande et en conséquent par la concurrence croissante (Callmepower, 2019c). Il semblait quand même important de parler de ces points pour notre analyse puisque ces chiffres peuvent faire une différence non négligeable sur la facture du consommateur. Comme nous le verrons par la suite, cette taxe primera sur le réel intérêt des batteries.

## 6. La déclaration PEB

La déclaration de performance énergétique des bâtiments doit être présente dans de nombreuses circonstances. Que ce soit pour la construction d'un nouveau volume chauffé, d'une nouvelle maison, de la vente ou la location, etc. la PEB est présente partout. Elle indique la consommation d'énergie du bâtiment et est estimée la plupart du temps soit par des calculs comprenant l'isolation, l'équipement, etc., soit par la consommation réelle constatée sur les compteurs (électrique, consommation de mazout de chauffage, etc.) (Energuide, 2019). Pour les nouvelles constructions ou annexes par exemple, une performance minimum est exigée à défaut d'avoir une amende pour non-respect (SPW, 2015). Les plus sceptiques avancent des

théories selon lesquelles l'entièreté des bâtiments devra avoir un certificat PEB et que les propriétaires payeront une taxe 'environnement' sur base de ce certificat, désavantageant ainsi les mauvais élèves. Actuellement, un encodage de panneaux photovoltaïques pour un projet est possible, améliorant ainsi considérablement la note du rapport et donc le respect des normes minimales (SPW, 2015). Malheureusement, il n'est pas encore possible d'encoder les batteries domestiques. Or, cette problématique de conservation de l'énergie avantage encore le score présumé puisqu'il permet d'éviter l'utilisation d'énergie non renouvelable provenant du réseau. À terme, nous ne pouvons qu'espérer que cette note sera incluse dans le logiciel pour un calcul précis, ce qui permettra de devenir encore un peu plus rentable puisqu'elle devrait permettre d'éviter de mauvaises surprises en cas de taxe imposée sur la performance énergétique.



## B. La consommation moyenne d'un ménage en Belgique

Dans le but d'avoir un avis clair sur la rentabilité des batteries domestiques il est important de situer la consommation d'un ménage et de s'y référer. Cela nous permettra de mettre des exemples en évidence rendant la compréhension plus limpide. L'unité de mesure pour la consommation est exprimée en Kilowattheure (kWh) qui représente le travail accompli par un moteur de 1000 Watts pendant une heure. C'est l'unité présente sur les compteurs électriques dans les habitations.

### 1. Composition de ménage

Un ménage en Belgique se compose principalement de personnes seules ou de couples mariés ou non selon les statistiques (Figure 8). La moyenne du nombre de personnes dans un ménage ne s'élève qu'à 2,3 dans notre pays. On peut supposer, pour notre étude, un ménage de trois personnes, autrement dit les parents et leur enfant unique. Ce chapitre permet simplement de se rendre compte de ce que l'on appelle un ménage moyen pour le chapitre suivant. Les chiffres concernant la consommation moyenne par ménage sont une évaluation pour un ménage de 2,3 personnes (IWEPS, 2018).

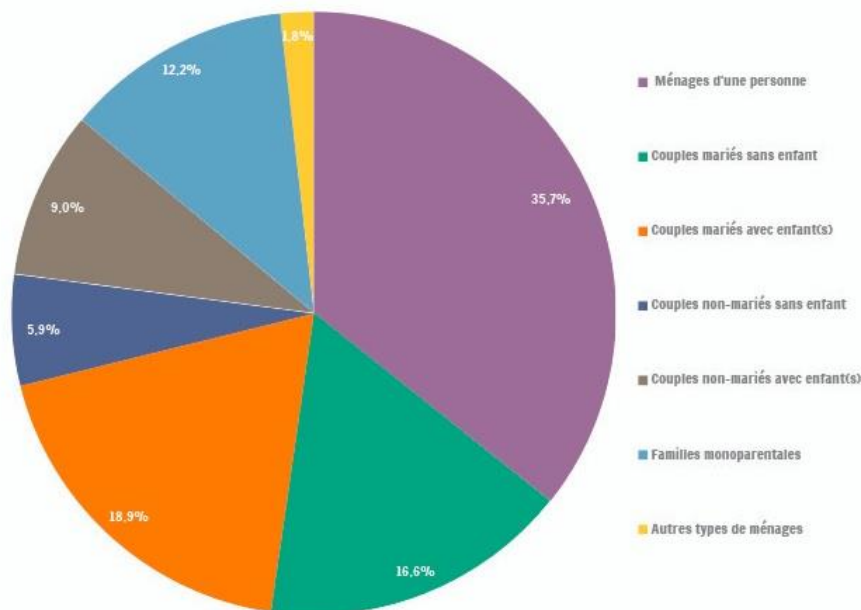


Figure 8- Graphique répartition Ménage Belgique (IWEPS, 2018)

## 2. La consommation électrique moyenne

La consommation moyenne par habitant est calculée sur base de la production totale d'électricité divisée par le nombre d'habitants et s'élève à 7709kWh par habitant selon la banque mondiale (Callmepower, 2019d). Ce chiffre ne nous intéresse pas car il ne prend pas en compte plusieurs facteurs et intègre de surcroît la consommation des bureaux, des usines, des commerces, etc. Quoi qu'il en soit, une facture est toujours calculée pour un ménage et c'est pour cette raison que nous l'avons définie au chapitre précédent. La consommation moyenne d'un ménage est calculée par rapport à la consommation totale de Belgique de 83.45TWh divisée par le nombre de ménages qui est de 4822301, ce qui s'élève à un total de 3928kWh (Callmepower, 2019d). Pour information, la part du résidentiel dans la consommation électrique n'est que de 22.7% dans le pays. La question du réel intérêt des batteries au niveau national dans le but de réduire la consommation de courant peut donc se poser puisqu'en étant optimiste et en admettant que l'on puisse être totalement autonome, l'impact sur le réseau belge ne serait diminué que d'un cinquième.

Parler de consommation moyenne électrique en Belgique peut vite devenir complexe, car la variation entre les ménages peut se révéler énorme. En effet, plusieurs facteurs entrent en ligne de considération pour effectuer ce calcul, notamment (Callmepower, 2019b) :

- La présence de chauffage électrique ou non dans l'habitation est un des facteurs les plus importants car cela représente le plus grand énergivore (consommateur de courant). Pour se rendre compte de l'impact qu'a un chauffage électrique dans un foyer, la figure 9 nous permet d'avoir une idée de grandeur. De manière générale, on estime la consommation électrique pour un chauffage à 100kWh par m<sup>2</sup>. Cela signifie que pour une maison de 100m<sup>2</sup> chauffée électriquement on est à une consommation de 10000kWh par an. A 0.0876€ le kWh, le chauffage électrique coûte 876€ par an sans compter les taxes à appliquer sur cette somme ce qui porte le total à un montant bien plus élevé. Bien entendu, ces propos sont à nuancer en fonction de l'isolation de la maison et les chiffres utilisés sont une moyenne pour des maisons qui la plupart du temps sont mal isolées ou très peu. On suppose qu'une maison isolée correctement n'a pas besoin de la même énergie pour être chauffée.









Type de logement	Type de chauffage	Consommation annuelle
 Maison de 75 m <sup>2</sup>	 Electrique	9000 kWh
 Maison de 75 m <sup>2</sup>	 Gaz, fioul	1500 kWh
 Maison de 150 m <sup>2</sup>	 Electrique	18000 kWh
 Maison de 150 m <sup>2</sup>	 Gaz, fioul	2200 kWh

Figure 9- Tableau comparatif chauffage électrique (Callmepower, 2019b)

- La présence d'une VMC (ventilation mécanique contrôlée) retrouvée dans toutes les maisons performantes d'un point de vue énergétique à l'heure actuelle. Il est important d'insister sur ce point car nombreux sont les architectes qui négligent cet aspect en pensant que la consommation est minime. A titre d'exemple, une ventilation double flux peut consommer jusqu'à 500kWh par an et parfois plus pour certaines. C'est plus qu'un aspirateur fonctionnant 2h par semaine pendant une année. Le réglage minutieux et le dimensionnement exact de l'appareil jouent un rôle prépondérant dans la consommation.
- L'équipement électrique et les électroménagers jouent un grand rôle. Par exemple, la présence d'ampoules LED (plus intéressantes) ou d'allogènes peut faire varier la consommation de manière importante. La performance des réfrigérateurs, des congélateurs, d'une taque de cuisson électrique, d'une machine à lessiver, etc. constitue également un facteur influençant la consommation électrique, bien que les électroménagers représentent un peu moins de 30% du prix de la facture électrique. Selon Engie-Electrabel, sèche-linge, réfrigérateurs, télévisions, lave-vaisselle, décodeurs et fers à repasser sont les plus gros énergivores d'un foyer.
- Une pompe à chaleur consomme également de façon non négligeable en fonction de la température extérieure.

- Une climatisation : il est plus facile de chauffer un volume que de le refroidir. La climatisation est par conséquent très consommatrice de courant.
- Un chauffe-eau électrique est un élément influençant beaucoup la consommation, et constitue à lui seule une dépense de 1100kWh par an par personne.
- La taille de l'habitation joue également un rôle.

De manière générale, la plupart des distributeurs de courant estiment qu'on peut classer les consommateurs en trois catégories (Cawet, 2019) :

- Les petits consommateurs : le locataire d'un appartement performant ou l'étudiant en kot. Ils consomment +/- 1200kWh par an.
- Les consommateurs moyens : un ménage de 3 ou 4 personnes. Ils consomment environ 3500kWh par an.
- Les gros consommateurs : les familles grosses consommatrices qui atteignent 7500kWh, ou le client dit 'tout électrique' (chauffage) qui lui peut aller jusqu'à 12500kWh par an.

Ces points semblent essentiels à la compréhension de la rentabilité des batteries domestiques. En effet, avoir un esprit critique sur les chiffres développés dépend en majeure partie de facteurs qui peuvent faire varier les données du simple au double. Il faut comprendre l'enjeu énergétique et économique des appareillages utilisés. Nous avons notamment pu constater qu'une facture peut être multipliée par 10 par rapport à une autre selon les différents équipements mentionnés. Il paraît donc normal de se dire que la personne faisant la démarche de placer des batteries domestiques se situe soit dans une optique de performance du bâtiment et donc de la rentabilité économique, soit dans le confort et la volonté d'autonomie par rapport au réseau. Nous supposons donc qu'une batterie dimensionnée de manière cohérente s'adresse à des personnes ayant une consommation située dans la moyenne, donc sans chauffage électrique et avec une isolation globale satisfaisante.

### 3. La consommation journalière

Dans le but de pouvoir dimensionner la capacité de la batterie que nous voulons placer dans notre habitation type, il est nécessaire de pouvoir évaluer la consommation journalière d'un ménage. Les batteries domestiques nous permettent une meilleure autoconsommation voire même une autonomie. Mais combien de kWh doit-elle fournir sur une journée ? La réponse à cette question nous permettrait non seulement d'estimer, mais également de décider si un ajout peut s'avérer nécessaire afin d'augmenter l'autonomie à deux ou trois jours.

De manière simple, on pourrait se dire que notre ménage moyen de 3 personnes consomme entre 3500 et 4000kWh par an. Cette consommation divisée par 365 jours donne 11kWh par jour. Il faut cependant garder à l'esprit que la consommation moyenne n'est pas la même en été qu'en hiver pour diverses raisons telles que l'exposition lumineuse par exemple (il fait nuit plus vite en hiver). Le site Tesla nous indique que pour un foyer de 3 chambres comparable à notre exemple, une capacité de 15kWh par jour est nécessaire (Tesla, 2019b). Nous nous baserons donc sur ce chiffre pour la suite de cet exposé, la différence avec notre calcul compensant la différence qu'il peut exister par une journée où le ménage a un besoin électrique ponctuel plus conséquent. Nous le verrons par la suite mais nous ne nous baserons pas sur ce chiffre pour dimensionner et donner des prix de batteries car le but est rarement d'atteindre l'autonomie mais bien une autoconsommation de 70% (Enersol, 2019a).

## C. Les conditions météorologiques

Afin de pouvoir envisager différentes approches de recharge pour les batteries, il est important de parler du climat. Les batteries ayant un but de rentabilité économique, les moyens de la recharger doivent donc être principalement issus d'une forme d'énergie gratuite. Le premier est naturellement le photovoltaïque ; le second, beaucoup moins répandu dans l'utilisation domestique mais non sans intérêt, est l'éolien. Il est certainement possible de coupler ce système de stockage avec de l'énergie hydroélectrique mais cela reste extrêmement rare en Belgique au niveau domestique. Nous pouvons mentionner le fait que quelques habitations situées le long de rivières disposent de roues à eau en état de marche mais cela relève plus de l'anecdote que d'un cas d'étude supplémentaire.

### 1. Les ressources disponibles

Les deux éléments importants dans l'énergie renouvelable sont évidemment le soleil et le vent. Nous pouvons constater que la Belgique a un taux d'irradiation sur une surface horizontale de +/- 1000kWh / an sur un mètre carré (Energie Facteur 4, 2006).

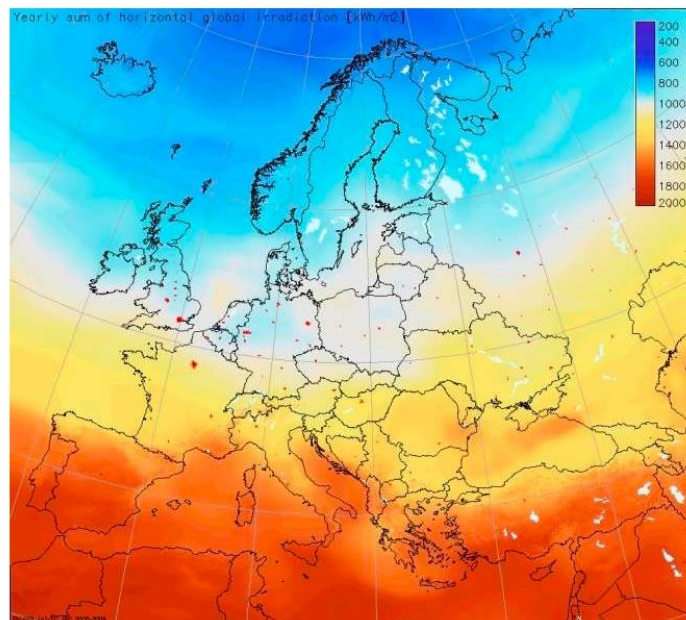


Figure 10 - Cartographie d'irradiation européenne (Energie Facteur 4, 2006)

Cela signifie qu'il serait potentiellement possible d'atteindre les 4000kWh nécessaires dans les ménages avec une consommation moyenne avec 4m<sup>2</sup> de panneaux horizontaux. Ce

calcul s'avère malheureusement improbable puisqu'il faut plus ou moins 8m<sup>2</sup> de panneaux pour atteindre 1kWc ou 900kWh dans des conditions d'ensoleillement Sud-Est inclinaison 35° en Belgique. L'ensoleillement n'est jamais constant : des nuages, la réflexion de l'eau ou de la neige, la poussière, l'ombrage, etc. font varier la production des panneaux (Energie Facteur 4, 2019). Il faut cependant noter que ce n'est pas parce que le temps est couvert que la production est inexistante, mais cela l'affaiblit fortement. Le problème majeur réside dans la différence entre les saisons. En effet, la différence d'irradiation entre l'été et l'hiver fait qu'un équipement calculé sur base de relevés moyens annuels ne permet pas d'être performant en hiver car la production est trop faible voire inexistante, sans oublier que la hauteur du soleil n'est pas la même au fil des saisons. Or, nous le savons, c'est en hiver que nous avons le plus besoin d'électricité, que ce soit pour l'éclairage, le chauffage ou simplement parce nous sommes plus à l'intérieur avec des appareils électriques que dehors. Nous pouvons également constater la différence de production entre les mois d'été et d'hiver, ainsi que la différence entre un appareillage de panneaux fixes en conditions optimales ou un appareillage motorisé qui suit le soleil et choisit la meilleure inclinaison (Figure 11).

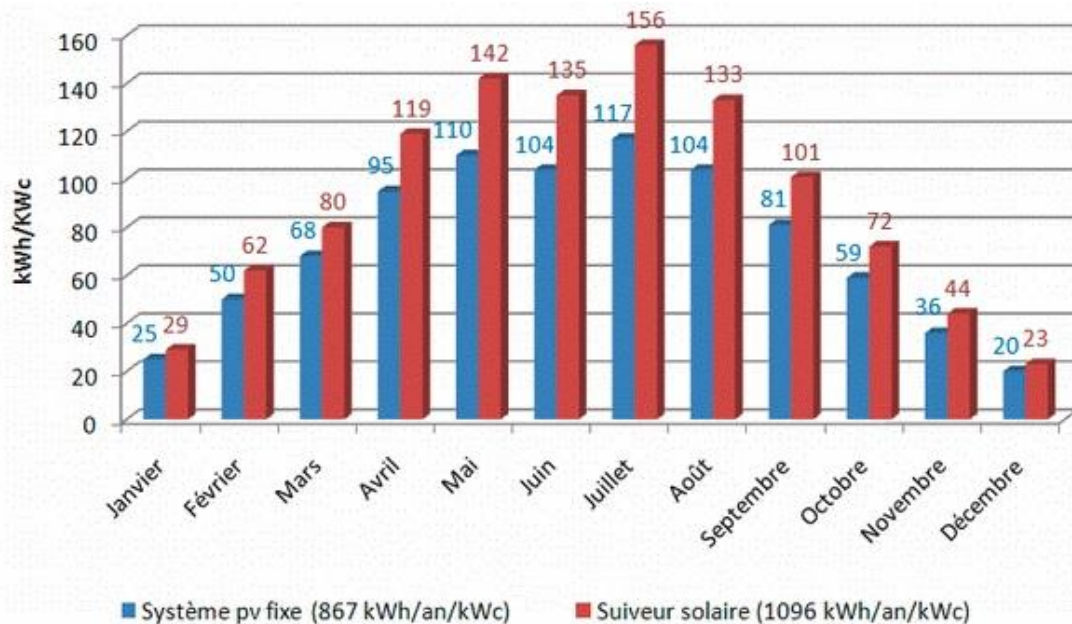


Figure 11- Graphique des productions photovoltaïques par mois (Energie Facteur 4, 2008)

Comme nous le verrons plus tard, le but des batteries est de pouvoir emmagasiner un maximum d'énergie produite par ces panneaux pour augmenter son autoconsommation.

L'objectif est de réduire la future taxe Prosumer et donc, de faire des économies tout en tendant vers une autonomie à laquelle il est complexe d'arriver sans un complément que nous développerons plus tard. Mais une question persiste, quelle est la capacité de ces batteries ? Pour pouvoir pallier aux mois d'hiver où l'énergie solaire est presque inexistante, un complément s'avère nécessaire afin de ne pas aller chercher le déficit sur le réseau ce qui coûterait plus cher que l'énergie gratuite fournie par les éléments naturels. Une réflexion s'avère d'autant plus importante voire indispensable pour ceux qui viseraient l'autonomie totale.

Une alternative souvent envisagée comme complément serait l'énergie éolienne. Le territoire belge, à défaut de disposer d'un temps d'ensoleillement suffisant à une autonomie totale annuelle, est traversé par des rafales plus ou moins importantes toute l'année. Sur une moyenne annuelle, il y a plus de capacité dans l'éolien que dans le solaire. Ceci étant justifié par le fait que les éoliennes tournent de nuit et pendant l'hiver. Évidemment, tout dépend de la zone où se situe l'habitation, mais dans de bonnes conditions, une éolienne domestique de 4kW peut produire l'énergie nécessaire à un ménage moyen tel que défini plus haut. Elle commence à tourner avec des vents de 10km/h, ce qui est fréquent en Belgique (Callmepower, 2019a). L'IRM indique des valeurs moyennes par mois pour la ville de Liège de vents très encourageantes. Sur un an, le mois de juin (le plus désavantageux) a une vitesse moyenne de 3.5m/s, ce qui correspond à 12.6km/h (Figure 12). Autrement dit, notre éolienne domestique tourne déjà à cette vitesse (IRM, 2014).

	janv.	févr.	mars	avr.	mai	juin	jul.	août	sept.	oct.	nov.	déc.
<b>Vitesse moyenne du vent [m/s]</b>	5.1	4.7	4.7	4.0	3.7	3.5	3.6	3.5	3.7	4.3	4.5	4.7
<b>Direction la plus fréquente</b>	SSO	SSO	OSO	SSO	OSO	OSO	OSO	OSO	SO	SSO	SSO	SSO

Figure 12 - Tableau des vitesses moyennes du vent par mois 1981 - 2010 (IRM, 2014)

Le choix d'installer un système plutôt qu'un autre réside dans sa localisation, en sachant qu'à conditions égales entre un ensoleillement intéressant et une exposition au vent intéressante, l'éolien semble plus efficace bien que les retours après placement indiquent le contraire (Haveaux, D'Hernoncourt & Leloux, 2018). Comme nous le verrons par la suite, le prix n'est par contre pas du tout le même.



## D. La Belgique en 2050

Le réseau électrique belge fonctionne actuellement selon un principe simple : on l'alimente principalement avec des centrales nucléaires, des centrales TGV, et une petite partie en énergie renouvelable (cf. Figure 1). La production doit permettre à tout moment de fournir la quantité nécessaire d'électricité, que ce soit à l'extrémité du territoire ou non, et cela, même si ce n'est que pour quelques minutes (Engie, 2015). Évidemment, la demande n'est jamais constante et fluctue sans cesse passant de piques de consommation à des moments plus calmes. On peut notamment comprendre qu'il y ait des piques de demande en matinée ou en soirée quand les consommateurs rentrent chez eux et emploient leurs appareils électriques (Figure 13) (Elia, 2019). Il existe également des différences entre été et hiver, elles sont dues aux demandes de chauffage et à l'ensoleillement qui change. Des interconnexions existent avec d'autres pays afin de pouvoir compenser des éventuelles pannes ou simplement en cas de soleil et de vents absents (pas d'éolien et pas de solaire) (Lilien, 2009). Bien entendu, cette importation fait varier les prix à la hausse. En cas d'hiver très rude, des blackouts sont possibles puisque la production peut ne pas être suffisante pour la demande et l'importation n'est pas toujours possible si les pays voisins ont également besoin de courant ou que la quantité qu'ils peuvent fournir est insuffisante. Le maître-mot dans la gestion de ce réseau est 'équilibre'. L'offre et la demande doivent correspondre à ce principe sous peine d'interruption.



Figure 13 - Graphique de puissance électrique demandé par heure (Elia, 2019)

Un réacteur nucléaire prend énormément de temps à démarrer et ne peut en aucun cas être une alternative de secours en cas de demande soudaine sur le réseau. En revanche, une centrale type TGV peut tout à fait se démarrer rapidement et fournir la puissance requise sur le réseau. Tout ceci est nécessaire car nous ne disposons pas de solution de stockage (Engie, 2015). C'est ici que les batteries domestiques font leur apparition et prennent du sens d'un point de vue écologique. En réalité, si les batteries peuvent 'lisser' la fluctuation de la demande et donc unifier la courbe pour tendre vers une droite de la production, cela signifie qu'il n'est plus nécessaire de démarrer les centrales les plus réactives qui, comme nous l'avons vu plus haut, sont les centrales fonctionnant aux énergies fossiles, celles-là même qui sont responsables de 94% de l'émission de CO<sub>2</sub> (cf. Figure 2). Actuellement, les batteries s'adressent principalement au particulier et on sait qu'il ne représente qu'une petite partie de la consommation totale belge, mais les variations sont dues à cette petite partie. Malgré tout, de plus en plus de supermarchés, magasins de petite taille, bureaux, etc. commencent à s'intéresser à ces batteries et développent des parcs de batteries couplés aux surfaces de panneaux photovoltaïques dont ils disposent. On pourrait imaginer cette technologie à l'échelle d'un village voire d'une ville.

Supposons notre pays où l'électricité domestique serait principalement produite par les particuliers et stockée dans des batteries. Les personnes ne disposant pas des moyens financiers ou tout simplement dépassées par la technologie ont fait le choix de s'en passer (je pense notamment aux personnes âgées). Cela signifie que la majorité des personnes n'ont plus besoin, ou en tout cas pas de façon permanente, du réseau. On pourrait même supposer qu'ils ne sont pas reliés au réseau électrique, mais qu'ils sont autonomes. Le réseau basse tension n'a plus de raison d'être que pour une minorité, par conséquent le prix augmente encore aussi bien pour les particuliers que pour les industries, laissant les demandeurs 'classiques' dans une impasse. Les centrales nucléaires coûtent trop cher pour le peu de clients desservis, il en va de même pour les éoliennes ou les centrales TGV. Les industries qui ont une grosse demande électrique se délocalisent à l'étranger car, placer des batteries pour une très grande puissance paraît irréalisable et la facture de courant est devenue impayable. Scénario catastrophe par excellence, nous en sommes très loin, peut-être pour notre bénéfice. Malgré tout, ces questions sur la pérennité du réseau sont à intégrer dans l'équation générale de l'intérêt des batteries. Certes, elles diminuent le prix de la facture électrique, voire l'annulent en cas d'autonomie pour un prix que nous allons déterminer à l'aide des chapitres suivants. Mais est-ce vraiment dans l'intérêt général ? Les questions environnementales doivent être globales, générales et même mondiales pour être efficaces. Les batteries ne sont-elles pas trop individuelles pour l'être ?

## V. L'équipement

---

### A. Les batteries

#### 1. L'automobile comme déclencheur

L'épuisement des ressources en énergie fossile pousse les industries du secteur automobile à se tourner vers des solutions de remplacement. En réalité, l'invention de la voiture électrique se situerait aux alentours des années 1834, bien avant le véhicule équipé d'un moteur à explosion en 1861, différent du moteur vapeur (L'invention de l'automobile, 2011). L'année 1859 voit naître l'invention de la batterie rechargeable, ce qui a permis une avancée significative dans la commercialisation de ce véhicule. La « colonne de recharge pour voiture électrique » voit le jour et permet aux utilisateurs de 'faire le plein' en énergie électrique (objet qui commence à faire son retour dans presque tous les parkings). Les innovations, notamment sur la performance des batteries (utilisation du Fer-Nickel), ne suffiront pas à tenir face au choc que sera la Ford-T qui abaisse son coût de production de manière drastique. A partir de 1920, le moteur à explosion est si performant, aussi bien sur la puissance que sur l'autonomie, que le moteur électrique est laissé de côté. Le choc pétrolier de 1973 va relancer la question de l'électricité comme énergie pour les véhicules dans le but de contrer l'augmentation du prix du pétrole et répondre aux premières angoisses climatiques. Malheureusement, le prix du pétrole finit par redescendre, ce qui aura pour conséquence le désintérêt par rapport à l'aspect financier, et par rapport à l'aspect climatique (nous quittons à peine les 'années pétroles'). (L2C2, 2014)

Le début des années 2000 voit renaître les craintes climatiques par rapport à l'énergie fossile, et avec elles arrivent les normes de CO2. Un regain d'intérêt de la part du publique va stimuler les constructeurs à produire plus de voitures électriques. En 2003, Elon Musk va créer ce qui deviendra la référence mondiale de la voiture électrique avec Tesla, imposant une vision très élitiste de ce qu'est un véhicule du genre. Sa mission : « *accélérer la transition mondiale vers un schéma énergétique durable* » (Tesla, 2019a). D'autres grandes marques vont suivre le mouvement rapidement, et l'évolution sur les performances des batteries ne vont aller qu'en s'améliorant. Arrivera en 2012, initiée pas Tesla, une batterie domestique nommée Powerwall, destinée aux habitations (David, 2018). Les autres marques automobiles suivront le pas.

## 2. Les précurseurs

Contrairement à beaucoup d'idées reçues, l'autonomie électrique dans les bâtiments n'est pas nouvelle. Elle a souvent été une obligation plus qu'une volonté. Beaucoup de pays possédant des zones reculées ou inaccessibles - je pense notamment aux zones montagneuses (relais de montage), zones non couvertes par les réseaux de distribution, etc. - ont dû s'adapter pour obtenir du courant. Les systèmes qui utilisent des groupes électrogènes au diesel ou des panneaux solaires en autoconsommation ont été les précurseurs de l'autonomie électrique (Plas, 2019). Malheureusement, le stockage de l'énergie a toujours été le problème majeur. Les systèmes élaborés avec des batteries type 12 ou 24 volts qui remplissaient les caves de certains habitants pour leur permettre de stocker l'énergie solaire, existent depuis de nombreuses années mais tenaient plus du bricolage que du travail professionnel.

## 3. La technologie lithium-ion

De manière simplifiée et strictement pertinente pour notre domaine d'étude, cette technologie n'est rien d'autre que celle utilisée pour les batteries de téléphones nouvelle génération. Longtemps cantonnée aux accumulateurs de petite taille, l'industrie automobile a su l'adapter à ses véhicules. Les avantages de cette technologie sont multiples (Battery University, 2018) :

- Haute densité électrique pour un poids très faible. Ce qui signifie qu'on peut accumuler beaucoup d'énergie pour un poids (comprenez une taille) de batterie raisonnable.
- Aucun effet mémoire. Ce qui implique qu'il n'est pas nécessaire de décharger l'accumulateur complètement avant de le recharger pour éviter la dégradation. On comprend l'importance de ce point pour l'application dans la construction ou l'automobile. La batterie est utilisable ou rechargeable à n'importe quel moment, aussi bien lorsqu'elle est à moitié chargée que complètement. Elle est rechargeable, même si 90% de la batterie est remplie, pour profiter des rayons du soleil qui apparaissent sur les panneaux photovoltaïques.
- Aucune maintenance nécessaire.

- Très faible autodécharge. Ce qui signifie que même sans utilisation, la réaction chimique qui décharge la batterie s'effectue très peu, donc il y a une meilleure conservation de l'énergie.

#### 4. La limite écologique

Le but premier des batteries du 21<sup>ème</sup> siècle est, malgré les controverses sur l'énergie grise qu'elle suscite, de pallier à l'utilisation des énergies fossiles. Le problème est que le lithium est indispensable à l'heure actuelle pour produire ces batteries et les constructeurs savent que ce matériau de base est également une ressource limitée. Des recherches sont effectuées pour limiter son utilisation mais pas encore de façon concluante, sans parler du cobalt, etc. (Roussey, 2017) Alors que faire ? Fermer les yeux comme nos prédécesseurs? Faut-il attendre dans l'optimisme de trouver un matériau miracle et inépuisable qui, de plus, est facile à extraire ? Cette tactique n'est pas souvent payante à l'instar du pétrole. Malgré tout, aucune nouvelle technologie n'a su se développer sans passer par des périodes d'essai-erreur. Je pense que nous sommes dans un période où tout le monde devra être acteur du développement de ces technologies en évitant de laisser aller les industriels à des dérives que nous ne connaissons que trop bien. Concernant le recyclage, nous pouvons signaler que les batteries lithium-ion sont proches des 70% de recyclage et ne demandent qu'à être améliorées avec le temps (In sun we trust, 2019).

#### 5. Les autres technologies

Bien entendu la question environnementale soulève des inquiétudes sur l'utilisation de l'énergie. La batterie-ion développée pour l'automobile n'est pas la seule technologie à émerger :

- Les batteries lithium-ion solides reprennent, quant à elles, les grandes lignes des lithium-ion normales mais avec un électrolyte solide qui rendra les batteries plus sûres et plus performantes. Développé depuis février 2018, ce projet est censé être l'avenir de la voiture électrique et donc par extension une utilisation dans les

bâtiments (UCLouvain, 2019). En 2019 en Belgique, je ne connais aucune société permettant de placer de tels produits.

- Les volants d'inertie font également partie de ces nouveautés. Ils utilisent l'énergie cinétique d'une 'roue' mise en suspension par électromagnétisme et/ou dans un environnement sous vide afin de limiter le frottement. Elle est mise en mouvement par un moteur électrique lui-même alimenté par des panneaux solaires et lorsque qu'il y a un besoin électrique ce moteur peut tourner dans l'autre sens, alimenté, cette fois par l'inertie de la roue tournant dans une cuve sous vide. Le problème réside dans la taille de ces systèmes et le faible temps pendant lequel la roue tourne sans être alimentée, ce qui est la capacité de l'accumulateur en réalité. Il n'est pas rare de voir des vidéos sur internet traitant de ce sujet qui pourrait potentiellement être appliqué dans les maisons (Faure, 2009). A l'instar des batteries lithium-ion solides, je ne connais aucune société en Belgique plaçant de tels produits.
- D'autres batteries plus complexes encore et moins dirigées sur une utilisation domestique sont en cours de développement. Notre intérêt se porte de façon rationnelle sur les batteries alliant capacités de stockage intéressantes, modestes au niveau de l'espace nécessaire dans l'habitation avec un coût potentiellement raisonnable, sans oublier qu'elles doivent être facile d'accès pour le consommateur. Notre champ de réflexion est donc dirigé sur les batteries lithium-ion et sur les lithium fer-phosphate (PO<sub>4</sub>) qui sont relativement proches les unes des autres.

## 6. Capacité technique

Afin de pouvoir évaluer l'intérêt des batteries lithium, nous devons nous intéresser à la performance et à la fiche technique de certaines d'entre elles. L'exemple ci-dessous d'une Powerwall de chez Tesla nous indique une capacité utile de 13.5kWh. Cela signifie que par rapport à la consommation journalière de notre ménage type, le chiffre est un peu trop bas.

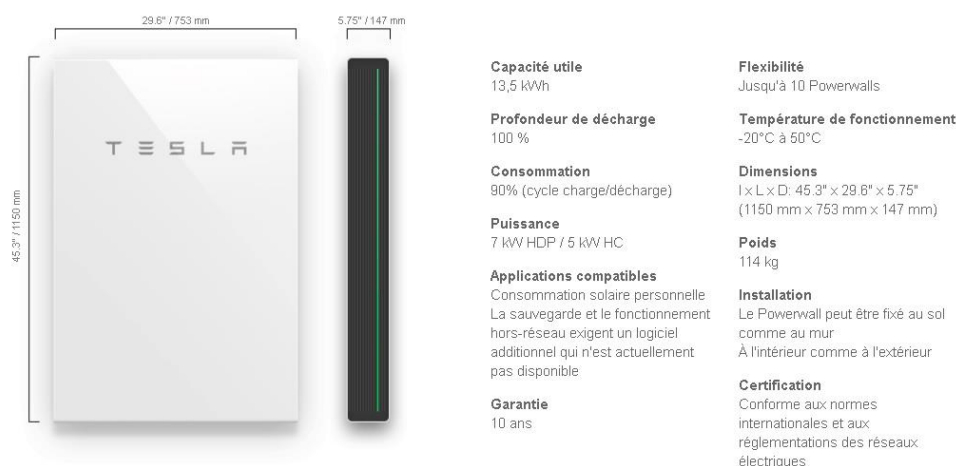



Figure 14 - Fiche technique Powerwall 2 Tesla (Tesla, 2019b)

Evidemment, il est possible de faire plus attention à la consommation, mais l'ajout d'une deuxième batterie n'est pas envisageable puisque la capacité reste très proche des besoins réels. On peut donc estimer qu'une batterie de ce type suffirait à un ménage moyen pour une journée. Cependant, comme nous l'avons vu précédemment, le soleil et le vent ne sont pas présents en permanence, ce qui signifie qu'une batterie n'est pas suffisante pour être autonome. En réalité, l'entière des placeurs s'accorde à dire que l'autonomie n'est pas atteignable dans les limites du raisonnable juste avec des panneaux photovoltaïques ni même une éolienne. En revanche, l'intérêt se situe dans l'augmentation de l'autoconsommation qui passerait de 30% sans batterie jusqu'à 75% (chiffre Tesla) avec batteries. Cela reste très avantageux compte tenu de la future taxe Prosumer, permettant, par la même occasion, de limiter son rejet sur le réseau. Une batterie de ce type, qu'on pourrait estimer insuffisante dans un premier temps par rapport à l'autonomie des mois d'hiver, est en réalité conçue par la marque pour une consommation journalière d'un ménage *lambda* (Tesla, 2019b).

Un autre type d'approche est celle utilisée par la marque LG. Leurs batteries ont des capacités plus réduites, mais ont l'avantage de pouvoir être couplées entre elles. Cela a pour effet de pouvoir dimensionner de façon plus exacte les batteries (LG Chem, 2019).

**48V**



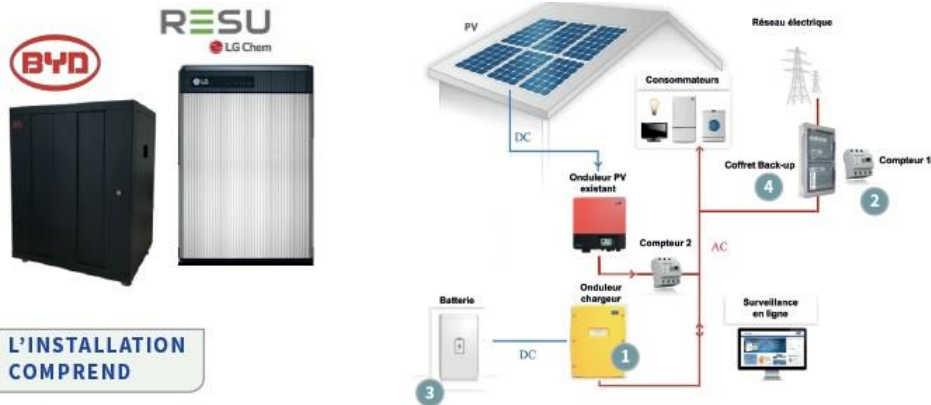
Models	RESU3.3	RESU6.5	RESU10
Total Energy [kWh]	3.3	6.5	9.8
Usable Energy [kWh]	2.9	5.9	8.8
Capacity [Ah]	63	126	189
Nominal Voltage [V]	51.8	51.8	51.8
Voltage Range [V]	42.0-58.8	42.0-58.8	42.0-58.8
Dimension [W x H x D, mm]	452 x 401 x 120	452 x 654 x 120	452 x 483 x 227
Weight [kg]	31	52	75
Enclosure Protection Rating	IP55		
Communication	CAN 2.0 B		
Certificates	Cell	UL1642	
	Product	CE / RCM / TUV (IEC 62619) / UL1973	

Figure 15 - Fiche technique Lg Chem RESU 3.3 / 6.5 / 9.8 kWh (LG Chem, 2019)

Il est important de parler de cycles pour pouvoir évaluer le temps de vie d'une batterie de manière plus spécifique. Les deux marques citées ci-dessus qui correspondent à beaucoup d'autres batteries, ont une capacité de +/- 6000 cycles, ce qui signifie que la batterie peut être chargée et déchargée environ 6000 fois (à 80% de ses capacités) avant de perdre de la performance voire même tomber en panne. Tout cela nous permet d'estimer la durée de vie de ces batteries (durée de vie chimique) à une vingtaine d'années. En effet, on estime qu'une batterie réalise 250 cycles par an ( $6000/250 = 24$  ans). Il faut également savoir qu'il existe deux technologies distinctes dans les batteries, les hautes tensions (Tesla) et les basses tensions (LG). Les deux sont facilement connectables au panneau solaire et au circuit électrique de la maison, mais l'électricité produite nécessite des transformations avant utilisation (Enersol, 2019a).

La première méthode basse tension est plus avantageuse avec un système déjà existant de panneaux solaires. Un onduleur supplémentaire permet de garder l'onduleur des panneaux. Ce mode de fonctionnement est un petit peu moins efficace car il retransforme deux fois le courant après chaque sortie mais il permet de garder l'équipement déjà posé préalablement. Il est donc applicable sur toute installation existante (Enersol, 2019a).

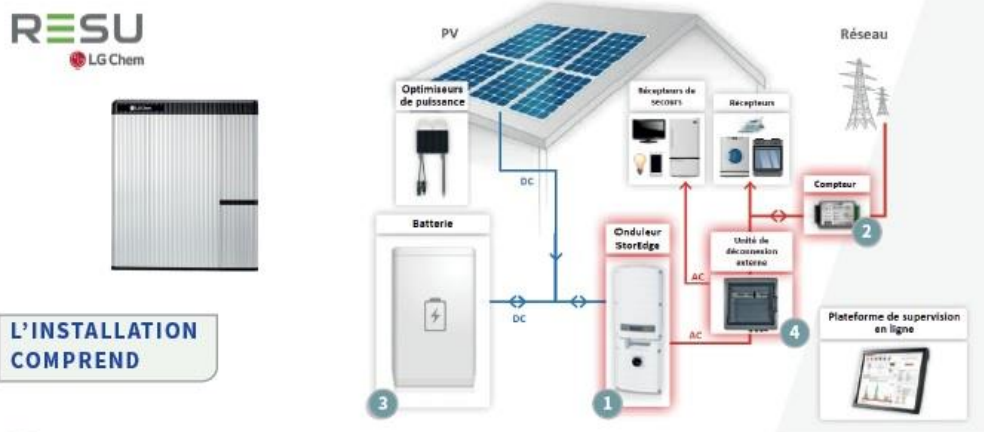




### L'INSTALLATION COMPREND

- 1 Onduleur chargeur Sunny Island  
Puissance nominale de 3.3 kVA / 6 kVA ou 8kVA
- 2 Compteur d'énergie bidirectionnel  
Permet une visualisation de la production et de la consommation sur internet
- 3 Batterie de stockage LG RESU LV / BYD  
Garantie fabricant : 10ans • Nombre de cycle : 5000 cycles (15ans) • 90% de profondeur de décharge (DOD)
- 4 Coffret de découplage (si option de back-up)  
Isolé l'habitation du réseau pour permettre l'alimentation de secours
- 5 Main d'œuvre et matériel électrique
- 6 Réception électrique

Figure 17 - Schéma annoté système basse tension (Enersol, 2019b)



### L'INSTALLATION COMPREND

- 1 Onduleur hybride SolarEdge StoreEdge SE 5000-RWS  
Management de la production photovoltaïque - Gestion de la charge et décharge de la batterie  
Gestion de l'alimentation de secours (back-up)
- 2 Compteur d'énergie bidirectionnel  
Permet une visualisation de la production et de la consommation sur internet
- 3 Batterie de stockage LG RESU HV  
Garantie fabricant : 10ans • Nombre de cycle : 5000 cycles (15ans) • 90% de profondeur de décharge (DOD)
- 4 Coffret de découplage (si option de back-up)  
Isolé l'habitation du réseau pour permettre l'alimentation de secours
- 5 Main d'œuvre et matériel électrique
- 6 Réception électrique

Figure 16 - Schéma annoté système haute tension (Enersol, 2019c)

La seconde méthode consiste à n'utiliser qu'un seul onduleur et avoir une tension plus proche de celle de la maison (240V) ce qui est beaucoup plus efficace mais ne permet pas d'être installé avec les panneaux déjà posés bénéficiant de certificats verts. Cela signifie qu'avec la première méthode, il est possible de rejeter sur le réseau et donc de bénéficier encore des certificats. Cela n'est pas possible avec la deuxième méthode qui est certes plus rentable au

niveau de la production et de la conservation mais pas au niveau rejet sur le réseau. La société Enersol pense malgré tout que la deuxième solution reste la plus rentable comme le résume la Figure 17 (Enersol, 2019a).

	COUPLAGE AC – SMA – MERCEDES / LG	COUPLAGE DC – SOLAREDGE - TESLA
Rendement [%]	79 %	92 %
Visualisation	+++	+
Installation	Plus compliquée	Facile
Coût	€€€	€

Figure 18 - Tableau récapitulatif système AC / DC (Enersol, 2019a)

Il faut également signaler que les batteries de marque LG sont disponibles aussi bien en haute tension qu'en basse tension pour la même capacité. Ce qui signifie qu'il serait tout à fait possible de faire un montage couplage en courant continu (DC) avec la marque LG.

## B. Les différentes approches de recharge

Comme vu précédemment, le but premier des batteries est d'augmenter son autoconsommation et de tendre vers un maximum d'autonomie malgré l'inconstance du soleil et du vent parfois absent plusieurs jours ou en quantité trop faible. Ces deux sources d'énergie ne permettent pas à elles seules d'obtenir une autonomie totale. Une analyse des méthodes de recharge est donc primordiale afin d'envisager les possibilités les plus intéressantes.

### 1. Le photovoltaïque

Les batteries sont à l'heure actuelle principalement vendues dans le but de renforcer l'autoconsommation de l'énergie produite par les panneaux photovoltaïques. Ce constat est dû à la fois à l'apparition de la taxe Prosumer qui sera d'application pour janvier 2020 et qui fera donc diminuer la rentabilité des panneaux photovoltaïques mais également au fait que tout le monde s'accorde à dire que les certificats verts vont bientôt être de plus en plus rares. Sachant qu'une maison munie de panneaux n'autoconsomme que 30% de son énergie produite dans le meilleur des cas, la taxe sera d'application sur les 70% restant qui seront rejetés sur le réseau. Nous l'avons vu précédemment, ceci est dû au fait que la meilleure production se fait en journée et que la plupart du temps, la consommation se fait en grande partie le matin et le soir. C'est principalement pour cette raison qu'énormément de personnes décident de s'intéresser aux batteries domestiques.

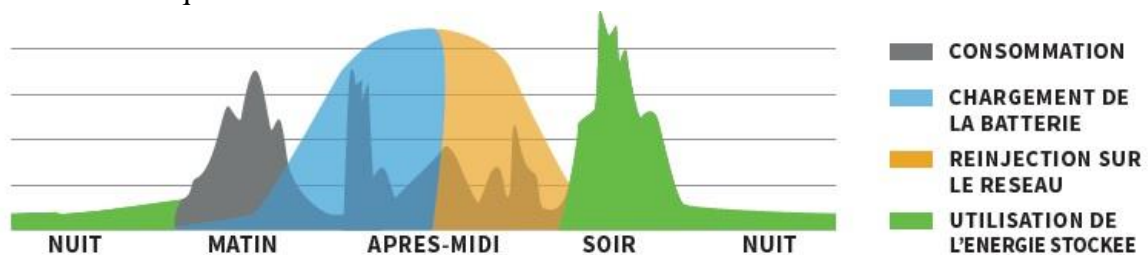


Figure 19 - Graphique fonctionnement batterie (Enersol, 2019b)

Le but des batteries serait d'emmagasiner de l'énergie pendant la journée, autrement dit le moment de production, pour la réutiliser quand le soleil n'est pas présent. Cela aura pour effet d'augmenter l'autoconsommation de façon drastique (Enersol, 2019b). Il est possible de rejeter l'énergie restante sur le réseau dans le but de ne pas sous-utiliser ses panneaux. En effet, comme ils sont calculés en fonction des besoins du ménage, rien ne sert de garder son excédent

sur une journée pendant les gros mois de production afin de gagner du temps de chargement le lendemain car cela ne fera que pénaliser l'utilisateur. Les panneaux sont calculés pour arriver à un total annuel de zéro consommation. Si nous conservons, d'une journée à l'autre, l'excédent sans rejeter sur le réseau et donc, sans faire tourner le compteur à l'envers, cela aura comme conséquence d'annuler le bénéfice sur l'investissement des panneaux. Ces derniers ont coûté une certaine somme dans le but de faire tourner le compteur à l'envers et utiliser une partie en autoconsommation. Si on prive pendant les 2 ou 3 mois de grosse production le compteur de décompte cela ne compense plus les mois d'hiver pour arriver à un total annuel de 0. Les mois d'hiver sans luminosité suffisante ne permettent même pas à combler les besoins journaliers du ménage mais ils sont compensés par les mois d'été.

Plusieurs choses sont à prendre en compte avant de décider de placer des panneaux : la surface disponible pour le placement, la consommation du ménage, l'orientation, l'ombrage, etc. Mais comme mentionné précédemment, le problème relève surtout des caprices de la météo. En revanche, le prix reste très intéressant, car très bas, depuis plusieurs années mais des différences de qualité existent. Monocristallins, polycristallins, haute performance sont toutes des qualités présentes sur le marché. Un ménage n'a pas absolument besoin de panneaux haute performance pour satisfaire sa demande de 4000kWh par an. La qualité et la puissance de l'onduleur sont primordiales car elles doivent correspondre au nombre et à la puissance installée de panneaux pour être efficaces et donc rentables. La TVA est également à prendre en compte : il est possible d'obtenir une TVA à 6% au lieu de 21% si le bâtiment a plus de 10 ans. En parlant du fait que ces paramètres sont pris en compte, le prix d'une installation varie entre 5000€ à 7000€. Il faut préciser que si le ménage décide d'investir dans une voiture électrique, une augmentation de 50% des panneaux est nécessaire, ce qui signifie une augmentation de 2500€ à 3000€ (David, 2017).

## 2. L'éolien

L'énergie du vent est très séduisante au premier abord car si on s'en tient aux analyses de la vitesse moyenne du vent en Belgique, on se dit que l'éolienne tournerait pratiquement toute l'année mais, il n'en est rien. En effet, la vitesse du vent à une hauteur comprise entre 10 et 15m est faible. La majorité des chiffres qui comparent l'éolienne domestique avec les panneaux photovoltaïques annoncent un rendement 4 fois plus important. Malheureusement,

ces chiffres semblent être légèrement exagérés car ils ne font pas de distinction entre les éoliennes horizontales et verticales ou entre une éolienne placée sur un mat ou sur une toiture. Ces caractéristiques changent fondamentalement la donne. Une éolienne n'a pas un très bon rendement sur une toiture, elle dépend de la localisation du terrain, des couloirs de courant d'air, etc. de beaucoup de choses difficilement quantifiables, sans parler du prix ! Très variables, les prix de placement oscillent entre 15000€ et 90000€ pour un ménage moyen où la variable reste le placement, car l'ancrage du mât peut être plus ou moins difficile et le raccordement à la maison également. Un facteur déterminant est la puissance et il est très complexe de calculer la puissance nécessaire car cela dépend du potentiel éolien du site. Une éolienne de petite puissance sera suffisante sur un site où le vent souffle en permanence. On peut estimer le prix d'une éolienne de manière approximative pour une consommation moyenne à +/- 40000€ placée en sachant qu'il existe des coûts de maintenance. En comparaison au photovoltaïque, l'avantage est qu'il n'y a pas de perte de rendement sur les années, à condition d'entretenir correctement le matériel. Les panneaux perdent, quant à eux, quelques pourcents de rendement après un certain temps, cela est dû à la dégradation des cellules photovoltaïques (Callmepower, 2019c). On comprend que cette technique n'est pas très répandue, car le prix et les difficultés dues notamment au manque de place ou au permis d'urbanisme à demander pour le placement freinent beaucoup les intéressés potentiels.

### 3. Le réseau traditionnel

Les batteries ont la capacité d'être rechargées par le réseau traditionnel. Surprenante aux premiers abords, cette technique a été envisagée pour profiter du tarif de nuit en permanence : recharger la nuit pour consommer le jour. Mais comme nous l'avons vu précédemment, la différence est relativement faible (à peine 0.03€ de différence au kWh), ce qui ne rend pas ce mode de chargement rentable puisque cela permet à peine 120€ d'économie par an pour 4000kWh si l'entièreté du courant est consommée de cette manière. Un point non négligeable est qu'un arrêté tarifaire du 9 mai 2017 interdit cette pratique en France, ce qui laisse supposer que cela peut également se produire en Belgique si le tarif de nuit devient vraiment avantageux.

#### 4. Les groupes électrogènes

C'est la solution actuelle pour arriver à une autonomie totale. Le groupe électrogène couplé avec les panneaux photovoltaïques est la seule solution envisagée actuellement pour arriver à 100% d'autonomie. Le groupe compense les moments où les panneaux ne produisent pas (EnergieBel, 2018). Il existe différents types de groupes électrogènes : ceux permettant de fonctionner avec du diesel ou de l'essence, ceux au gaz, ceux au polycarburant et aussi au bio-carburant plus respectueux de l'environnement. Une augmentation significative des sites internet et des ventes de ce genre d'appareils depuis quelques années nous montre que de plus en plus de personnes sont victimes de blackouts ou de pannes généralisées, principalement dans les zones rurales. Le groupe au gaz propane semble une solution adéquate car le gaz est entreposable pendant de nombreuses années sans problème et est facile d'accès (bonbonne en magasin). De plus, ces appareils permettent la plupart du temps un allumage électrique automatique au moment de la panne de courant, rendant l'inconfort pratiquement inexistant puisque tout est automatique (Groupe Electrogene, 2017). Il existe également des groupes électrogènes au gaz naturel permettant d'être reliés à un réservoir enterré alimentant également la maison pour le chauffage. Le coût par rapport au diesel ou l'essence est divisé en deux ce qui le rend encore plus intéressant.

Le prix de ce genre de groupe électrogène varie énormément puisque certains avec démarrage automatique commencent à 1000€. Pour la puissance requise au chargement de notre batterie (pour un ménage moyen) une somme de 4500 € sera nécessaire avec une insonorisation digne de ce nom et une performance de consommation réduite. Evidemment, la grande question est de savoir si cela reste intéressant d'un point de vue financier. Il est évident qu'en comptant le prix du groupe, du raccordement, le montage et le carburant, il est beaucoup plus intéressant de se connecter au réseau classique. Mais c'est actuellement le seul moyen d'être autonome à 100% d'un point de vu électrique en compensation des panneaux photovoltaïques. Il reste cependant une question écologique en suspens. Si les batteries sont censées améliorer notre bilan carbone, pourquoi brûler du fioul ou du gaz dans un groupe électrogène ?

## 5. Véhicule-to-grid (V2G)

Une maison qui recharge un véhicule, c'est devenu normal mais une voiture qui recharge une maison, c'est moins banal. Le réseau électrique peut être comparé à une grande batterie inépuisable alimentée par les différentes centrales. Les batteries domestiques le sont aussi en étant alimentées par le photovoltaïque (Laurent, 2019). Les voitures électriques peuvent être également associées à ce genre d'idée, des espèces de réservoir d'énergie mobile. Nous l'avons vu précédemment, le moment le plus intéressant pour stocker de l'énergie est la journée pendant que tout le monde est au travail. Admettons une entreprise qui veut améliorer son bilan carbone et qui remplit sa toiture de panneaux solaires. Les parkings sont remplis des voitures des employés qui peuvent se recharger sur des bornes électriques. Les voitures sont remplies au bout d'une journée et l'employé ne dépense que 15% de sa capacité d'autonomie car il habite dans un rayon de 20km autour de la société. Il lui faut plus ou moins la même chose pour y retourner le lendemain, ce qui fait que 70% de l'énergie ne sert à rien. Il est possible d'utiliser cette énergie pour alimenter la maison. Il faut savoir qu'une maison est moins énergivore qu'une voiture, car les piques de puissance sont beaucoup plus faibles que pour alimenter un véhicule qui démarre à un feu rouge par exemple. Cette technique permet de compenser le manque de production des maisons, ou même, pourquoi pas, de supprimer les panneaux solaires des habitations enlevant un coût en plus. C'est bien sûr très utopiste, mais il est important de souligner que par un changement d'habitudes et de mentalité, il est potentiellement possible de gérer de façon responsable son bilan énergétique et de faire des économies non négligeables. Les essais actuels sont encourageants mais préconisent cette utilisation pour les futures variations de tarif du réseau en utilisant la voiture comme recharge alternative pour acheter à bas prix.

## VI. La rentabilité

---

L'aspect le plus important de la rentabilité des batteries se situe sur deux axes principaux, à savoir, sa durée de vie et le tarif Prosumer. Il ne faut pas perdre de vue que le mode de rechargement principal (pour ne pas dire le seul) est le panneau photovoltaïque. Nous savons qu'une installation de ce type peut faire tourner le compteur électrique du consommateur à l'envers ce qui permet des économies très importantes entraînant ainsi une nullité de la facture si l'installation est correctement dimensionnée. Un aspect complexe à saisir est, qu'en réalité, si notre facture est nulle due au décomptage, cela veut également dire qu'on a rejeté sur le réseau électrique. Un tarif Prosumer va donc s'appliquer mais calculé sur ce qui est prélevé. Nous allons mettre la notion de certificat vert de côté pour le moment. En réalité, ceux-ci améliorent la rentabilité d'une installation photovoltaïque car en Flandre et en Wallonie, cette taxe ne s'applique plus à toute nouvelle installation depuis 2014 (David, 2019a). Notez que, dans le cas où l'utilisateur bénéficie toujours des certificats, la grande question est de savoir s'il est intéressant de conserver son énergie ou non puisque une grande partie des certificats saute en cas de conservation. La plupart des gens rencontrés pour ce travail affirment que leur envie se porte sur la conservation d'énergie, mettant en avant la politique belge qui après avoir diminué plusieurs fois le prix des certificats verts se dirige vers la suppression de ceux-ci tout en se rendant compte de la complexité de la démarche pour les obtenir.

Un autre élément pertinent concerne le dimensionnement réel des batteries. Bien que nous ayons préalablement analysé les consommations d'un ménage moyen pour un an et pour une journée, l'autonomie totale n'est pas possible dans la limite du raisonnable. Aussi, les placeurs que j'ai pu rencontrer dimensionnent la capacité pour arriver à une autoconsommation égale à 70%, voire plus, si le bâtiment est géré de façon correcte (Enersol, 2019a). La capacité moyenne pour une autoconsommation égale à 70% pour un ménage de 4000 kWh revient à un peu plus de 7.6kWh par jour. Cela signifie qu'une batterie de 7 kWh suffit pour ce besoin.



## A. Le prix des batteries

Les sites internet dédiés aux batteries de ce genre affichent leur prix facilement, ce qui nous permettra d'effectuer nos comparaisons. Dans un souci d'exactitude, des devis de placeurs expérimentés ont été demandés afin d'obtenir un prix du produit avec la main d'œuvre nécessaire au placement, bien que les sites internet comme celui de Tesla indiquent déjà ce qu'un placeur demande de manière générale.

### 1. Comparaison

Pour que la comparaison soit concluante, nous ne prendrons que des tailles de batteries plus ou moins égales. Les prix sont donnés TVA comprise puisque le consommateur y est assujéti. Quand les prix ne sont pas imposés par la marque, ceux-ci sont calculés sous forme de moyenne (Figure 20). Il faut savoir qu'il y a parfois des différences pour la même batterie selon le revendeur interrogé. Le nombre de kWh de la batterie est indiqué car il n'existe pas tous les types d'énergies disponibles. Par exemple, Tesla ne propose que 13.5kWh, l'augmentation venant du fait de doubler le nombre de batteries. La colonne nommée « extensibilité » indique combien d'appareils sont couplables ensemble, c'est-à-dire le nombre de batteries du même type que l'on peut assembler dans le but d'augmenter le stockage.

<b>Marque</b>	<b>kWh</b>	<b>Extensibilité</b>	<b>Nombre de Cycle</b>	<b>Durée de vie</b>	<b>Prix TVAC</b>
LG Chem RESU	10	x2	+ 6000	+ 20 ans	5862.97€
Tesla Powerwall 2	13.5	x9	Illimité selon le constructeur  +6000 selon placeur	Garantie 10 ans mais pas estimable  +20 ans pour placeur	9075€
Nissan Xstorage	6 + 4 = 10 ou 6 x 2 = 12	?	Indéterminé par le constructeur	Indéterminé garantie 10 ans	+/- 7800€

Pylontech +50	2.5 x 4 modules = 10	x30	+4500	+18 ans	1265.80 € x 4 = 5062.2€
BYD B-BOX residential	2.5 x4 modules = 10	x20 (mise en parallèle de coffret)	+6000	+20 ans	5990€

Figure 20 - Tableau comparatif de différentes batteries

Une grande différence de concept existe entre les constructeurs. Certains visent la modularité soit par l'ajout de modules dans une sorte de grand tableau électrique permettant de concevoir exactement selon son budget et ses besoins, soit par l'ajout d'unités de tailles différentes les unes aux autres. D'autres (Tesla) ont l'air de viser directement le dimensionnement pour l'autonomie totale car il n'existe qu'une capacité, ce que je soupçonne être une astuce commerciale. Si la capacité de la batterie est égale aux besoins journaliers, le consommateur croit acheter une autonomie totale. Or, nous avons vu que compte tenu de nos climats, il n'est pas possible d'être autonome sans l'ajout d'un groupe électrogène.

Comme mentionné précédemment, il existe d'autres types de batteries disponibles sur le marché actuel, notamment les batteries au plomb ou encore les eaux salées. Il faut préciser que les deux dernières batteries du tableau ne sont pas des batterie lithium comme les deux premières mais bien des lithium fer-phosphate (life PO4), différentes des deux autres. Il est extrêmement difficile d'avoir des informations sur la Xstorage de chez Nissan et les chiffres sont à mettre sous réserve. Cela est probablement dû au fait qu'on n'en trouve pas, à ma connaissance, en Belgique. Mercedes-Benz a commercialisé un produit qui fonctionnait mais a arrêté sa production estimant que le moment n'était pas propice à ce genre d'affaire, probablement écrasé par la dominance de Tesla sur le marché (Energysage, 2019). Des maisons sont équipées malgré tout avec cette marque. Le constat est que la rentabilité doit être calculée sur une base de fonctionnement de 20 ans. La batterie la plus chère est la Powerwall de Tesla, mais il faut cependant rester prudent. En effet, elle possède un onduleur intégré directement dans la batterie contrairement aux autres et a un meilleur rendement que les autres. Cela signifie que le matériel à annexer pour le fonctionnement est moins important.

## 2. Prix placé

Comme nous le savons, il ne suffit pas de placer la batterie. Deux techniques existent pour ce genre de matériel : le couplage courant alternatif (basse tension) et le couplage courant continu (haute tension). Le premier implique d'avoir un onduleur, l'autre d'en avoir deux. La première technique réservée aux basses tensions utilise deux onduleurs, un présent pour les panneaux solaires et un nouveau nécessaire pour le stockage. La société Enersol nous propose une comparaison de prix pour les deux types de placement.

Le tableau (Figure 21) indique que pour une consommation annuelle de 4000kWh et pour la première technologie destinée aux installations photovoltaïques existantes, un prix de 8500€ permet d'augmenter son autoconsommation à +/- 70%. Le deuxième prix comprenant une alimentation de secours est en réalité un montage permettant au système de compenser directement une coupure soudaine de courant. Le fait de ne pas avoir ce supplément n'implique pas que la batterie n'est pas utilisable en temps de panne mais, qu'une coupure sera tout de même ressentie avant que la batterie ne prenne le relais. Ce supplément n'est pas nécessaire pour une maison unifamiliale classique mais s'adresse plus aux personnes devant utiliser du matériel devant à tout prix éviter de se couper.

<b>Consommation annuelle [kWh]</b>	<b>4.000 kWh</b>	<b>8.000 kWh</b>
Capacité de batterie [kWh]	7 kWh	13,8 kWh
Prix sans alimentation de secours TTC (6%)	A partir de 8.500 €	A partir de 12.000 €
Prix avec alimentation de secours <sup>2</sup> TTC (6%)	A partir de 10.000 €	A partir de 13.500 €

Figure 21 - Tableau récapitulatif prix batterie basse tension (Enersol, 2019b)

En ce qui concerne les installations entièrement neuves sur la figure 22, les prix sont pratiquement identiques selon l'estimation. Cette dernière installation est en revanche beaucoup plus rentable car la tension est plus proche de celle disponible à la maison. Mais les batteries en elles-mêmes sont plus chères car elles sont haute tension. Le matériel annexe nécessaire est, quant à lui, moins onéreux car un onduleur supplémentaire n'est pas absolument nécessaire. La main d'œuvre reste inchangée tout comme le petit matériel.

<b>Consommation annuelle [kWh]</b>	<b>4.000 kWh</b>	<b>6.000 kWh</b>
Capacité de batterie [kWh]	7 kWh	10 kWh
Prix sans alimentation de secours TTC (6%)	A partir de 8.700 €	A partir de 9.700 €
Prix avec alimentation de secours <sup>2</sup> TTC (6%)	A partir de 10.000 €	A partir de 11.000 €

Figure 22 - Tableau récapitulatif prix haute tension (Enersol, 2019c)

Le devis proposé en annexe (Annexe A) va nous éclairer sur le côté plus concret de ces installations. On voit qu'avec la technologie haute tension et la marque BYD, une installation de 7436.5€ TVAC permet déjà d'avoir un système performant. Le Monitoring, déjà mentionné et indispensable au bon fonctionnement du système, est compris dans le prix. La société Enersol propose même un prix pour une future extension de capacité (Annexe B).

## B. Le retour sur investissement

### 1. Pour une autoconsommation améliorée

Nous savons que la technologie de batterie intéresse principalement les personnes ayant des panneaux solaires ou celles qui veulent en placer. Cela est dû au fait que les autres techniques de recharge sont très coûteuses ou pas adaptées aux maisons unifamiliales mais pas seulement. Le tarif Prosumer qui va entrer en application en janvier 2020 est l'une de ces raisons. Ce tarif sera différent d'une région à l'autre et payable de deux façons. La première façon est nommé le tarif capacitaire (forfaitaire) payé en fonction de la puissance installée, mais qui ne favorise pas l'autoconsommation. La deuxième est appelée le tarif proportionnel qui est calculé en fonction du volume d'électricité prélevé sur le réseau et qui nécessite un compteur bidirectionnel. Le consommateur a l'opportunité de choisir son type de tarif en sachant que de toute manière, s'il choisit le tarif proportionnel et qu'il dépasse le montant du tarif forfaitaire, en cas de très faible autoconsommation par exemple, le tarif forfaitaire s'applique d'office (Enersol, 2019a). Le choix des deux tarifs est obligatoire pour que le système fonctionne puisque si l'Etat n'avait pas appliqué ce stratagème, les personnes ayant des panneaux photovoltaïques ne comblant pas l'entièreté de leurs besoins sur un an auraient dû payer toute l'électricité qu'ils prélevaient sur le réseau. Supposons une personne voulant investir pour la moitié de sa consommation annuelle, son électricité lui aurait coûté beaucoup plus puisque qu'elle serait soumise au tarif Prosumer. Le tarif forfaitaire en fonction de la puissance installée permet de pallier à cela.

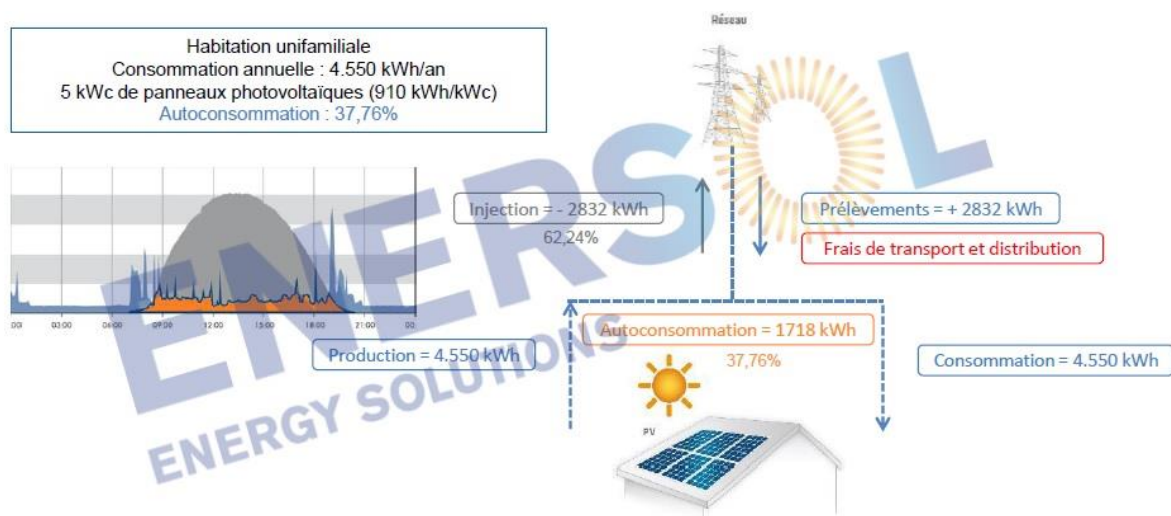


Figure 23 - Schéma explicatif de fonctionnement de rejet et prélèvement du réseau (Enersol, 2019a)

Pour exemplifier ces notions très complexes et comprendre en quoi il est intéressant de placer des batteries, prenons l'exemple ci-dessous. Une consommation annuelle de 4550kWh/an (semblable à notre exemple type) ayant une autoconsommation déjà bien gérée puisqu'elle est supérieure à 30%. Les panneaux sont correctement dimensionnés puisque la consommation égale la production. Forcément, tout ce que ce ménage n'autoconsomme pas est réinjecté sur le réseau. Sur un an, son injection équivaut donc à son prélèvement. Le tarif Prosumer dans la région est de 84.96€/kWh. En posant les hypothèses mentionnée ci-dessous, à savoir que le kWh vaut +/- 0.10€ et le transport 0.05€/kWh, le tarif capacitaire et proportionnel sont égaux et représentent 424€ par an.

<p><b>Hypothèses :</b>          Autoconsommation = 37,76 %          Tarif Prosumer = 84,96€/kWh          Tarif distribution = 0,10€/kWh          Tarif transport = 0,05€/kWh</p>	<p><b>Facture tarif capacitaire</b></p> <p>5kWh x 84,96€/kWh = 424,80€          0 kWh x 0,10€/kWh = 0€          0 kWh x 0,05€/kWh = 0€  <b>Total = 424,80€</b></p>	<p><b>Facture tarif proportionnel :</b></p> <p>5kWh x 0 €/kWh = 0€          2832 kWh x 0,10€/kWh = 283,20€          2832 kWh x 0,05€/kWh = 141,60€  <b>Total = 424,80€</b></p>
--	--	--

Figure 24 – Comparaison capacitaire / proportionnel autoconsommation classique de 30 % (Enersol, 2019a)

Supposons que l'autoconsommation soit augmentée à 80% grâce à des batteries, alors le ménage ne prélèverait plus 2832kWh, mais 910kWh portant ainsi la facture à 136€ au lieu de 424€ et favorisant alors le tarif proportionnel.

<p><b>Hypothèses :</b>          Autoconsommation = 37,76 %          Tarif Prosumer = 84,96€/kWh          Tarif distribution = 0,10€/kWh          Tarif transport = 0,05€/kWh</p>	<p><b>Facture tarif capacitaire</b></p> <p>5kWh x 84,96€/kWh = 424,80€          0 kWh x 0,10€/kWh = 0€          0 kWh x 0,05€/kWh = 0€  <b>Total = 424,80€</b></p>	<p><b>Facture tarif proportionnel :</b></p> <p>5kWh x 0 €/kWh = 0€          910 kWh x 0,10€/kWh = 91€          910 kWh x 0,05€/kWh = 45,50€  <b>Total = 136,50€</b></p>
--	--	---

Figure 25 - Comparaison capacitaire / proportionnel avec autoconsommation de 80 % (Enersol, 2019a)

Supposons à présent que son autoconsommation soit de 20%, alors le prélèvement réseau serait de 3640kWh portant ainsi le prix du tarif proportionnel à 546€ (plus élevé que le tarif capacitaire).

<p><b>Hypothèses :</b>          Autoconsommation = 37,76 %          Tarif Prosumer = 84,96€/kWh          Tarif distribution = 0,10€/kWh          Tarif transport = 0,05€/kWh</p>	<p><b>Facture tarif capacitaire</b></p> <p>5kWh x 84,96€/kWh = 424,80€          0 kWh x 0,10€/kWh = 0€          0 kWh x 0,05€/kWh = 0€  <b>Total = 424,80€</b></p>	<p><b>Facture tarif proportionnel :</b></p> <p>5kWh x 0 €/kWh = 0€          3640 kWh x 0,10€/kWh = 364€          3640 kWh x 0,05€/kWh = 182€  <b>Total = 546€</b></p>
--	--	---

Figure 26 - Comparaison entre capacitaire / proportionnel avec autoconsommation inférieur à 20 % (Enersol, 2019a)

Grâce à cet exemple, on comprend pourquoi les batteries ont un certain intérêt auprès du public possédant un système photovoltaïque. Si le placement de batteries permet d'augmenter l'autoconsommation de manière intéressante, une économie de +/- 288€ par an peut être réalisée dans ce cas. Prenons maintenant une durée de vie de 20 ans pour nos batteries :

$288\text{€} \times 20 = 5760\text{€}$ . L'investissement n'est donc pas rentable sur cette durée puisque la batterie coûte +/- 8000€ une fois placée. Après 30 ans, le retour sur investissement semble concluant. Mais malheureusement, les batteries ne sont pas encore opérationnelles pour cette durée. Le tarif n'est pas le même d'une région à l'autre, ce qui signifie que certains endroits seront soit encore moins propices au placement soit seront améliorés. A titre indicatif, les prix vont de 66.87€ chez AIEG jusqu'à 98.84€ chez ORES VERVIERS par exemple. N'oublions pas que les prix vont probablement évoluer au cours des années (Enersol, 2019a).

Une autre manière de voir les choses serait de se demander ce que coûte le tarif Prosumer qui nous est imposé et de voir ce qu'il en est pendant 20 ans sans placer les batteries. Une fois les panneaux photovoltaïques placés, la personne est soumise à ce tarif. Prenons une moyenne de 85€/kVA pour ce tarif, ce qui correspond à la réalité des prix actuels sans l'augmentation que l'on prévoit dans les années à venir. L'exemple du début est de 5kVA d'installation, ce qui nous donne  $5\text{kVA} \times 85\text{€} \times 20 = 8500\text{€}$ . Le pire des cas (tarification la plus haute) nous donne des chiffres dépassant les 10000€ sur 20 ans. Si on place les batteries, ce chiffre descend à  $135\text{€} \times 20 = 2700\text{€}$ . Cela implique une différence de  $8500 - 2700 = 5800\text{€}$ . Le problème reste cependant le prix des batteries. On peut donc estimer que les batteries deviennent intéressantes si le prix descend en dessous de +/- 5800€ une fois placées. Or, le devis fourni en annexe nous indique des tendances allant dans ce sens. Certaines personnes autodidactes sont capables de placer elles-mêmes ce genre de matériel, abaissant ainsi les coûts et rendant donc les batteries rentables.

Imaginons maintenant un grand consommateur de courant : 9000kWh/an et 10kWh/kVA. Le tarif capacitaire sur 20 ans serait de  $10 \times 85 \times 20 = 17000\text{€}$ . En forfaitaire et avec une autoconsommation de 80% comme dans l'exemple, il prélèverait 1800kWh ; ce qui signifie  $1800 \times 0.15\text{€} \times 20 = 5400\text{€}$  et donc une différence de  $17000 - 5400 = 11600\text{€}$ . Nous pouvons donc imaginer que pour une consommation électrique aussi grande et une autoconsommation de 80%, un nombre important de batteries est nécessaire, plus de panneaux solaires, ainsi qu'un onduleur plus puissant. Tout cela signifie *in fine* que l'installation n'en demeure toujours pas rentable bien qu'améliorée car on dépasse largement les 11600€.

Une supposition intéressante est d'imaginer une augmentation du prix du tarif capacitaire ne fut-ce que de 15%, ce qui paraît logique quand on voit que l'évolution du prix du courant est bien plus importante que ça, et de garder cette augmentation comme moyenne pour les 20 ans. Autrement dit, imaginer un tarif pour ORES VERVIER de 112€/kVA par exemple.

Nous arrivons alors pour une unité 5kVA et sur 20 ans à plus de 11000€ de tarif capacitaire. C'est un des arguments de vente pour le marché des batteries. Malheureusement, le prix du tarif capacitaire a l'air directement lié au prix du courant et du transport. Cela signifie que si le tarif capacitaire augmente, le proportionnel augmentera également. Nous sommes donc dans une impasse où le seul moyen semble être la diminution des prix de base des batteries. Une dernière chose à mentionner est le fait que ces chiffres sont donnés pour une autoconsommation de 80%, ce qui est possible et déjà très performant. La plupart du temps un ménage ne faisant pas attention atteindra plus les alentours des 70% / 75% que 80% (Enersol, 2019a).

## 2. Par une autonomie totale

L'autonomie totale est une réaction logique au tarif Prosumer. Si le consommateur ne prélève ou ne rejette pas de courant sur le réseau, il n'est pas soumis à ce tarif. Nous l'avons vu précédemment, le seul moyen d'être autonome à 100% passe par l'achat et la pose d'un groupe électrogène. Toute tentative de coupler des panneaux photovoltaïques avec une éolienne complémentaire est totalement vaine, car le vent et le soleil peuvent être absents tous les deux en même temps, laissant l'utilisateur sans courant. De plus, l'achat d'une éolienne est hors budget pour espérer être rentable. Une intuition pourrait nous inciter à nous demander si le prix du groupe électrogène et son carburant ne combleraient pas les 424€ du tarif. En effet, le ménage ne serait pas soumis à cette taxe s'il ne rejette pas sur le réseau mais, il est difficile de croire que ce gain comblera l'achat des batteries, des panneaux, du groupe et du carburant. On serait tenté d'imaginer que les batteries ne servent plus à rien : autant faire tourner le groupe quand les panneaux ne le peuvent pas. Malheureusement, ce dernier tournerait en permanence, comblant le moindre nuage passant au-dessus des panneaux ou dès que la lumière serait nécessaire pendant la nuit, ce qui serait impossible pour un passage de 30sec, dans le couloir par exemple. Comme mentionné dans l'introduction, je n'ai pas les capacités d'ingénierie requises pour connaître tous les tenants et aboutissants relatifs à la consommation du groupe à l'heure ou encore le nombre d'heures pendant lesquelles il devrait tourner pendant un an. Un calcul simple peut cependant déjà nous donner un ordre de grandeur. Le placement et la pose d'un groupe électrogène correctement insonorisé revient à 4500€, les batteries +/- 8000€. Nous n'allons pas prendre en compte les panneaux photovoltaïques pour ce calcul, puisque le but final est d'éviter la taxe qui sera imposée s'ils sont effectivement placés. La somme atteinte



équivalait déjà à 12500€, sans compter le carburant nécessaire par année. Cette estimation est valable dans le cas où la durée de vie de batterie atteint 20 ans afin d'économiser la taxe de  $450\text{€} \times 20 \text{ ans} = 9000\text{€}$ . Concrètement, cela signifie que sur 20 ans, nous avons perdu  $12500\text{€} - 9000\text{€} = 3500\text{€}$ , sans compter le carburant. Bien que ce point relève de détails techniques, il faut cependant signaler que l'onduleur ne sera probablement plus adapté à recevoir ce type d'énergie venant du groupe. Un montage plus réfléchi et plus technique avec un onduleur triphasé s'avérera nécessaire, rendant l'investissement encore plus coûteux.

## VII. Conclusions et Perspectives

---

Après analyse de ces données, force est de constater que les batteries domestiques ne sont pas rentables d'un point de vue économique. Le problème majeur vient de la durée de vie de ces batteries. Elles annoncent une longévité de plus de 20 ans mais nous devons baser nos estimations sur la durée théorique. Bien que les constructeurs annoncent cette durée de vie, rien n'indique que la batterie ne peut pas tenir encore plus dans le temps avec des capacités plus limitées puisque la réaction chimique de la batterie arrive à sa fin.

Il est étonnant de constater que la seule motivation intéressante au placement est la diminution de la tarification Prosumer. Mais, en tenant compte du prix encore un peu élevé des batteries, l'investissement n'en vaut pas la peine. Pourquoi certaines personnes investissent-elles tout de même dans ce matériel ? Je pense que ce choix résulte plus d'un rejet massif du système de tarification en Belgique couplé à la crainte qu'engendre la perspective de sortie du nucléaire.

En effet, comme nous avons pu le voir dans le début du travail, la politique énergétique ne cesse d'être modifiée. Les salles dans lesquelles j'ai assisté à des conférences sur le placement de tels produits sont remplies de personnes possédant des panneaux solaires et révoltées par les fausses promesses concernant les certificats verts et le tarif Prosumer. Il est surprenant de constater que, dans un pays démocratique comme le nôtre, les règles et les lois ne sont pas les mêmes d'une région linguistique à l'autre ou même d'un territoire à l'autre. Sans compter qu'une mesure prise peut être remaniée, modifiée ou abandonnée à tout moment changeant ainsi le retour sur investissement d'un produit. On en arrive à se demander si les mesures prises ne devraient pas bénéficier d'une durée d'existence durant laquelle elles ne peuvent être modifiées. Cela permettrait d'assurer l'investissement que certaines personnes font sans avoir à s'inquiéter de l'avenir, des primes promises et des taxes dont elles devraient être exemptes. Pour appuyer mes propos, il suffit de constater le nombre de groupes électrogènes en vente. Pratiquement tous les magasins de bricolage ou 'parcs et jardins' disposent de groupes à vendre. Nous pouvons aussi mentionner le fait que l'eau de pluie va probablement être taxée en Wallonie pour exactement les mêmes raisons d'entretien du réseau que celles citées pour l'électricité. Cela signifie qu'un détenteur de citerne à eau de pluie consomme moins d'eau provenant du réseau. Il s'ensuit que les coûts d'entretien ne sont plus assurés par tout le monde, rendant le système obsolète. Certaines zones rurales sont en permanence victimes de pannes de courant dues au mauvais entretien du réseau alors que le

coût de cet entretien n'a jamais été aussi élevé. Le problème concerne la grande étendue du réseau. Prenons comme exemple Verviers. Cette zone est très étendue pour un nombre d'habitants limité au kilomètre carré, ce qui explique les coûts exorbitants du transport dans cette zone. Les habitants de ces zones à tendance rurale peuvent subir des coupures de courant pendant plusieurs heures, voire même plusieurs jours dans certains cas. Ils solutionnent ce problème par l'achat de groupes. Certaines personnes qui placent des poêles à bois décident même de placer des taques de cuisson par-dessus, afin de toujours être en mesure de cuisiner en cas de panne de courant.

La sortie du nucléaire prévue pour 2025 ne va pas amoindrir ces problèmes. Comme nous l'avons vu, la majeure partie de la production électrique en Belgique vient du nucléaire pour un bilan carbone relativement limité. Les accords énergétiques mondiaux nous imposent de limiter nos rejets de CO<sub>2</sub>. Les deux mesures étant diamétralement opposées, les perspectives d'avenir sont encore moins réjouissantes. Le risque avec de telles mesures est que nous allons reporter notre bilan carbone à l'étranger en achetant du courant aux pays voisins. Cela va augmenter le prix du courant de manière phénoménale, nous rendant encore un peu plus dépendant des autres pays européens et nous enlevant encore des pouvoirs de négociation politique par la même occasion. De plus, en cas de fortes demandes dans les autres pays pour des raisons diverses (hiver rude, etc.), la commande ne sera peut-être pas possible, nous laissant sans courant ou avec encore plus de black-out. C'est précisément pour cette raison que certaines personnes placent des batteries couplées aux panneaux solaires et groupes électrogènes. Ils sont donc totalement autonomes ; les problèmes de black-out, de délestage, de variation de prix, de primes abandonnées et j'en passe sont derrière eux. Certes, cela n'est pas sans leur occasionner certaines dépenses qui ne se révèlent finalement pas rentables. A l'heure actuelle, il est plus intéressant d'être raccordé au réseau et d'avoir des panneaux photovoltaïques sans batterie. Mais cette situation sera-t-elle toujours immuable ? Les personnes prenant ce parti font une sorte d'investissement en pariant qu'avec l'augmentation du prix du courant ils seront gagnants. Ces derniers insistent également sur le fait que, de toute manière, l'argent à la banque ne rapporte rien et que les actions en bourse sont moins sûres que l'augmentation du prix de l'électricité.

Plusieurs hypothèses plausibles peuvent expliquer la rentabilité de ce genre d'équipement. Nous pouvons notamment citer la diminution du prix des batteries. Cette hypothèse n'est pas totalement infondée quand on voit que le prix des batteries a diminué de

façon drastique ces dernières années à l'instar des panneaux solaires. On suppose que l'industrie de l'automobile permettra d'amoindrir les coûts.

Un autre angle de réflexion, abordé par Nissan, serait le recyclage des batteries de voiture pour les habitations. Cette idée semble à la fois cohérente et réaliste car les batteries de voiture sont plus puissantes que celles pour les maisons puisqu'une voiture a besoin de mobiliser énormément d'énergie en très peu de temps pour se déplacer. Une habitation ne demande pas autant de puissance. Une seconde vie serait envisageable, diminuant ainsi les coûts de production de la batterie, même si la durée de vie pouvait se révéler plus limitée qu'une batterie neuve. Il serait possible d'imaginer un système de recyclage dans lequel les batteries tenant une dizaine d'années pourraient être échangées contre une autre batterie recyclée.

Les primes au placement, comme il en existait pour les panneaux photovoltaïques, seraient une autre hypothèse à explorer. Sachant que l'impossibilité d'entretenir le réseau serait le problème majeur si un trop grand nombre d'individus étaient indépendants électriquement. Cette piste semble peu prometteuse, d'autant plus que le tarif Prosumer démontre bien les problèmes qu'engendrent les panneaux avec une autoconsommation de seulement 30%. Il est difficile d'imaginer une situation viable avec une autoconsommation de 80%, voire une autonomie totale.

Le changement de mentalité serait une autre piste. La technique Vehicule-to-Grid a d'ailleurs été mentionnée précédemment. Cette dernière implique un changement de point de vue entre un employé et son patron mais aussi sa manière de gérer son énergie. L'énergie ne se cantonne pas à l'électricité mais englobe le gaz pour le chauffage, le carburant pour la voiture, l'énergie dépensée au bureau, etc. Une société offrant à ses employés des voitures électriques et des panneaux photovoltaïques à la place de carte essence permettrait à ceux-ci de faire le plein sur le parking de l'entreprise. Cette énergie serait amenée jusque chez les employés, réduisant en plus leurs factures domestiques. Cela semble utopique mais nous n'en sommes plus si loin. C'est précisément dans ce cas de figure que les batteries interviennent. Ces visions me semblent les plus porteuses pour l'Etat qui devrait être amené à encourager ce genre de pratique : offrir des primes, des déductions fiscales plus importantes, envisager des solutions globales et majeures au lieu de se replier sur des mesures de moindre ambition sur la taxation des emballages plastiques.

## VIII. Bibliographie

---

AIE. *Energy Policies of IEA Countries: Belgium 2016*, Energy Policies of IEA Countries. Paris : AIE, 2016.

ATOUT ENERGIE. *Panneau photovoltaïque : Qu'est-ce qu'un panneau solaire photovoltaïque*. In : Atout Energie [en ligne]. 12 avril 2019. [Consulté le 12 avril 2019]. Disponible sur : <https://atoutenergie.com/panneau-photovoltaïque/>.

AVERE FRANCE, 2014. *L'Histoire du véhicule électrique*. In : Avere-France [en ligne]. 30 octobre 2014. [Consulté le 4 avril 2019]. Disponible sur : [http://www.aver-france.org/Site/Article/?article\\_id=5871](http://www.aver-france.org/Site/Article/?article_id=5871).

BOCCARD, Nicolas et GAUTIER, Axel. Le coût de l'énergie verte en Wallonie, 2003-2012. *Reflets et perspectives de la vie économique*, 2015, 54(1), p. 71-85.

CALLMEPOWER. *Éolienne domestique, éolienne verticale : fonctionnement, prix, avis*. In : Callmepower [en ligne]. 30 juillet 2019a. [Consulté le 30 juillet 2019]. Disponible sur : <https://callmepower.be/fr/energie/guides/environnement/renouvelables/eolienne>.

CALLMEPOWER. *L'évolution des prix du kWh d'électricité en Belgique*. In : Callmepower [en ligne]. 11 août 2019b. [Consulté le 11 août 2019]. Disponible sur : <https://callmepower.be/fr/energie/guides/tarifs/electricite>.

CALLMEPOWER. *Panneaux photovoltaïques en Belgique : taxe, prix, prime, compteur, ...* In : Callmepower [en ligne]. 30 juillet 2019c. [Consulté le 30 juillet 2019]. Disponible sur : <https://callmepower.be/fr/energie/guides/environnement/renouvelables/panneaux-solaires>.

CALLMEPOWER. *Quelle est la consommation moyenne d'électricité en Belgique ?* In : Callmepower [en ligne]. 18 juillet 2019d. [Consulté le 18 juillet 2019]. Disponible sur : <https://callmepower.be/fr/energie/guides/consommation/moyenne-electricite>.

CAWET, Daphné. *Comparez votre consommation électrique moyenne à celle de votre voisin*. In : Engie - Sweet & Smart Home [en ligne]. 30 avril 2019. [Consulté le 12 août 2019]. Disponible sur : <https://www.engie-electrabel.be/fr/blog/solutions-pour-la-maison/consommation-electricite-moyenne-belge/>.

COMPARATEUR ENERGIE. *Le prix de l'électricité facturé au consommateur en Belgique*. In : *Blog de Compareur-Energie.be* [en ligne]. 27 septembre 2017. [Consulté le 11 avril 2019]. Disponible sur : <https://www.compareur-energie.be/blog/2017/09/27/prix-electricite-belgique/>.

CREG. *Comment est composé le prix de l'énergie?* In : CREG : Commission de Régulation de l'Électricité et du Gaz [en ligne]. 11 août 2019. [Consulté le 11 août 2019]. Disponible sur : <https://www.creg.be/fr/consommateurs/prix-et-tarifs/comment-est-compose-le-prix-de-lenergie>.

CWAPE. *Qui fait quoi?* In : Commission Wallonne pour l'Énergie [en ligne]. 11 août 2019a. [Consulté le 11 août 2019]. Disponible sur : <https://www.cwape.be/?lg=1&dir=2.2.01>.

CWAPE. *Tarif Prosumer*. In : Commission Wallonne pour l'Énergie [en ligne]. 12 août 2019b. [Consulté le 12 août 2019]. Disponible sur : <https://www.cwape.be/?dir=7.9>.

DAVID, V. *Panneaux solaires : Comment comparer les offres de prix*. In : Engie - Sweet & Smart Home [en ligne]. 6 octobre 2017. [Consulté le 13 août 2019]. Disponible sur : <https://www.engie-electrabel.be/fr/blog/solutions-pour-la-maison/panneaux-solaires-comment-comparer-les-offres-de-prix/>.

DAVID, V. *Testé : La batterie domestique Tesla Powerwall*. In : Engie - Sweet & Smart Home [en ligne]. 25 octobre 2018. [Consulté le 8 avril 2019]. Disponible sur : <https://www.engie-electrabel.be/fr/blog/solutions-pour-la-maison/on-a-teste-la-batterie-domestique-tesla-powerwall/>.

DAVID, V. *5 questions d'argent sur les panneaux photovoltaïques*. In : Engie - Sweet & Smart Home [en ligne]. 13 février 2019a. [Consulté le 30 juillet 2019]. Disponible sur : <https://www.engie-electrabel.be/fr/blog/solutions-pour-la-maison/5-questions-dargent-sur-les-panneaux-photovoltaïques/>.

DAVID, V. *Certificats verts : 5 questions pour tout savoir*. In : Engie - Sweet & Smart Home [en ligne]. 6 août 2019b. [Consulté le 13 août 2019]. Disponible sur : <https://www.engie-electrabel.be/fr/blog/actualite-energie/certificats-verts-5-questions-pour-tout-savoir/>.

DEBUISSON, Marc. *Nombre et taille des ménages en Wallonie*. In : Iweps [en ligne]. 16 juillet 2019. [Consulté le 16 juillet 2019]. Disponible sur : <https://www.iweps.be/indicateur-statistique/nombre-et-taille-des-menages/>.

ECOCONSO. *Quels seront les impacts en cas de pénurie d'électricité?* In : écoconso [en ligne]. 25 septembre 2018. [Consulté le 18 avril 2019]. Disponible sur : <https://www.ecoconso.be/fr/content/quels-seront-les-impacts-en-cas-de-penurie-deelectricite>.

ELIA. *Elia grid load*. In : Elia [en ligne]. 12 août 2019. [Consulté le 12 août 2019]. Disponible sur : <http://www.elia.be/en/grid-data/load-and-load-forecasts/elia-grid-load>.

ENERGIEBEL. *Installations photovoltaïques autonomes*. In : Energiebel [en ligne]. 18 avril 2019. [Consulté le 18 avril 2019]. Disponible sur : <https://www.energiebel.be/installations-photovoltaïques-autonomes/>.

ENERGIE FACTEUR 4. *Importance de l'orientation et des types de structures*. In : Energie Facteur 4 (eF4) [en ligne]. 2006. [Consulté le 12 août 2019]. Disponible sur : <http://www.ef4.be/fr/pv/composants-dun-systeme/orientation-structure.html>.

ENERGIE FACTEUR 4. *Ensoleillement en Belgique*. In : Energie Facteur 4 (eF4) [en ligne]. 2008. [Consulté le 23 juillet 2019]. Disponible sur : <http://www.ef4.be/fr/pv/composants-dun-systeme/ensoleillement-belgique.html>.

ENERGIE FACTEUR 4. *Ombrage*. In : Energie Facteur 4 (eF4) [en ligne]. 2019. [Consulté le 12 août 2019]. Disponible sur : <http://www.ef4.be/fr/pv/composants-dun-systeme/ombrage.html>.

ENEREGYSAGE. *2019 Mercedes Benz Home Battery Complete Review*. In : energysage [en ligne]. 13 août 2019. [Consulté le 13 août 2019]. Disponible sur : <https://www.energysage.com/solar/solar-energy-storage/mercedes-benz-solar-battery/>.

ENERGREEN. *Photovoltaïque : le Watt-crête, « Wc »?* In : Energreen [en ligne]. 12 août 2019. [Consulté le 12 août 2019]. Disponible sur : <https://www.energreen.be/question-et-documentation/questions-reponses-faq/photovoltaïque/photovoltaïque--le-watt-crete--wc>.

ENERSOL. *Autoconsommation - Stockage Battery Borne de rechargement*. Séance d'information, Battice, 2019a.

ENERSOL. *Ordre de grandeur batterie basse tension. Installation PV existant - couplage AC*. Document non publié, Battice, 2019b.

ENERSOL. *Ordre de grandeur batterie haute tension. Nouvelle installation - couplage DC*. Document non publié, Battice, 2019c.

ENGIE. *Produire l'électricité : Investir dans un parc diversifié*. Lier : Electrabel SA, 2015.

ENGIE. *Autoconsommation vs autoproduction*. In : Engie [en ligne]. 12 août 2019. [Consulté le 12 août 2019]. Disponible sur : <https://particuliers.engie.fr/assistance-client/questions-reponses/economie-d-energie/photovoltaïque/difference-entre-l-autoconsommation-l-autoproduction.html>.

FAURE, Fabien. *Suspension magnétique pour volant d'inertie*. Thèse de doctorat : génie électrique. Grenoble : Institut National Polytechnique de Grenoble (INPG), 2003.

FLORIAN. *Batteries pour Panneaux Solaires : Le Guide Ultime 2019*. In : Blog In Sun We Trust: Le meilleur de l'actualité du solaire [en ligne]. 31 janvier 2019. [Consulté le 30 juillet 2019]. Disponible sur : <https://www.insunwetrust.solar/blog/le-solaire-et-vous/batteries-panneaux-solaires/>.

FORUM NUCLEAIRE. *Mix électrique belge en 2017 : La plus importante source d'électricité bas-carbone est le nucléaire*. In : Forum Nucléaire [en ligne]. 9 avril 2019a. [Consulté le 9 avril 2019]. Disponible sur : <https://www.forumnucleaire.be/actus/nouvelle/mix-energetique-belge-en-2017>.

FORUM NUCLEAIRE. *Qu'est-ce qui fera la une après 2025 ?* In : Forum Nucléaire [en ligne]. 13 août 2019b. [Consulté le 13 août 2019]. Disponible sur : <https://www.forumnucleaire.be/et-apres-2025>.

FRERY, Frédéric. *Un cas d'amnésie stratégique: L'éternelle émergence de la voiture électrique*. In Conférence Internationale de Management Stratégique, Montpellier, 2000.

GROUPE ELECTROGENE. *Groupe Électrogène au Gaz: Revue du Meilleur Générateur au Propane*. In : Groupe Electrogene [en ligne]. 13 août 2019. [Consulté le 13 août 2019]. Disponible sur : <https://groupeelectrogene.org/groupe-electrogene-au-gaz-revue-du-meilleur-generateur-au-propane/>.

GUIDE PANNEAUX PHOTOVOLTAIQUES. *TVA Photovoltaïque : 5 choses à savoir absolument* In : Guide panneaux photovoltaïques [en ligne]. 27 novembre 2018. [Consulté le 13 août 2019]. Disponible sur : <https://www.guide-panneaux-photovoltaïques.be/legislation/tva-photovoltaïque/>.

HEVEAUX, Christophe, D'HERNONCOURT, Johanna, et LELOUX, Jonathan. *Petit éolien, grands soucis*. In : Renouvelle [en ligne]. 12 août 2019. [Consulté le 12 août 2019]. Disponible sur : <https://www.renouvelle.be/fr/technologies/petit-eolien-grands-soucis>.

LAURENT, Alexandre. *Comment fonctionne le V2G ou véhicule-to-grid ?* In : Easy Electric Life [en ligne]. 8 avril 2019. [Consulté le 30 juillet 2019]. Disponible sur : <https://easyelectriclife.groupe.renault.com/fr/tendances/energie/quel-est-le-principe-du-v2g-ou-vehicule-to-grid/>.

LEPAGE, Mathilde. *Le prix de l'électricité en Belgique en 2018*. In : Kill My Bill [en ligne]. 2 juin 2015. [Consulté le 11 avril 2019]. Disponible sur : <https://www.killmybill.be/fr/tarifs-electricite-belgique/>.



LG CHEM. *ESS Battery*. In : LG Chem [en ligne]. 13 août 2019. [Consulté le 13 août 2019]. Disponible sur : <https://www.lgchem.com/global/ess/ess/product-detail-PDEC0001>.

MON ENERGIE. *Libéralisation du marché de l'énergie en Belgique*. In : Mon Energie [en ligne]. 11 août 2019. [Consulté le 11 août 2019]. Disponible sur : <https://www.monenergie.be/liberalisation-energie-electricite-gaz-Belgique->

MOULINSARD, Esteban. *L'invention de l'automobile (1883) - La voiture*. In : [www.histoire-pour-tous.fr](http://www.histoire-pour-tous.fr) [en ligne]. 22 mars 2011. [Consulté le 4 avril 2019]. Disponible sur : <https://www.histoire-pour-tous.fr/inventions/287-invention-automobile.html>.

ORES. *Le tarif Prosumer - Particuliers et professionnels*. In : ORES [en ligne]. 18 avril 2019. [Consulté le 18 avril 2019]. Disponible sur : <https://www.ores.be/particuliers-et-professionnels/tarif-prosumer>.

PLAS, Sandy. *Les refuges des Hautes-Alpes choisissent les énergies renouvelables*. In : Montagnes Magazine [en ligne]. 13 août 2019. [Consulté le 13 août 2019]. Disponible sur : <https://www.montagnes-magazine.com/actus-les-refuges-hautes-alpes-choisissent-les-energies-renouvelables>.

QUELLEENERGIE. *Quelle est la capacité de production d'une éolienne domestique ?* In : QuelleEnergie [en ligne]. 23 juillet 2015. [Consulté le 23 juillet 2019]. Disponible sur : <https://www.quelleenergie.fr/questions/capacite-production-eolienne>.

ROUSSEY, Marion. *Les voitures électriques, 100% écologiques ?* In : ARTE Info [en ligne]. 13 août 2019. [Consulté le 13 août 2019]. Disponible sur : <https://info.arte.tv/fr/les-voitures-electriques-100-ecologiques>.

RTBF INFO. *Panneaux photovoltaïque: La facture pourrait gonfler*. In : RTBF Info [en ligne]. 4 avril 2017. [Consulté le 12 août 2019]. Disponible sur : [https://www.rtbf.be/info/belgique/detail\\_photovoltaique-pas-encore-d-exoneration-pour-le-tarif-prosumer?id=10208452](https://www.rtbf.be/info/belgique/detail_photovoltaique-pas-encore-d-exoneration-pour-le-tarif-prosumer?id=10208452).

RTBF INFO. *Test-Achats alerte les consommateurs sur la hausse des prix de l'électricité*. In : RTBF Info [en ligne]. 21 septembre 2018. [Consulté le 12 avril 2019]. Disponible sur : [https://www.rtbf.be/info/societe/detail\\_test-achats-alerte-les-consommateurs-sur-la-hausse-des-prix-de-l-electricite?id=10025361](https://www.rtbf.be/info/societe/detail_test-achats-alerte-les-consommateurs-sur-la-hausse-des-prix-de-l-electricite?id=10025361).

RTBF INFO. *Le prix de l'électricité a augmenté de plus de 60% en Belgique depuis la libéralisation*. In : RTBF Info [en ligne]. 22 mars 2019. [Consulté le 11 août 2019]. Disponible

sur : [https://www.rtf.be/info/economie/detail\\_le-prix-de-l-electricite-a-augmente-de-plus-de-60-en-belgique-depuis-la-liberalisation?id=10178075](https://www.rtf.be/info/economie/detail_le-prix-de-l-electricite-a-augmente-de-plus-de-60-en-belgique-depuis-la-liberalisation?id=10178075).

SPF ECONOMIE. *Politique énergétique de la Belgique*. In : SPF Economie [en ligne]. 11 août 2019. [Consulté le 11 août 2019]. Disponible sur : <http://economie.fgov.be/fr/themes/energie/politique-energetique/politique-energetique-de-la>.

SPW ENERGIE. *Guide PEB 2015*. In : Site énergie du Service Public de Wallonie [en ligne]. 12 août 2019. [Consulté le 12 août 2019]. Disponible sur : [https://energie.wallonie.be/fr/11-25-encodage-des-panneaux-photovoltaiques-rbse.html?IDC\\_PEB=9491&IDD=113786&IDC=9098](https://energie.wallonie.be/fr/11-25-encodage-des-panneaux-photovoltaiques-rbse.html?IDC_PEB=9491&IDD=113786&IDC=9098).

TESLA. *À propos de Tesla*. In : Tesla [en ligne]. 13 août 2019a. [Consulté le 13 août 2019]. Disponible sur : [https://www.tesla.com/fr\\_BE/about](https://www.tesla.com/fr_BE/about).

TESLA. *Tesla Powerwall*. In : Tesla [en ligne]. 12 août 2019b. [Consulté le 12 août 2019]. Disponible sur : <https://www.tesla.com/powerwall>.

UCLOUVAIN. *Un nouveau matériau pour les batteries du futur, made in UCLouvain*. Communiqué de presse, Louvain, 2019.

## IX. Annexes

---

## A. Devis de placement

ONDULEUR SMA SUNNY STORAGE ET BATTERIE BYD LV

Installation et configuration d'un onduleur SMA Sunny Storage 3.7 kVA et d'une batterie BYD BOX LV de 7 kWh

Monitoring SMA inclus



**Conditions de règlement:**

15 jours

**Date du devis:**

15/04/2019

Description	Quantité
Onduleur chargeur SMA Sunny Storage 3.7 (3680W - 400V)	1.00
<i>Onduleur-Chargeur monophasé pour les systèmes d'autoconsommation, d'alimentation de secours back-up (pas pour les sites isolés). Puissance assignée 3680W(16A) et 4600W pendant 60sec. Compatible batteries haute tension Li-ion en 400V (100 à 550V) - Rendement max. : 97.5%. Dim. 535 x 730 x 198 mm - 26 kg - IP54 - Garantie 10 ans Communication et configuration en WLAN</i>	
SMA Sunny Home Manager 2.0 Appareil de contrôle pr gestion intelligente de l'énergie	1.00
<i>Système de monitoring et d'optimisation intelligente de l'autoconsommation - Communication en speedwire Combinant: - Enregistreur universel de mesures (Plage courant : 25mA à 63A - Précision 1%) - Un Home Manager permettant la surveillance via le site Sunny Portal de SMA de la production et de la consommation du client Ce système peut également monitorer et piloter des Plug AC Wifi.</i>	
Batterie Lithium BYD BATTERY-BOX LV 7 kWh	1.00
<i>Stockage d'énergie BYD BATTERY-BOX LV - 2 modules de 3.5 kWh - E-utile 7 kWh Cellules Li-ion LiFePO4 - Basse tension - 51.2 V DC - Puiss. de 6 kW (10kW - 10s) Poids : 108 kg - Dim. (LxHxP) : 620 x 711 x 320 mm Garantie 10 ans - Durée de vie : &gt; 6000 cycles à 90% DoD. Extensible jusque 12 modules (42 kWh)</i>	
Boîtier/Coffret élec. étanche 8 modules	1.00
Disjoncteur 2P 25 A	1.00
Disjoncteur 500V DC 40A 2P	1.00
<i>Disjoncteur 500VDC 40A 2P Protection DC pour régulateur de charge</i>	
Cable XVB 3G6 mm <sup>2</sup> - 1m	15.00
Câble solaire simple 1 x 6 mm <sup>2</sup> - 1m	15.00
Petit matériel nécessaire pour le raccordement	1.00
Main d'oeuvre pour le chantier :	1.00
<i>Ouvrier qualifié avec outillage, frais de déplacement, manutention et préparation dans nos ateliers</i>	
Réception électrique de l'installation par un organisme de contrôle agréé	1.00

**ENERSOL**  
ENERGY SOLUTIONS

**NRQual**  
PV SOL

**Sénergies**

Signature pour acceptation du devis [redacted] en montant total de 7.436,50 €, des options sélectionnées et des conditions générales de vente.

Fait à Battice le

(date & signature)

<b>Total HT</b>	7.015,57 €
TVA 6%	420,93 €
<b>Total</b>	7.436,50 €

## B. Devis extension

Options (HTVA, non incluses dans le total)

<b>Entourez les options souhaitées</b>	<b>Quantité</b>	<b>Prix unitaire</b>	<b>Sous-total</b>
Option 1 : Compteur supplémentaire si onduleur PV existant non compatible - SMA Energy Meter (63A)	1.00	325,00 €	325,00 €
Option 2 : Alimentation en cas de panne de courant - Coffret de découplage ENWITEC Batterie Backup Distribution Box pour SMA 1PH	1.00	1.450,00 €	1.450,00 €
Option 3 : Pilotage de charge en fonction de la production PV - SMA prise radiocommandée EDIMAX Smart Plug SP-2101W	1.00	95,00 €	95,00 €
Option 4 : Augmentation de la capacité de stockage - Batterie Lithium BYD BATTERY-BOX LV 3.5 kWh	1.00	1.805,00 €	1.805,00 €