Université Libre de Bruxelles Institut de Gestion de l'Environnement et d'Aménagement du Territoire Faculté des Sciences Master en Sciences et Gestion de l'Environnement

"La transition energetique en Allemagne: un exemple a suivre pour la Belgique?"	•
---	---

Mémoire de Fin d'Etudes présenté par STEICHEN Anne-Sophie en vue de l'obtention du grade académique de Master en Sciences et Gestion de l'Environnement Finalité Gestion de l'Environnement Ma 120ECTS ENVI5G-M Année Académique : 2014-2015

Directeur: Prof. Bauler & Prof. Kunsch

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier Prof. Bauler et Prof. Kunsch, directeurs de mon mémoire pour leur encadrement. Je remercie aussi Prof. Zaccaï et Prof. Huart d'avoir accepter la position d'assesseurs du présent mémoire.

Ma reconnaissance va également à Thibault Deleu, Julie Deleval et Sophie Stelet pour le temps qu'ils ont investi dans la relecture de cet ouvrage et pour leurs précieux conseils.

Je remercie aussi de tout cœur mes parents et mes amis proches pour m'avoir soutenu et encouragé tout au long de ce projet.

Résumé

Le concept de la transition énergétique est de nos jours au centre de nombreux débats. Le passage vers un système énergétique qui repose uniquement sur des sources d'énergies renouvelables (SER) semble être une nécessité afin de garantir la sécurité d'approvisionnement, de faire face aux limites des réserves fossiles et de combattre le réchauffement climatique. La transition énergétique est par conséquent devenue un défi pour l'Union Européenne qui a entre autre voté en 2009 la directive instaurant des objectifs ambitieux pour 2020 en matière du développement des sources d'énergies renouvelables (SER), de l'efficacité énergétique et des réductions d'émissions de gaz à effet de serre (GES), connu sous le nom des objectifs 20/20/20.

Aussi l'Allemagne a clairement mis à jour son dévouement envers un système énergétique se basant en grande partie sur les SER, en leur donnant la priorité par rapport aux énergies non-renouvelables et leur octroyant une rémunération onéreuse sous forme des *Feed-In-Tarifs* (FIT), comme les SER ne sont en grande partie pas à même de concurrencer avec des énergies non-renouvelables. La stratégie globale de l'*Energiewende* met en avant trois piliers à savoir, la sécurité d'approvisionnement, des prix abordables et la viabilité environnementale.

Cette approche a permis un déploiement rapide des SER qui ont fourni 31% de l'électricité en 2014. En même temps, une industrie des énergies renouvelables s'est mise en place. Les émissions de GES ont baissé de 40% entre 1990 et 2013 mais la réduction stagne depuis quelques années. Toutefois, le prix de l'électricité a presque doublé pour les ménages et triplé pour les entreprises depuis 2000. On peut donc se demander si l'Allemagne est capable de réaliser ses trois piliers de l'Energiewende.

L'objectif du présent mémoire est de répondre à la question de savoir si la transition énergétique allemande est un exemple à suivre ou pas. La complexité d'une transition énergétique, la multitude d'acteurs en jeu et ses implications à des niveaux variés du système énergétique, de la société et de l'économie dans son ensemble fait qu'il est impossible de donner une réponse claire et nette à la question posée. Le présent mémoire a par conséquent fait l'analyse d'un certain nombre de ces implications et de l'impact des coûts et bénéfices afférant aux ménages et aux entreprises d'un point de vue économique. Les leçons tirées de l'exemple allemand, pouvant servir d'enseignements à la Belgique, sont les suivantes:

- Mise en place d'une politique stable et alignée afin d'inciter les investissements.
- Développement accru et précoce des réseaux afin de pouvoir accueillir des quantités importantes d'électricité intermittente, d'équilibrer l'électricité au niveau national et international et permettre la génération distribuée et la réaction de la demande d'énergie. Recherche du bon mix énergétique afin d'assurer la stabilité sans avoir besoin de charbon.
- Promotion des technologies pas encore assez matures et chères à travers des programmes de recherche et développement afin de leur permettre de se développer et rentrer en concurrence avec les énergies non-renouvelables au lieu de promouvoir leur déploiement rapide. Cette approche sera plus bénéfique pour l'industrie des SER et le maintien de ces emplois.
- Mise en place des mécanismes de promotion qui se basent plus sur les forces du marché et qui génèrent par là moins d'externalités négatives pour l'ensemble de consommateurs. Ainsi les technologies les moins chères seront privilégiées et la production d'électricité de SER sera plus adaptée à la demande en diminuant les excès de production d'électricité en réseau.
- L'impact sur les ménages des prix croissants est dégressif et le solde entre coûts et bénéfices est négatif pour des ménages à faible revenu qui ne savent pas investir dans des mesures d'efficacité énergétique, des installations propres de SER et qui supportent des coûts supplémentaires à travers la consommation propre et les exonérations dans le prix des entreprises. La garantie d'une répartition équitable des coûts et bénéfices est donc essentielle.
- Occasion donnée à des entreprises électrointensives de profiter de certaines exonérations de charges afin de garantir leur compétitivité aux marchés internationaux.

Table des matières

Résumé	v
Table des matières	vii
Table des figures	x
Table des tableaux	x
Table des textboxes	x
Abréviations	xi
Introduction	2
A. Motivation	2
B. Méthodologie structure du mémoire	2
Chapitre I: La transition énergétique	4
A. Qu'est ce qu'est une transition énergétique ?	4
1. Définition d'une transition énergétique	4
2. Spécificité de la transition énergétique contemporaine	5
B. La transition énergétique au niveau européen	7
1. Actions de l'Union européenne	7
2. Développements des SER par rapport aux objectifs	9
Chapitre II : La transition énergétique en Allemagne	11
A. Le secteur de l'électricité : sa structure et son fonctionnement	11
B. L'Energiewende allemande et ses ambitions politiques	12
C. Mécanismes de promotion de la génération de SER	14
D. La génération d'électricité sur base de SER	15
E. Les opérateurs de réseau	18
F. L'Energiewende et l'environnement	19
G. Conclusion	21
Chapitre III : Impacts pour les consommateurs privés et les entreprises allemandes	22
A. Les coûts de l'Energiewende	22
Évolution du prix de marché de l'électricité	22
a. Le prix de marché de l'électricité	24
b. La surcharge EEG	24
2. Contribution des différentes technologies en termes de coûts	26
a. Coûts générés par le système FIT	26
b. Autres mécanismes de promotion	28
3. Impact au niveau des ménages privés	30

	Impact au niveau des entreprises	34
	a. Pourquoi est-ce que le prix de l'électricité a tellement de poids pour cer entreprises	
	b. Exonérations pour les entreprises	35
	c. Comparaison du prix d'électricité avec l'étranger	37
	d. Impacts pour les entreprises allemandes	38
	e. Perception des entreprises face à l'Energiewende	39
В.	Les bénéfices promis de l'Energiewende	40
1	Le développement du secteur des renouvelables	40
	a. Le développement de l'industrie des SER	40
	b. Création d'emplois dans le secteur des renouvelables	43
2	Existe-il des bénéfices pour les consommateurs ?	46
	a. La consommation propre d'électricité – ménages et industries	46
	b. Efficacité énergétique	48
	c. Investir dans des coopératives énergétiques	48
	d. Inégalités entre consommateurs et selon le revenu disponible	49
C.	Conclusion	50
Chapi	re IV : Leçons à tirer de l'exemple allemand et enseignements pour la Belgique	52
A.	Données clés des énergies renouvelables en Belgique	52
В.	Une politique stable pour la transition énergétique	54
C.	Promotion des technologies de SER	54
D.	Développement précoce des réseaux et mix électrique	55
1	Mix et dépendance énergétique	55
2	Développement du réseau	56
3	Producteurs d'énergie conventionnelle	57
E.	Les ménages privés : coûts et bénéfices de la transition énergétique	57
F.	Prix de l'électricité et la compétitivité des entreprises	58
Concl	sion	60
Biblio	raphie	63
Anne	es	67
1	Fonctionnement de marché	67
2	Energiepaket : 6 lois et un règlement	67
3	Prix moyen d'électricité ménage 3 personnes	68
4	Coût du photovoltaïque : courbe d'apprentissage	68

Table des figures

Figure 1: Producteurs d'électricité en 2013	12
Figure 2: Mix énergétique (TWh)	15
Figure 3: Génération d'électricité de SER en GWh	16
Figure 4: Capacité installée en MW	17
Figure 5: Capacité installée vs. Production d'électricité en 2014	17
Figure 6: Production décentralisé et réseau de distribution	19
Figure 7: Emissions de GES	20
Figure 8: Prix de l'électricité pour ménages (3500 kWh/an)	23
Figure 9: Prix de l'électricité pour les entreprises (160-20 000 MWh/an)	24
Figure 10: FIT versus coûts du solaire	25
Figure 11: Part des technologies dans la surcharge EEG 2015	26
Figure 12: Répartition surcharge EEG 2014	26
Figure 13: Levelized Cost Of Electricity	.27
Figure 14: Dépenses publiques en recherche en millions €	29
Figure 15: Consommation d'électricité selon la taille du ménage en 2009	31
Figure 16: Exonération de la surcharge EEG selon la consommation des entreprises industrielles	
2014	36
Figure 17: Emploi secteur renouvelable	43
Figure 18: Solde entre charge EEG et rémunération FIT (millions d'€)	49
Figure 19: Production brute d'électricité en 2013 en TWh	52
Figure 20: Emplois dans le secteur des SER en 2012 et 2013	53
Figure 21: Prix moyen d'électricité pour un ménage 3 personnes (3500kWh/an)	68
Figure 22: Coût des panneaux photovoltaïques	68
Figure 23: Recettes d'installations photovoltaïques selon déciles	69
Table des tableaux	
Tableau 1: Transitions énergétiques	4
Tableau 2: Objectifs Energiewende	13
Tableau 3: Evolution des FIT en ct/kWh	27
Tableau 4: Coûts des technologies selon la surcharge EEG (€/MWh)	27
Tableau 5: Coûts totaux sources renouvelables et non renouvelables en ct/kWh	30
Tableau 6: Facture d'électricité d'un ménage consommant 3500 kWh par an	31
Tableau 7: Coûts moyens d'électricité mensuels par personne selon décile (en €)	32
Tableau 8: Coûts d'électricité par type de ménage (par personne)	32
Tableau 9: Emploi net selon deux études	45
Table des textboxes	
Textbox 1: Mécanismes de promotion des SER	9
Textbox 2: Libéralisation du marché de l'électricité	11
Textbox 3: Les ménages privés - chiffres clés	34

Abréviations

FIT Feed in tariffs

SER Sources d'énergie renouvelable

ER Énergie renouvelable

SER-E Électricité produite de sources d'énergies renouvelable

EEG Erneuerbare Energien Gesetz

GES Gaz à effet de serre UE Union Européenne

E-U États-Unis PM Pays membres

ETS European Trading System
TVA Taxe sur valeur ajoutée

ct Centimes d'euro

Mrd. Milliards

LCOE Levelized Cost Of Electricity (coût actualisé de l'énergie

Introduction

A. Motivation

Le concept de la transition énergétique est de nos jours au centre de nombreux débats. Le passage vers un système énergétique qui repose uniquement sur des sources d'énergies renouvelables (SER) semble être une nécessité reconnue par bon nombre de pays et l'Union Européenne. Les raisons sont diverses : sécurité d'approvisionnement, limites des réserves fossiles, combat contre le réchauffement climatique, développement de nouvelles technologies, etc. Dans ce cadre, l'Allemagne est souvent perçue comme un pionnier au niveau du déploiement des sources d'énergies renouvelables. Le pays a mis en place une stratégie globale, dénommée *Energiewende*, qui met en avant trois piliers de la transition énergétique à savoir, la sécurité d'approvisionnement, des prix abordables et la viabilité environnementale. De plus, l'abandon nucléaire a été conclu pour 2022 suite à la catastrophe de Fukushima. Enfin, cette transition est supposée être à l'origine de nouvelles activités économiques et de la création d'emplois à travers l'industrie des renouvelables.

L'Allemagne a réussi à déclencher un déploiement rapide et durable des SER grâce à un mécanisme de promotion onéreux, les *Feed-In-Tarifs* (FIT). Toutefois, l'*Energiewende* a aussi généré des conséquences négatives et la question se pose de savoir si les ambitions initiales se sont réalisées. En effet, le prix de l'électricité a sensiblement augmenté depuis 2000, autant pour les ménages que pour les entreprises. De plus, la réduction d'émissions de gaz à effet de serre (GES) stagne depuis quelques années et les réseaux doivent encore se développer davantage afin de garantir la sécurité d'approvisionnement. Finalement, des faillites sont survenues dans l'industrie des énergies renouvelables.

Les répercussions donnent lieu à de vastes discussions avec au centre l'aspect abordable de la transition ainsi que la répartition équitable des coûts parmi les consommateurs d'électricité. Les ménages mettent en avant les coûts croissants de l'électricité et les entreprises électro intensives voient leur compétitivité en baisse par rapport à d'autres pays. Par conséquent, le soutien de la population n'est plus aussi certain qu'il ne l'était il y a encore quelques années.

À la suite de ces évolutions, la question centrale qui se pose est de savoir si l'Energiewende est un exemple à suivre par d'autres pays afin de réaliser leur transition énergétique. Pour y répondre, il convient de s'interroger sur un certain nombre de conséquences induites par la transition. À cette fin, une analyse critique des impacts économiques et sociaux au niveau des ménages et des entreprises suite aux prix croissants d'électricité sera entamée. Une autre question qui se pose est de savoir si les consommateurs ont vraiment pu participer à la transition en jouant un rôle actif et s'ils ont pu par là en tirer des bénéfices. Enfin, les opérateurs de réseaux sont-ils à même de garantir la stabilité du réseau, voir la sécurité d'approvisionnement et les objectifs environnementaux ont-ils été atteints? La réponse à ces questions peut par après servir d'enseignements pour d'autres pays, notamment la Belgique en ce qui concerne la mise en œuvre d'une transition énergétique.

B. Méthodologie structure du mémoire

L'approche de ce mémoire se veut multidisciplinaire en abordant des aspects économiques, politiques, sociaux, techniques et historiques. Le présent travail a l'ambition d'éclaircir le lecteur sur la complexité d'une transition énergétique et sur les problématiques économiques, techniques et sociales qui en résultent. À cette fin, il semble utile de se demander ce qu'est une transition

énergétique et quels en sont les moteurs. Cet aspect s'inscrit dans une vue historique. En plus, afin de saisir la complexité, il convient d'analyser les mécanismes mis en œuvre et leur fonctionnement pour promouvoir la transition tant au niveau politique que législatif et économique. Le cadre d'analyse commence au niveau européen pour après se concentrer sur la situation allemande. Une transition énergétique englobe l'électricité, le chauffage ainsi que le transport. Ce mémoire se concentrera cependant le plus que possible sur le domaine de l'électricité qui constitue notamment la pièce angulaire de l'Energiewende allemande. Les coûts et bénéfices liés à cette transition ainsi que leur répartition équitable constituent un point central de ce mémoire. Nous analyserons dès lors aussi la création d'emploi dans le secteur des énergies renouvelables. L'analyse de ces aspects se basera sur la littérature scientifique existante ainsi que sur des données statiques. En plus, les études et rapports commissionnés par des institutions publiques seront de grande valeur.

La structure de ce travail est la suivante : le chapitre I tentera de donner une définition de la transition énergétique, de tracer son histoire depuis l'existence humaine et d'analyser les spécificités de la transition contemporaine. Une deuxième partie de ce chapitre se concentrera sur les avancées au niveau européen tant politiques qu'en matière de déploiement des SER.

Le chapitre II se penchera sur la transition énergétique allemande et ses acteurs clés en abordant des problématiques très diverses comme le fonctionnement du secteur électrique, les ambitions politiques ainsi que les mécanismes de promotion des SER et leur réel déploiement. Enfin, les répercussions sur les réseaux ainsi que les ambitions environnementales en termes d'émissions GES seront traitées.

Le chapitre III fera tout d'abord l'analyse des coûts en se demandant quelles sont leurs origines pour après appréhender leurs impacts au niveau des ménages et des entreprises. Ensuite, la deuxième partie du chapitre se concentrera sur les bénéfices promis par l'*Energiewende* et enfin un bilan partiel entre coûts et bénéfices et leur répartition au niveau des ménages à différents niveaux de revenu termineront ce chapitre.

Le dernier chapitre a comme objectif de tirer des leçons de la transition énergétique allemande et de mettre ces leçons en parallèle avec la situation belge. Une analyse exhaustive de la Belgique ne sera donc pas fournie et les parallèles ne seront tirés que sur les points d'attention identifiés au niveau de *l'Energiewende*. Le travail se terminera par une conclusion.

Chapitre I: La transition énergétique

A. Qu'est ce qu'est une transition énergétique?

1. Définition d'une transition énergétique

L'énergie a joué et joue encore aujourd'hui un rôle déterminant et indispensable dans l'évolution de l'humain. Smil (2004) met en avant que d'« innombrables impératifs de l'énergie ont toujours façonné la vie sur terre en contrôlant l'environnement et en définissant les limites de la performance des organismes » (Smil 2004, p. 549). Dans les différentes phases d'existence de l'humain, des quantités croissantes d'énergie ont en effet permis son évolution et la satisfaction de sa quête d'une existence plus complexe (Smil, 2004).

L'existence humaine peut être divisée en plusieurs ères énergétiques entrelacées de transitions énergétiques (Table 1). Ces ères se caractérisent par des forces motrices de plus en plus puissantes et flexibles ainsi que des moyens plus efficaces de conversion de l'énergie (Smil, 2004). Les transitions entre ces différentes ères ne se sont pas réalisées en même temps sur toute la planète. Bien que l'essor des combustibles fossiles ait commencé dans le 17^e siècle, le charbon n'a surpassé l'utilisation du bois en Amérique qu'en 1850 et encore aujourd'hui nombreux sont les pays en développement qui n'ont pas encore atteint l'ère de l'électricité (Smil, 2004).

Tableau 1: Transitions énergétiques

Préhistoire	4000 AEC	11 ^e siècle	17 ^e siècle	Fin 19 ^e siècle
Feu et puissance	Domestication	Roues	Substitution de	Génération
somatique	animale et	hydrauliques et	forces motrices	d'électricité à la
humaine	production de	éoliennes	animales par des	base de
	métaux		moteurs et de la	combustibles
			biomasse par des	fossiles et vers les
			combustibles	années 1950 à la
			fossiles	base du nucléaire

Source: Smil, 2014

Bien que les transitions énergétiques aient permis à l'humain un développement considérable, les bénéfices n'ont pas été répartis de façon équitable. En l'occurrence, seulement 15% de la population mondiale a pu bénéficier de façon significative de ces transitions et en 2000, 10% des individus les plus riches ont consommé plus de 40% de l'énergie primaire commerciale créant ainsi des disparités importantes (Smil 2004).

Pourtant, à l'heure actuelle, il n'existe pas de définition universellement reconnue d'une transition énergétique. Selon Milosi, une transition énergétique se traduit par le fait qu'une seule source d'énergie, ou groupe de sources, a dominé le marché au cours d'une période donnée ou d'une époque, et a finalement été contestée, puis remplacée par une ou plusieurs autres sources d'énergie majeures (Melosi, n.d.). Selon Grubler, une transition énergétique se caractérise par le passage d'un système énergétique vers un autre en termes de quantité, de qualité et de structure de l'utilisation finale de l'approvisionnement (Grubler, 2006).

Nous pouvons à présent identifier certaines caractéristiques d'une transition énergétique:

o processus de long terme qui ont pris des décennies voir plus d'un siècle (Grubler, 2012)

- o changements structurels profonds qui touchent l'entièreté du système énergétique et l'infrastructure énergétique à la base de l'économie
- o changement dans la façon d'utiliser l'énergie dans un système donné ayant des conséquences pour le fonctionnement de l'économie, les pratiques de consommation, etc. (Araújo, 2014)
- les transitions énergétiques avancent avec la transposition des innovations à plus grande échelle: les solutions technologiques commencent leur développement en étant petites, imparfaites et couteuses pour atteindre des transitions à un niveau macro après une croissance au long terme (Grubler, 2012)

Selon Verdong et Loorbach, les moteurs de ces transitions ont été l'émergence de nouvelles technologies alternatives, un changement dans les préférences des sociétés ou encore un souci d'approvisionnement en combustibles fossiles (Verbong et Loorbach, 2012). Un autre moteur fondamental des transitions énergétiques est une transformation technologique de l'utilisation finale qui va de pair avec une transformation organisationnelle voir institutionnelle (Grubler, 2012). En l'occurrence, la demande de charbon a augmenté substantiellement à la suite de l'utilisation de machines à vapeur ou encore le développement de l'industrie pétrolière qui fut propulsée par l'utilisation de moteurs à essence (Grubler, 2012). D'autres facteurs identifés par ce même auteur sont le changement technologique dans la production d'énergie, la volatilité des prix, les politiques et finalement des préoccupations de qualité.

En se basant sur l'étude de transitions énergétiques antérieures, Grubler (2012) a pu déceler certaines mises en garde à prendre en compte pour la transition énergétique en cours (Grubler 2012). Tout d'abord, l'auteur avertit de ne pas avancer de manière « trop rapide, trop grande, trop tôt » (Grubler 2012, p. 14). Ensuite, il importe que les politiques en place soient caractérisées par la persistance voire la continuité et qu'elles soient alignées. Finalement, le portefeuille d'innovation doit être équilibré de façon à ce que les incertitudes face à l'innovation et les risques soient diversifiés.

2. Spécificité de la transition énergétique contemporaine

Les transitions énergétiques contemporaines se concentrent sur le passage d'énergies fossiles ou nucléaires non-renouvelables vers des énergies renouvelables ainsi que sur la manière de transformer nos économies afin de soutenir ce changement (Araújo, 2014). Le secteur de l'énergie fait aujourd'hui face à un certain nombre de contraintes de façon à ce qu'une transition énergétique est devenue une nécessité.

Tout d'abord, la sécurité d'approvisionnement et la réduction voir l'évitement complet de blackouts semblent primordial. En effet, des blackouts en Amérique mais aussi en Italie ou encore la dépendance de gaz de la part de la Russie ont montré à quel degré les sociétés contemporaines sont dépendantes d'un flux continu d'électricité, surtout en dans un monde industrialisé (Verbong et Loorbach, 2012). Selon Verbong et Loorbach, les «blackouts démontrent effectivement que sans électricité le tissu de la vie moderne commence immédiatement à se désintégrer» (Verbong et Loorbach 2012, p. 2). La transition énergétique se caractérise donc par des pressions et une certaine urgence afin de garantir la fiabilité de notre système énergétique, aussi à la suite d'une sensibilisation croissante de la population face à ces problèmes (Araújo, 2014).

Ensuite, les réserves d'énergies fossiles sont limitées et situées dans un petit nombre de pays créant par là des enjeux géopolitiques. Cette situation de marché oligopolistique peut avoir un effet

considérable sur les prix. En plus, les pays de l'Europe, qui ne sont pour la plupart pas importateurs net de pétrole, sont dépendants du marché international du pétrole qu'ils ne peuvent pratiquement pas influencer. Il convient dès lors de diversifier le mix énergétique face à un appauvrissement des ressources et une dépendance envers un certain nombre de pays. Il n'existe pas de consensus sur la position par rapport au pic pétrolier mais les scientifiques s'accordent à affirmer que une transition énergétique est indispensable (Verbong et Loorbach, 2012).

En outre, combattre le réchauffement climatique et par là le changement du climat est devenu une priorité des sociétés contemporaines. Suite aux prévisions désastreuses d'un réchauffement climatique trop prononcé, un consensus au niveau international a été recherché dont témoigne le protocole de Kyoto. Afin de réduire les émissions de GES, une transformation du secteur énergétique est nécessaire comme ce dernier est un des grands émetteurs (40% des émissions de GES en Allemagne en 2013) (Graichen *et al.*, 2014). Le passage d'une production intensive en émissions de carbone (charbon, pétrole,...) vers des sources d'énergies renouvelables est donc un pas essentiel.

La transition énergétique contemporaine met en plus l'accent sur les développements technologiques et aussi les technologies de l'information (Araújo, 2014). La transition changera les pratiques des consommateurs et la façon selon laquelle nous utiliserons l'énergie dans le système énergétique en place afin de consommer moins par exemple (efficacité énergétique, compteurs intelligents, etc.). L'innovation ainsi que sa propagation est indispensable pour la réussite d'une transition. Ces deux éléments sont pourtant dépendants du comportement des marchés qui façonne la rapidité d'une transition (Araújo, 2014).

La transition contemporaine se caractérise aussi par des compromis auxquels les politiciens font face, à savoir qui va supporter les coûts de la transition, qui prend les décisions et comment mettre en place la transition (Araújo, 2014). Ainsi, les effets sociétaux ne sont pas à négliger et on reconnaît que nombreux sont les acteurs impliqués et les enjeux qui peuvent se présenter. En effet, les intérêts de politiciens, de ménages privés, d'entreprises, d'industriels et de lobbies se font concurrence et une des questions essentielles sera qui va bénéficier et qui va payer la transition énergétique. Selon ce qui précède, un défi majeur des transitions est l'opinion publique et le soutien de la population face au changement, à mettre aussi dans une perspective d'agenda politique. Ces questions se posent notamment concernant l'acceptabilité de prix croissants de l'électricité, de l'adaptation des réseaux, des tentations d'augmentation de l'efficacité énergétique ou encore des effets que la transition peut avoir sur le paysage (point de vue environnemental, effet « not in my backyard »).

Les caractéristiques d'une transition peuvent se différencier fondamentalement entre pays. En l'occurrence, l'Allemagne pousse sa transition vers un développement rapide et suit l'opinion publique en abandonnant progressivement les énergies nucléaire bien que cela génère d'énormes coûts à court et moyen terme. La France par contre ne développe sa transition que lentement avec le maintien du nucléaire et un progrès technologique des SER moins prononcé. Les transitions énergétiques donnent lieu à des défis et opportunités très variés selon la motivation, les objectifs et la gouvernance en place. Ainsi, certaines transitions sont axées sur la sécurité d'approvisionnement, d'autres plutôt sur la protection de l'environnement, la compétitivité des entreprises ou encore la volonté d'un abandon rapide du nucléaire (World Energy Council, 2014). De plus, les auteurs argumentent que le moteur principal de cette transition contemporaine est les pouvoirs publics. Ces derniers ont mis en place des mécanismes de promotion des énergies renouvelables ainsi que des

incitants à réduire les émissions des GES. Ce ne serait qu'en deuxième lieu que la stratégie des entreprises et les innovations technologiques introduites pourraient être considérées comme moteurs de la transition. Ceci semble être un élément fondamentalement différent des transitions antérieures.

B. La transition énergétique au niveau européen

L'intérêt européen pour l'énergie s'est déjà manifesté il y a plus de 60 ans avec le traité sur l'acier et le charbon en créant la Communauté européenne du charbon et de la l'acier (CECA). Un autre pilier fondateur de l'UE est le traité Euratom sur l'énergie atomique. Depuis, la donne énergétique à significativement évoluer et depuis quelques décennies il s'agit de faire face à des préoccupations croissantes du secteur énergétique, qui ont encore suscité l'intervention de l'UE.

Tout d'abord, afin d'agir contre la pollution et le changement climatique, des actions de réduction des émissions de gaz à effet de serre ont dû être prises, afin être conforme avec les accords de Kyoto et d'éviter des coûts exorbitants du changement climatique (European Commission, 2014b). L'UE s'est engagé dans ce cadre à réduire ses émissions GES de 20% jusqu'en 2020, de 85% voir de 95% en 2050 par rapport aux niveaux de 1990 (European Commission, 2014b). Le secteur énergétique joue un rôle clé comme il est responsable de plus de 80% des émissions de GES en UE (European Commission, 2014b).

Ensuite, l'énergie est un secteur stratégique pour l'UE, qui a importé plus de la moitié de ces besoins énergétiques en 2012 (European Commission, 2012). Cette dépendance envers le reste du monde (surtout envers les membres de l'OPEP et la Russie) avec des prix fixés par les marchés mondiaux, couplé avec des ressource d'énergies fossiles limitées demandent une action concertée et coordonnée au niveau européen afin de garantir une sécurité d'approvisionnement à des prix abordables.

En plus, vu le bouquet diversifié de sources d'énergie au niveau européen, il s'agit de renforcer la coopération entre les pays de l'UE et de pousser d'avantage les PM vers des mix énergétiques diversifiés. Les objectifs de l'UE se concentrent dès lors autour de l'approvisionnement énergétique, le prix de l'énergie, la protection de l'environnement et l'amélioration des réseaux énergétiques de transmission mais aussi de distribution.

1. Actions de l'Union européenne

Plusieurs actions ont été prises pour atteindre les objectifs mentionnés ci-dessus, dont notamment la directive sur l'efficacité énergétique en 2012, les directives afin d'avancer vers un marché européen unique de l'énergie ou encore le marché de certificats ETS afin de réduire les émissions CO₂. Nous nous intéressons ici en grande partie à l'évolution du marché énergétique et plus précisément le développement des énergies renouvelables.

Dans ce contexte, une première initiative a été entamée en 1996 avec le "White Paper" et a été révisée avec la directive sur la promotion des SER en 2001 en fixant un niveau de 12% de consommation brute finale de SER pour l'UE des 15 (21% pour l'UE des 25) (European Union, 2011). En 2009, un ensemble de mesures au niveau énergétique et climatique a été mis en œuvre afin de promouvoir d'avantage les SER et qui est surtout connu sous la dénomination des objectifs 20-20-20 (European Parliament, 2009):

- Réduction des émissions de gaz à effet de serre dans l'UE jusqu'en 2020 de au moins 20% par rapport à 1990
- 20% de la consommation brute finale d'énergie sur base de SER et 10% de SER dans le transport en 2020
- Réduction de 20% de la consommation d'énergie primaire jusqu'en 2020 par rapport à 1990 à travers une amélioration de l'efficacité énergétique.

L'objectif des 20% de consommation brute finale de SER est obligatoire et varie d'un Etat membre à un autre. En effet, les Etats membres diffèrent selon leur potentiel de développements des SER ainsi que selon leur mix énergétique (European Parliament 2009). La directive met aussi en évidence le besoin de promouvoir l'intégration des SER dans le système de transmission et de distribution, qui doit gérer des quantités plus importantes d'énergies intermittentes. Dans le cadre de ce mémoire, nous nous concentrons surtout sur l'électricité à base de SER et les efforts qui ont été faits en Allemagne. Les implications pour les différents acteurs (producteurs, consommateurs, réseaux, politiques, lobby,...) et les enjeux qui se créent seront discutés pour le cas allemand dans la suite du présent mémoire.

De nouveaux objectifs à atteindre pour 2030 ont aussi été élaborés par la commission européenne, à savoir une réduction de 40% des émissions de GES par rapport à 1990, une part de 27% d'énergie issue de SER, une amélioration de 27-30% d'efficacité énergétique et atteindre 15% d'interconnexion électrique (Union européenne, 2015). Pour 2050, l'objectif est d'atteindre une réduction de 80 à 90% des émissions de GES par rapport à 1990 (Union européenne, 2015).

La mise en place de schémas et mécanismes de promotion des SER est à charge des pays membres qui sont libres du choix du mécanisme. En effet, les SER ne sont pas compétitives par rapport aux énergies conventionnelles et sont perçues comme ayant un risque plus élevé par les investisseurs potentiels. Les gouvernements ont ainsi pris des actions afin d'inciter l'investissement en génération de SER. Celles-ci se différencient en se basant sur l'investissement ou sur la génération, sur les quantités d'énergie produites ou les prix de l'énergie. L'Allemagne a choisi de mettre en œuvre un modèle qui se base sur les prix payés pour l'énergie issu de SER, un système de *Feed-In-Tarifs* (FIT). La Belgique par contre se base sur les quantités d'énergie issues de SER en mettant en place un système de quotas de certificats verts. Des mécanismes appropriés et efficaces sont essentiels pour le développement d'énergies renouvelables comme ils incitent à l'investissement en diminuant les risques perçus par les investisseurs (Haas *et al.*, 2011).

Textbox 1: Mécanismes de promotion des SER

En évaluant les mécanismes existants, qui sont souvent combinés en pratique, la littérature se concentre souvent sur la comparaison entre régime de quotas et régime de FIT. La question à se poser est dès lors si les mécanismes de promotion sont à même d'augmenter considérablement la capacité de production sur base de SER et si l'électricité issue des SER est générée à des coûts compétitifs qui diminuent au fil du temps grâce à un "processus d'apprentissage" (Held, Ragwitz, et Haas, 2006).

En se basant sur ces deux aspects, il est communément admis que le mécanisme des FIT donne lieu à un déploiement plus important de SER que le mécanisme des quotas (Lipp 2007; Haas et al., 2011; Mitchell, Bauknecht, et Connor, 2006). D'autres éléments semblent aussi être primordiaux pour le développement des SER.

Tout d'abord, il importe de proposer des mécanismes dont la conception tient compte des spécificités des technologies respectives et inclut les effets d'apprentissages, c'est-à-dire adapte la promotion des technologies selon leur évolution des coûts (Haas et al., 2011). En diminuant les promotions accordées à des technologies qui évoluent et coûtent moins, les consommateurs profitent également et le mécanisme de support est à même d'être efficace, d'où l'importance de tarifs proprement fixés dans le cas des FIT (Fagiani, Barquín, et Hakvoort, 2013).

Ensuite, un autre élément primordial sont des conditions politiques stables et prévisibles, surtout pour des FIT qui sont complètement dépendants des pouvoirs politiques et non pas des forces du marché (Kirsten, 2014). Ainsi, les investisseurs ne vont investir en SER seulement s'ils ont une certitude quant à l'évolution des systèmes de support des SER. Un dernier élément est la maturité des technologies. En effet, le risque associé à des technologies mature comme les énergies solaires ou encore l'énergie éolienne onshore est plus faible que pour d'autres technologies comme des installations offshores et se rapproche même de ceux des énergies conventionnelles (Masini et Menichetti, 2013).

2. Développements des SER par rapport aux objectifs

À l'heure actuelle, l'UE semble être sur la bonne voie pour atteindre les objectifs pour 2020. En effet, les émissions de GES ont été réduit de 18% entre 1990 et 2012 alors que l'objectif est de 20% pour 2020 (European Commission, 2014b). En ce qui concerne les SER, leur part dans la consommation brute finale est passé de 8,5% en 2005 à 14,1% en 2012 (European Commission, 2014b). Finalement, considérant l'efficacité énergétique, cette dernière devrait augmenter de 18 à 19% d'ici à 2020 et atteint donc presque l'objectif des 20% en 2020 (European Commission, 2014b). Les pays membres devraient donc faire davantage d'efforts dans ce domaine.

Cependant, bien que le déploiement d'installation de SER se soit multiplié à travers l'UE depuis l'introduction de la directive en 2009, de grandes disparités existent entre les pays membres (Eurostat, 2014). Certains pays ont mis à jour un développement considérable en SER et sont en bonne route pour atteindre leur objectif national ou l'ont déjà presque atteint comme la Bulgarie, l'Autriche, la Roumanie, la Suède ou encore la Norvège. Pendant longtemps l'Allemagne était vu comme étant un précurseur de la transition énergétique en montrant un fort développement des

SER en peu de temps. Pourtant, dû à des prix d'électricité en augmentation ces dernières années et ayant des impacts pour les consommateurs, le rôle d'exemple sur le plan de transitions énergétiques est en doute.

À l'opposé, le secteur des SER ne se développe que lentement et d'efforts supplémentaires sont nécessaires dans certains pays. Ceci est notamment le cas pour la Belgique, l'Irlande, la France, les Pays-Bas et l'Angleterre. Il convient de noter que dans certains pays la croissance de la part des SER était forte initialement mais a stagné à partir de 2009/2010. Cet effet s'explique surtout par la crise financière et son impact sur les mécanismes de subsides. En Espagne en l'occurrence, en ayant diminué la promotion des renouvelables et en limitant le déploiement de certaines technologies a semé le doute parmi les investisseurs (OXERA, 2013). En plus, étant donné que les coûts du développement du photovoltaïque pèsent sur les consommateurs, les subsides à cette industrie ont été réduits engendrant la fermeture de certaines usines de production d'installations (IHS, 2014).

Chapitre II : La transition énergétique en Allemagne

A. Le secteur de l'électricité : sa structure et son fonctionnement

Avant la libéralisation du marché de l'électricité, le marché allemand était caractérisé par huit entreprises verticalement intégrées, qui étaient des monopoles régionaux sous surveillance étatique. Face à des pressions sur les coûts dues à une compétition croissante après la libéralisation et par conséquent des prix en baisse, un mouvement de consolidation a pris place et n'a laissé que quatre entreprises inter-régionales sur le marché, qui sont encore en place aujourd'hui, à savoir E.ON, RWE, Vattenfall et EnBW (Heck, 2006). Les opérateurs de réseaux étaient depuis 1996 aussi obligés d'autoriser l'accès au réseau à d'autres entreprises de manière non discriminatoire. L'autorité de régulation, la Bundesnetzagentur, n'a été mise en place qu'en 2005 et gère l'accès au réseau et les tarifs de réseau (Heck, 2006).

Textbox 2: Libéralisation du marché de l'électricité

À la suite de la directive du marché intérieure de l'électricité en 1996, le marché de l'électricité à été libéralisé durant les dernières décennies et c'est ainsi que les gouvernements ont procédé à la séparation des différents segments de cette industrie, à savoir la génération, la transmission, la distribution et la fourniture d'électricité. Avec ce processus de libéralisation, la compétitivité du secteur a augmenté en laissant entrer de nouveaux opérateurs et en laissant le choix aux consommateurs de choisir leur fournisseur. À l'heure actuelle, les segments de génération et de fourniture sont complètement passés en main privée alors que la transmission et la distribution sont attribuées à certaines entreprises qui gardent le statut de monopole. En effet, ce sont des monopoles naturels comme on ne peut que difficilement imaginer un système efficace dans lesquels plusieurs entreprises opèrent les systèmes de transmission et de distribution d'électricité en construisant des lignes d'électricité parallèles. À l'opposé, la production et la commercialisation sont plus efficaces en situation de concurrence. Ainsi, des entreprises à forte intégration verticale ont dû découpler leurs activités.

Source: (Heck 2006; Saguan et Sautel, 2011)

En 2012, ce groupe de 4 grandes entreprises de services électriques constituent à elles seules 70% de la capacité installée et produisent trois quart de l'électricité en Allemagne (AIE, 2013). De plus, anciennement intégrées verticalement, ces entreprises sont toujours des actionnaires majoritaires dans bon nombre de grands opérateurs de distribution ou de distributeurs municipaux, d'entreprises de transmission et de génération. Ainsi, un important degré de propriété croisée persiste dans ce secteur (AIE, 2013).

Une tendance essentiel qui s'est mise en place durant le développement de la transition énergétique est la production décentralisée d'électricité notamment par les consommateurs eux-mêmes, surtout par les ménages privés. En 2013, les grandes centrales de génération d'électricité produisaient 73% de l'électricité (Figure 1). Cependant, leur part diminue progressivement au profit des producteurs privés. La génération des entreprises industrielles a aussi diminué légèrement et depuis 2007, les opérateurs privés produisent plus que ces derniers (BMWi, 2015). En 2013, la part des opérateurs

privés était de 19,86%. Une participation des consommateurs privés s'est donc clairement mis en place et a vu une forte croissance durant la dernière décennie.

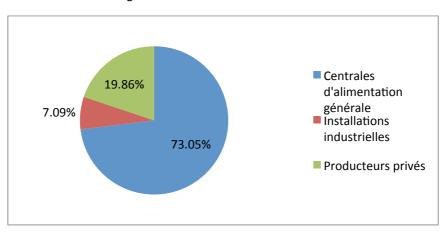


Figure 1: Producteurs d'électricité en 2013

Source: BMWi, 2015

En ce qui concerne le réseau de transmission, quatre opérateurs de transmission s'occupent de régions distinctes de l'Allemagne : 50Hertz, Amprion, TenneT TSO et TransnetBW. Dans le segment de la commercialisation, les consommateurs peuvent choisir librement leur fournisseur d'électricité depuis 1998 (Heck, 2006).

Du côté des consommateurs, on constate qu'en 2014, l'industrie a consommé 47% de la production brute en électricité suivie des ménages à 25% (BMWi, 2015). Les ménages privés constituent ainsi le deuxième plus grand groupe de consommateurs d'électricité derrière l'industrie et ont consommé environ 127,3 TWh en 2014 (BMWi, 2015). En étant les deux plus grands consommateurs d'électricité, les émois des ménages privés et industriels suite aux récentes augmentations du prix de l'électricité risquent de compromettre le support de la population envers l'*Energiewende*.

B. L'Energiewende allemande et ses ambitions politiques

L'Energiewende allemande constitue un des projets les plus ambitieux des autorités publiques depuis plus d'une décennie et se poursuivra jusqu'en 2050 au moins. Il s'agit d'un processus de transformation multisectorielle afin de réaliser le passage vers un secteur énergétique se basant uniquement sur des SER. Ce projet a cependant déjà une certaine histoire. La première loi en faveur des SER est le « Stromeinspeisungsgesetz » de 1991 en obligeant les opérateurs de réseaux de donner accès aux SER et de leur payer une rémunération par kWh réglementée par la loi. Avec une loi concernant la construction de parcs éoliens ainsi que le support de lobby, les éoliennes se sont développées considérablement dans les années 90 (Michaelowa, 2004). Le fondement actuel de l'Energiewende est l'EEG de 2000 qui a été amendé à plusieurs reprises, dernièrement en 2014.

Suite à la directive 2009/28/EC, l'Allemagne a élaboré un concept pour le secteur énergétique, l'Energiekonzept, qui détermine la stratégie globale pour les renouvelables jusqu'en 2050. Ce concept a été traduit en loi nationale durant l'été 2011 et est communément dénommé « Energy Package »¹, reprenant six lois et un règlement dans les domaines de l'efficacité énergétique, le

1

¹ Des jalons importants sont premièrement la réduction des tarifs à payer pour les renouvelables et

développement des réseaux, le climat et le nucléaire (Annexe 2) (BMWi ,2012; BMWi, 2010). Les 4 objectifs politiques qui soutiennent cette transition sont les suivants :

- Climat : réduction des émissions CO₂ par rapport au niveau 1990
- Abandon nucléaire (fin 2022)
- Maintenir/augmenter la compétitivité des entreprises allemandes
- Garantir la sécurité d'approvisionnement

Afin d'atteindre ces objectifs, le gouvernement mise sur deux stratégies clés : le développement des énergies renouvelables et la réduction de la consommation d'énergie primaire à travers une réduction de l'intensité énergétique. Des objectifs quantitatifs à moyen et long terme ont été instaurés à cette fin à l'horizon 2020, 2030, 2040 et 2050. Ces objectifs se réaliseront conjointement dans le secteur de l'électricité, de la chaleur et du transport.

Tableau 2: Objectifs Energiewende

	2020	2030	2040	2050
Consommation SER	18%	30%	45%	60%
Électricité renouvelable	>35%	>50%	>65%	80%
Réduction consommation énergie primaire	-20%			-25%
Intensité énergétique	-2,1% par année			
Réduction consommation électricité p.r. 2008	-10%			-25%
Cogénération	+25%			

Source: (Pescia, 2015; BMWi, 2010; BMWi, 2012)

La position du nucléaire dans l'Energiewende n'était pas clair dès le début. Après les évènements de Tschernobyl, une première volonté d'abandon du nucléaire émergeait sans pour autant convaincre une majorité politique dans les années 90. En 2000, un consensus sur le nucléaire a pu être mis en place en planifiant un abandon pour l'année 2021 environ. Cependant, en 2010, une extension de la durée de vie des installations nucléaire a été conclue avec un abandon en 2032 (AIE, 2013). Après la catastrophe de Fukushima en mars 2011, le gouvernement a décidé d'accélérer l'abandon du nucléaire. Ainsi, les sept plus vieilles centrales nucléaires ont arrêté leur production au printemps 2011 et les neuf restantes vont fermer progressivement jusqu'en 2022.

Aujourd'hui on peut dire que l'Allemagne est en bonne voie d'atteindre les objectifs européens pour 2020 de 18% de SER dans la consommation énergétique brute ainsi que ceux que le pays s'est imposé lui-même pour 2020 (35%). En effet, la part des SER dans la consommation brute d'énergie était de 25% en 2013 alors que elle n'était que de 7% en 2000 lorsque une nouvelle loi de promotion des SER a été introduite (Frondel *et al.*, 2014).

Ces ambitions sont évidemment de grande valeur pour l'environnement, la qualité de l'air et la santé mais les politiques font clairement face à un trade-off. La question essentielle qui se pose est celle des coûts de cette transition, qui peuvent avoir un impact négatif sur l'activité industrielle, l'emploi et les ménages.

Bien que la stratégie globale de l'Allemagne prenne en compte toutes les formes d'énergies, nous nous concentrons dans le cadre du présent mémoire sur les évolutions en matière d'électricité. La section suivante donnera plus de précisions sur les mécanismes de promotion des SER pour l'électricité.

C. Mécanismes de promotion de la génération de SER

Le mécanisme central de la promotion des SER est la loi Erneuerbare Energien Gesetz (EEG), entrée en vigeur en 2000 et amendée en 2004, 2009, 2012 et 2014. Ce mécanisme de promotion à la génération opère au niveau fédéral/national. Le EEG a des répercussions non seulement pour les producteurs d'énergies renouvelables mais aussi pour les opérateurs du réseau électrique. La loi statue notamment que :

- Le montant de FIT (Feed In Tarifs) à payer par les opérateurs de distribution et de transmission aux producteurs d'SER-E, basé sur les coûts de production effectifs
- La priorité de connexion au réseau électrique pour les producteurs SER-E basé en Allemagne
- La priorité d'intégration, de transmission, de distribution et de compensation de l'électricité sur de SER par les opérateurs du réseau
- L'équilibrage au niveau national de l'SER-E intégré pour lequel un supplément ou un tarif a été payé

Les tarifs établi par le EEG ne se basent pas sur le prix de l'électricité coté en bourse mais sur les coûts réels de génération à partir des SER (Haas *et al.*, 2011). Les tarifs varient selon la technologie et dépendent de la taille et de l'emplacement (surtout pour le vent) de l'installation. Finalement, les tarifs prennent en compte l'état de la technologie et sont de fait dégressifs en évoluant avec la « learning curve » de la technologie en question. L'année de mise en fonctionnement de l'installation sert de référence afin de définir le tarif à appliquer. En effet, les tarifs suivent un taux de dégression annuel et encourage par là le développement technologique et l'innovation afin de réduire les coûts. Les tarifs sont garantis pour une durée de 20 ans ce qui fait que des installations couteuses aujourd'hui vont encore peser dans le prix de l'électricité durant les 20 prochaines années. En même temps, cette longue période de garantie fournit une certaine sécurité pour les investisseurs. Les technologies promues à travers le EEG sont le photovoltaïque, le vent onshore et offshore, la biomasse, le gaz naturel ainsi que les centrales hydroélectriques. L'amendement de la loi en 2012 a apporté des réductions des tarifs garantis aux SER, surtout en ce qui concerne le solaire dont les coûts des installations ont chuté particulièrement fort durant les dernières années.

Les tarifs que les opérateurs de réseau sont contraints de payer aux producteur d'électricité renouvelable sont par après ajoutés au prix d'électricité payé in fine par les consommateurs à tranvers la surcharge EEG.

Avec la révision de l'EEG en 2014 qui entrait en vigueur le 1^{er} août 2014, quelques changements ont été mis en place par rapport à la législation de l'EEG 2012. Dans le cadre du présent mémoire, les modifications les plus intéressantes sont que les FIT pour le vent et la biomasse vont diminuer légèrement et les boni pour des installations afin d'utiliser des matières premières renouvelables ne seront plus autorisés. En plus, la consommation propre ne sera plus totalement exempte de la surcharge EEG. Ainsi, seules de nouvelles petites installations en dessous de 10 MW seront exemptes alors que pour des installations nouvelles au dessus de ce seuil, la surcharge EEG devra être partiellement ou entièrement payée. Enfin, les critères d'exonérations pour industries électro intensives ont été restreints.

En plus de l'EEG, des subsides à l'investissement, des exemptions fiscales et autres instruments de promotion à l'investissement ont été introduits au niveau des 16 régions allemandes ainsi qu'au

niveau fédéral. Enfin, le gouvernement octroie aussi des programmes de subventions pour la recherche et le développement de SER aussi bien dans des institutions publiques que privés.

D. La génération d'électricité sur base de SER

Depuis les initiatives de promotion des SER de la part du gouvernement allemand, la production d'électricité sur base de sources d'énergies renouvelables s'est multipliée. À la suite de l'exploit des renouvelables, le mix énergétique a considérablement évolué durant les dernières décennies.

Comme le montre la figure 2, il y a dix ans, le charbon (houille et lignite) et l'énergie nucléaire étaient les majeures sources d'électricité. La contribution du charbon reste importante, surtout du lignite. En 2014, le lignite et la houille constituent 43% de la production d'électricité. À la suite des prix extrêmement bas des certificats ETS, la production de lignite a même augmenté et a permis de revendre de l'électricité à l'étranger. De plus, le charbon agit comme technologie de réserve avec la diminution du nucléaire. À long terme, il est probable que le gaz naturel prendra la fonction de charge de base (« base load »), qui est actuellement assuré par le charbon et le nucléaire (Pescia, 2015). De plus, le gaz naturel génère moins d'émissions de GES. Ceci permettra ainsi la stabilisation du réseau qui accueillera une quantité croissante d'électricité intermittente. La production des centrales nucléaire a progressivement diminuée durant les dix dernières années et surtout en 2011 suite à l'abandon de huit centrales. Comme déjà mentionné plus haut, l'abandon total du nucléaire est prévu pour 2022. Ce sont dès lors surtout le charbon noir et le nucléaire qui ont diminué leur part dans le mix énergétique. Cette baisse de production a pourtant été plus que compensée par la génération d'électricité sur base de SER. On constate en effet que la production totale d'électricité a augmenté durant la période entre 2000 et 2014 et que l'Allemagne fait face à une surcapacité de production en étant un exportateur net d'électricité à hauteur de 35,5TWh en 2014 (BMWi, 2015).

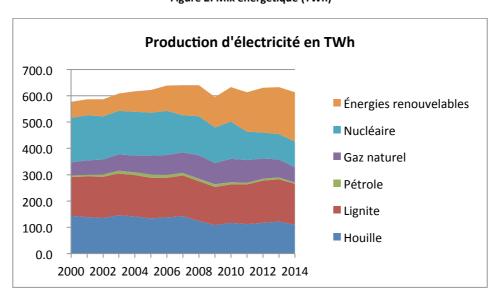


Figure 2: Mix énergétique (TWh)

Source: BMWi, 2015

En ce qui concerne la génération des renouvelables, on constate qu'en 2000 les SER ne produisaient même pas 40 000 GWh alors qu'ils atteignent 160 000 GWh en 2014. Cette évolution a surtout été propulsée par le vent, le solaire et la biomasse. En 2014, la part des renouvelables était de 30% dans

la production brute d'électricité ce qui fait que c'est la source la plus important en termes de volumes produits après le charbon (houille et lignite) qui atteignent 43%. En plus, les renouvelables sont aussi la source avec la plus forte croissance, à savoir de 210% entre 2000 et 2014 et de 61% entre 2009 et 2014.

En analysant les différentes sources des renouvelables, on constate que le potentiel de l'hydraulique semble être épuisé comme son déploiement est resté très stable. Le vent et la biomasse se sont développés de façon continue alors que ceci n'était pas le cas pour le solaire.

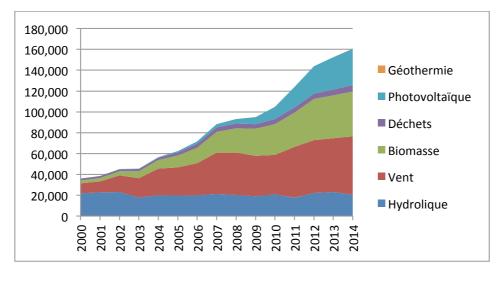


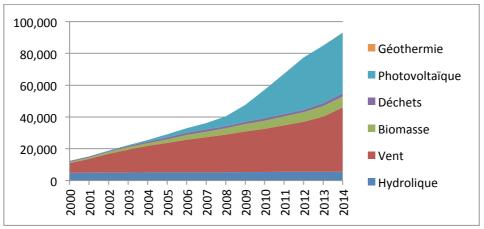
Figure 3: Génération d'électricité de SER en GWh

Source: BMWi, 2015

En effet, son déploiement s'est fortement accéléré à partir de 2009 et s'est de nouveau ralenti à partir de 2012, comme le montre la figure 3 qui illustre la capacité installée. Ceci était notamment dû au fait que les tarifs accordés au solaire étaient démesurés par rapport aux coûts réels de cette technologie qui a diminué très rapidement suite à des innovations dans la production des panneaux. Pour le vent, on constate une accélération plutôt depuis 2012.

En considérant l'évolution de la capacité installée de tous les renouvelables, on constate que seuls le vent et le solaire ont vu une progression significative. Ce n'est donc pas le cas pour les autres technologies, ce qui renforce les propos du gouvernement qui compte réaliser la transition énergétique surtout sur base du vent et du solaire. Avec une part de 32% de capacité installée en SER au niveau mondial en 2012, l'Allemagne est le leader mondial dans le marché solaire en termes de capacité installée bien que l'intensité solaire est plus élevé dans des pays du sud de l'Europe (environ 40%) (Frondel et al., 2014).

Figure 4: Capacité installée en MW



Source: BMWi, 2015

Il convient cependant de faire la différence entre capacité installée et électricité produite. Le ratio entre ces deux mesures diffère largement entre technologies, illustré par la figure 5. À l'opposé des sources d'énergies conventionnelles, les SER dépendent fortement des conditions météorologiques. Les panneaux photovoltaïques par exemple ne produisent qu'à puissance maximale lors d'un rayonnement solaire intensif. De plus, les heures de soleil par année ne sont que de 1300 à 1900 en Allemagne alors que pour l'Australie par exemple, on atteint un niveau de 2300 à 3300 heures en moyenne (Frondel, Schmidt, et Vance, 2014). Les éoliennes ne fonctionnent aussi que quelques heures par année à puissance maximale. On constate donc qu'il y a de grandes différences entre technologies en faisant la comparaison entre capacité installée et production d'électricité. En l'occurrence, la biomasse et l'hydraulique ne font que 13% de la capacité installée mais produisent plus de 40% de l'électricité de SER. Le solaire semble être le moins efficace parmi les technologies SER.

100% 0.4 0.4 7.6 Gaz (Décharge, épuration, fosse) 90% 5.5 26.1 Biomasse 80% 70% Hydraulique 15.9 41.8 60% 0.6 ■ Vent Offshore 50% 0.03 40% 35.9 ■ Vent Onshore 30% 43.9 0.02 ■ Géothermie 20% 10% 21 Photovoltaïque 0% Part capacité installée Part production électricité

Figure 5: Capacité installée vs. Production d'électricité en 2014

Source : BDEW 2015

E. Les opérateurs de réseau

L'Energiewende a des conséquences majeures pour les réseaux d'électricité en Allemagne, tant ceux de la transmission que de la distribution.

Tout d'abord, le mix énergétique a évolué durant la dernière décennie ce qui se poursuivra encore jusqu'en 2050 de manière significative. Cette évolution induit plus d'intermittence dans le système dû au solaire et au vent surtout. D'une part, la production d'électricité varie fortement au cours de la journée et d'autre part, les saisons ont aussi une forte influence. Se pose alors la question de la stabilité du réseau. La charge de base était jusqu'à présent assurée par le nucléaire, le gaz et le charbon. Les renouvelables pouvant servir de charge de base sont la biomasse et l'hydraulique. Bien qu'il y ait à l'heure actuelle une surcapacité de production d'électricité, la stabilité n'est pas nécessairement assurée suite à l'abandon du nucléaire. Les sources qui compensent cette perte de capacité sont surtout le vent et le solaire qui sont intermittents. Le charbon reste donc une source de réserve qui peut aussi agir comme charge de base. Selon Pescia, afin d'atteindre les réductions d'émissions de GES, le charbon devra céder au gaz naturel comme réserve qui émet moins de polluants (Pescia, 2015). La biomasse et l'hydraulique peuvent eux aussi servir de charge de base mais Agora estime que ces technologies ne vont pas se développer davantage. En effet, le potentiel de l'hydraulique semble épuiser et la biomasse se heurte à des problèmes d'acceptabilité. D'ailleurs, l'EEG de 2014 a diminué les tarifs octroyés à la biomasse et enlevé les boni accordés auparavant. À l'horizon 2050, le réseau électrique se caractérise dès lors par une très grande flexibilité et peu de charge de base sous forme de gaz naturel. Les options de flexibilité qui pourront être d'une plus grande utilité sont les installations biomasse flexibles, les réseaux interconnectés avec l'étranger et entre régions, le demand side management et les possibilités de stockage (Pescia, 2015).

Ensuite, la génération d'électricité de SER requiert une meilleure liaison entre les régions de l'Allemagne, afin de garantir la stabilité du réseau notamment. Les distances sont en effet significatives entre les grands centres de consommation et les installations de production (DENA, 2010). Une majorité de l'électricité à base de vent est produite dans le nord du pays alors que les grands centres de consommation se trouvent dans le sud. Ainsi, trois grandes traces sont panifiées pour faire la liaison entre nord et sud mais en 2015 seulement 18% des lignes de transmission prioritaires ont été réalisées (Koninckx, 2015).

De plus, durant les dernières années les opérateurs du réseau de distribution sont aussi devenus sujets de discussion. En effet, une grande partie des SER est connectée au réseau de distribution du fait d'une croissance de la production d'électricité décentralisée, surtout sur base du solaire (Figure 6). Les opérateurs du réseau de distribution doivent donc réaliser des développements technologiques afin de pouvoir activement gérer la demande et l'offre d'électricité.

30.000 27.051 25,000 23,300 21.301 20.778 20.000 15.000 10.000 8.035 5.165 5.000 3.067 1.041 n Houille Lignite Non-Vent Energie nucléaire Pétrole Solaire Hydraulique Gaz naturel renouvelables Turbinage-pompage enouvelables Biomasse **Autres SER** Autres non-Transmission (82 902 MW) Distribution (77 621 MW) Source: (BMWi, 2012)

Figure 6: Production décentralisé et réseau de distribution

F. L'Energiewende et l'environnement

Comme mentionné précédemment, un pilier majeur de l'*Energiewende* est la réduction des émissions de GES. Depuis toujours, le secteur énergétique est le plus important émetteur d'émissions de GES et ce aussi en 2013 à concurrence de 40% (Figure 7). En comparant les émissions de 2013 avec ceux de 1990, on constate que des réductions de 24% ont été atteintes. Durant la période entre 2000 et 2013, les émissions GES n'ont baissées que de 9%. Il y a donc un clair ralentissement des réductions durant la dernière décennie. En analysant le progrès selon les différentes catégories émettrices, on constate que ce dernier était le plus prononcé pour les ménages et le transport (-16% et -11% respectivement) pour la période 2000-2013. Depuis 1990, les plus importants efforts on été faits dans le commerce/services et dans l'agriculture (-41% et -32% respectivement). Ce qui peut sembler flagrant est que le secteur énergétique présente un progrès faible par rapport aux autres secteurs d'émissions (-1,31% entre 2000 et 2013) et ceci surtout durant les dernières années où les émissions stagnaient voir augmentaient légèrement.

1400 1200 Autres Millions de t d'éq. CO2 1000 Agriculture 800 Industrie 600 Commerce et services Transport 400 Ménages 200 ■ Industrie énergétique , 500, 501, 500, 500, 500, 500,

Figure 7: Emissions de GES

Source: Agora, 2014

Cette constatation est intimement liée aux émissions de CO₂, plus précisément au prix des certificats ETS et leur allocation excessive au niveau européen lors de la deuxième phase d'échange (Graichen et al. 2014). Le prix des certificats ETS a en effet été en baisse depuis la deuxième moitié de 2008 en passant de 27,4 €/t CO₂ à 6,7 €/t CO₂ à la fin de 2014 (Graichen et al., 2014). De fait, cette évolution rend la production d'électricité sur base de lignite et houille particulièrement peu coûteuse et les producteurs allemands ont exporté de plus en plus d'électricité à l'étranger (Pescia, 2015). En effet, l'écart entre génération et consommation d'électricité a augmenté constamment depuis 2011 et des installations sur base de charbon ont été planifiées en 2007 et mises en marche en 2013/2014 (Pescia, 2015). Les certificats ETS ne sont pour le moment pas un incitant pour les entreprises intensives en émissions de CO₂ à diminuer leur production. On constate une diminution des émissions de CO₂ entre 2013 et 2014, qui peut être expliquée par un hiver particulièrement doux (Pescia, 2015).

En Allemagne se juxtaposent dès lors deux systèmes qui ont pour vocation de réduire les émissions de GES : le système des certificats ETS et la promotion des renouvelables par le EEG. Selon Frondel *et al.* (2010, 2014), les énergies renouvelables sont loin d'avoir un rapport coût/efficacité convaincant pour réduire la pollution de l'air. Les auteurs argumentent en effet que le solaire est une des options les plus coûteuses pour diminuer les émissions de GES. En plus, bien que le vent soit une technologie bien plus rentable, elle ne serait pourtant pas une manière effective du côté coûts pour réduire les émissions. En effet, les auteurs comparent les coûts d'abattement du CO₂ avec les coûts engendrés par le mécanisme de promotion FIT des technologies de SER et les coûts liés au prix des certificats ETS (ETS : 30€/tonne, solaire : 716€/tonne, vent : 54€/tonne). Ainsi les auteurs concluent qu'il serait bien plus effectif de réduire les émissions via les certificats ETS seuls. Le système FIT induit des coûts supplémentaires sans pour autant permettre une réduction additionnelle des GES par rapport au système ETS en place. Avec une réduction des émissions grâce au EEG, le prix des certificats diminue

et ces derniers peuvent être achetés à bas coûts par d'autres industries qui peuvent continuer à polluer (Frondel *et al.*, 2014). Ainsi, le système FIT induirait un déplacement des émissions GES plutôt que leur réduction. Finalement, certaines technologies sont fortement promues bien que très coûteuses en tant que moyen de réduction d'émissions GES et induisent par là un effet d'éviction d'alternatives moins coûteuses.

Enfin, la réduction des émissions de GES stagne aussi à cause de l'accélération de l'abandon du nucléaire, technologie générant peu d'émissions. Afin de garantir la stabilité du réseau, cette capacité manquante est compensée avec une utilisation d'installations à charbon qui sont fortement émetteurs d'émissions à GES (IHS, 2014).

G. Conclusion

L'Allemagne a une longue tradition concernant la promotion des SER. Les politiques en cette matière depuis 2000 ont renforcé la volonté d'un passage vers un secteur énergétique basé uniquement sur les SER. L'Allemagne a donc été à même de créer un cadre propice aux investissements en SER avec un politique stable et alignée. Les SER, et surtout le vent et le solaire, se sont donc rapidement développées durant les 15 dernières années et le pays est en bonne voie pour atteindre les objectifs concernant la part de renouvelables dans la consommation brute finale.

Cependant, des défis persistent dans le domaine des réseaux électriques et des émissions de GES. Afin de garantir la stabilité du réseau, des technologies non intermittentes sont encore nécessaires et avec des prix de certificats ETS bas, le charbon se développe toujours. Ainsi, la tendance initiale de baisse des émissions de GES n'a pas pu se poursuivre pendant les 4 dernières années. Ici encore, ce sont les politiques qui doivent agir en bon père de famille et faire face aux lobby de l'industrie du charbon mais aussi savoir trouver une solution pour les milliers d'employés de ce secteur.

La suite du travail analysera un autre des objectifs de l'Energiewende, à savoir le côté abordable et compétitif de la transition. L'Allemagne a en effet réussi à déployer rapidement les SER et à baisser les émissions de GES dans une première phase, mais on peut se demander si les entreprises sont vraiment restées compétitives par rapport à l'étranger et quels sont les impacts pour les ménages. Est-ce que l'Energiewende sait in fine créer des emplois et faire bénéficier toute la population de son développement ?

Chapitre III: Impacts pour les consommateurs privés et les entreprises allemandes

Lors de l'introduction de l'Energiewende, le gouvernement allemand n'a cessé de mettre en avant les bénéfices que cette transition devrait apporter à ses citoyens, tant au niveau des ménages que des entreprises. Le gouvernement en place prônait le développement de l'industrie des renouvelables et la réduction de la dépendance envers le marché mondial de l'énergie ou encore la participation citoyenne à la transition énergétique. Ce chapitre fera le point sur les coûts engendrés par l'Energiewende ainsi que les bénéfices promis initialement.

A. Les coûts de l'Energiewende

Dans cette section, nous allons faire l'analyse des coûts induits par l'Energiewende. En parlant de coûts, nous nous sommes d'abord concentrés sur le prix de l'électricité, ses composantes et le poids des différentes technologies de SER qui le façonnent. Il convient de jeter aussi un coup d'œil sur d'autres subventions qui n'apparaissent pas de façon transparente dans le prix de l'électricité sans pour autant être de moindre importance pour le contribuable. Finalement, le point essentiel de ce chapitre sera les conséquences des prix croissants d'électricité pour les consommateurs à savoir les ménages privés et les entreprises. En effet, le prix de l'électricité constitue l'impact le plus important de l'Energiewende pour les consommateurs.

1. Évolution du prix de marché de l'électricité

L'évolution du prix de l'électricité est liée à de nombreux facteurs et non seulement au prix négocié au marché boursier à Leipzig (EEX) qui rémunère les générateurs. Le prix de l'électricité est constitué d'un certain nombre de composantes que l'on peut classer en trois grandes catégories. Tout d'abord, les coûts liés à l'approvisionnement, à savoir la génération et la commercialisation. Ensuite, s'ajoutent les coûts liés aux tarifs des réseaux (transmission et distribution). Enfin, la troisième composante est celle des redevances fixées par la loi à savoir la surcharge EEG, l'impôt de concession, la TVA, l'impôt sur l'électricité et d'autres redevances.

De plus, il faut noter qu'on ne peut parler d'un prix de l'électricité unitaire. Il y a une distinction qui est faite entre le prix pour ménages privés et celui pour entreprises. Le prix varie également selon la quantité consommée. Nous avons considéré ici le prix moyen pour ménages consommant 3500 kWh par année et la moyenne pour entreprises avec une consommation allant de 160 à 20 000 MWh par année.

En analysant l'évolution du prix de l'électricité depuis 1998 pour tous types de consommateurs, on constate qu'il y a tout d'abord une baisse jusqu'en 2000, due à la libéralisation du marché de l'électricité. Depuis 2000, on peut distinguer deux périodes. Entre 2000 et 2008, les prix augmentent constamment avec la hausse des coûts de génération, transmission/distribution et commercialisation. Entre 2008 et 2014, les prix augmentent continuellement après une chute due à la crise entre 2008 et 2009, alors que les coûts de génération, transmission/distribution et commercialisation baissent. En effet, ce sont maintenant les surcharges induites par la loi qui font monter les prix. Pour tous consommateurs confondus, l'augmentation fut sensible avec des prix qui ont plus que doublé entre 2000 et 2015.

La figure 8 montre l'évolution du prix d'électricité pour ménages. À part le poids de la surcharge EEG, on constate que les tarifs pour réseaux ont également légèrement augmenté afin de financer leur

développement. Les autres redevances établies par la loi ont surtout augmenté à partir de 2013 avec l'introduction de certaines nouvelles charges. La surcharge EEG compte pour 21% du prix pour ménages et toutes les redevances établies par la loi représentent une part de 52% du prix de l'électricité, un montant conséquent.

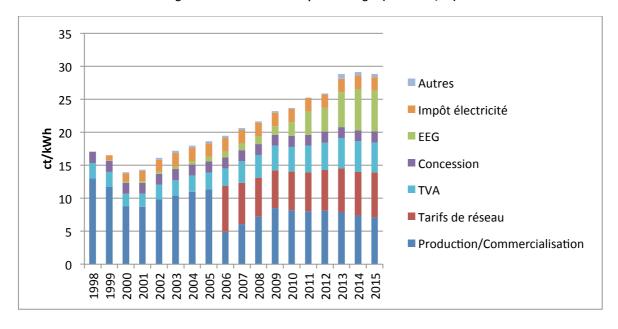


Figure 8: Prix de l'électricité pour ménages (3500 kWh/an)

Source : (BDEW, 2015) ; entre 1998 et 2005, les tarifs de réseau sont inclus dans la production/commercialisation

Pour les entreprises, la part des charges fixées par la loi était de 48% en 2014 et la surcharge EEG pesait pour 40% dans le prix de l'électricité. La surcharge EEG était décidément le moteur de l'augmentation du prix. Comme le montre la figure 9, le prix d'électricité pour entreprises a même connu une plus forte augmentation que celui des ménages, en passant de 6,05 ct/kWh en 2000 à 15,32 ct/kWh en 2015. Le prix a donc presque triplé durant cette période.

Dans la suite, nous allons nous concentrer sur le développement du prix de marché de l'électricité et la surcharge EEG comme ce sont les deux éléments devenus les moteurs principaux du prix d'électricité payé par les consommateurs.

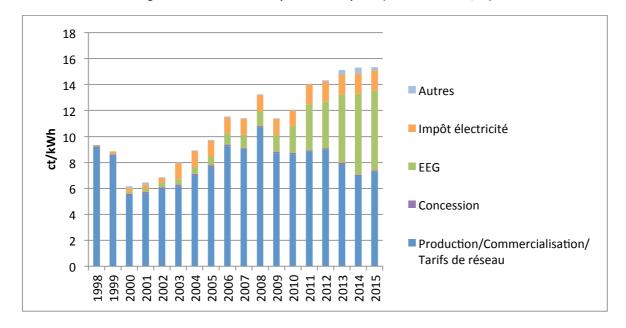


Figure 9: Prix de l'électricité pour les entreprises (160-20 000 MWh/an)

Source : (BDEW, 2015)

a. Le prix de marché de l'électricité

Le cours de l'électricité à la bourse de Leipzig (EEX) est en baisse depuis plusieurs années, aussi bien au marché à terme qu'au marché comptant (Graichen *et al.* 2014). En effet, le niveau du prix en 2015 est identique à celui de 2004 et se retrouve à un niveau bien plus bas qu'en 1998, avant la libéralisation.

La part croissante d'électricité de SER sur le marché a un effet de réduction sur le prix, aussi dénommé Merit Order Effect (Cox et al., 2014). En effet, les opérateurs de réseau doivent accepter l'électricité générée à partir de SER et il est donc obligatoire de commercialiser cette électricité peu importe s'il y a une demande ou pas. Les opérateurs de réseau deviennent donc des purs preneurs de prix (BDEW, 2015). L'électricité vendue à la bourse est toujours celle avec le coût marginal le plus faible disponible (la dernière offre faite détermine le prix de l'électricité). Ainsi, comme les installations SER ont des coûts à la marge faibles, celles-ci seront avantagées par rapport aux énergies conventionnelles. Ces dernières seront par conséquent évincées par les SER. Avec des volumes de SER-E croissants, les prix au jour le jour diminuent par la suite. Parallèlement, la surcharge EEG augmente.

Ce phénomène a bien évidemment un effet distinct selon les classes de consommateurs. Alors que les grandes entreprises savent bénéficier des prix d'électricité en baisse en bourse et peuvent être exemptes de la surcharge EEG, les petites et moyennes entreprises portent le poids de la surcharge EEG et bénéficient moins de la baisse des prix en passant en général par les opérateurs de réseaux pour l'achat (Cox et al., 2014).

b. La surcharge EEG

Alors que la surcharge connaissait une croissance plutôt constante jusqu'en 2009, elle explose depuis lors et a plus que quadruplé en 6 ans. En 2009, la surcharge était de 1,31 ct/kWh et en 2015 de 6,17 ct/kWh (BDEW, 2015). Cette forte augmentation est en grande partie due à un déploiement excessif

du solaire pendant une courte période de temps. En effet, en 2008, la capacité installée en solaire était de 6 210 MW alors que en 2013, la capacité équivalait à 36 337 MW. Entre 2010 et 2012, la capacité augmentait chaque année de plus de 7 000 MW, une quantité plus élevée que la capacité totale installée en 2008.

Cette augmentation énorme du photovoltaïque est due à un écart sensible entre le coût des panneaux solaires et les FIT accordés par la loi entre 2009 et 2012. Comme le montre la figure 10, l'ajustement des FIT ne s'est pas fait de manière assez rapide et l'écart entre FIT et coûts incitait à l'investissement dans le solaire.

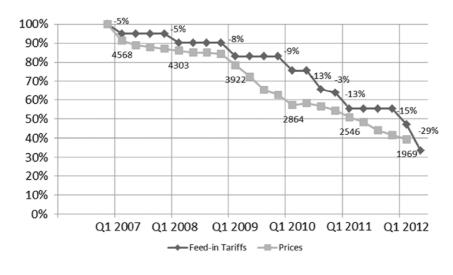


Figure 10: FIT versus coûts du solaire

Source: (Frondel, Schmidt, et Vance 2014)

Cette croissance de la capacité du solaire était problématique dans le sens où c'était la technologie la plus subventionnée par les FIT. En effet, cette technologie jouissait des FIT les plus élevés parmi toutes les technologies². Ainsi, le développement du solaire a fait augmenter la surcharge EEG fortement en peu de temps. En plus, comme les tarifs sont garantis pour une durée de 20 ans, ces 4 années d'expansion en solaire vont encore peser sur la surcharge pour une longue durée.

Cette évolution se reflète aussi dans la répartition de la surcharge EEG selon les technologies (figure 11). En 2015, le solaire contribuait à hauteur de 43,5% à la surcharge EEG. Cependant, en mettant en parallèle la répartition de la surcharge EEG avec la production d'électricité, on constate que le photovoltaïque ne représente que 21% de la production alors qu'il est responsable d'une grande partie de la surcharge. L'hydraulique par contre produit presque 16% de l'électricité et a une part bien plus faible dans la surcharge. Cette situation montre à quel point le mix énergétique est prépondérant pour l'évolution de la surcharge EEG, d'autant plus que les FIT sont garantis pour une durée de 20 ans. Ainsi, même si le mix énergétique est mieux adapté dans le futur par rapport aux coûts des technologies, la surcharge ne va pas baisser à moyen terme.

_

² La thématique des coûts des différentes technologies sera abordée plus en détail dans la section suivante.

26.1%

Autres

Photovoltaïque

Vent onshore

Vent offshore

Biomasse

Hydraulique, géothermie, Gaz DKG

Figure 11: Part des technologies dans la surcharge EEG 2015

Source : (BDEW, 2015)

Avec l'augmentation de la surcharge, la répartition de cette dernière parmi les consommateurs est devenue le centre d'un débat qui s'intensive de plus en plus. La majorité des coûts de l'EEG sont supportés par les ménages privés, en l'occurrence 8,3 Mrd. € en 2014, ce qui correspond à 35% de la surcharge EEG alors que leur consommation est de 25% du total (Figure 12). L'industrie supportait avec 7,4 Mrd. € environ 50% de la surcharge. L'ensemble des entreprises ont contribué 12,5 Mrd. € au EEG.

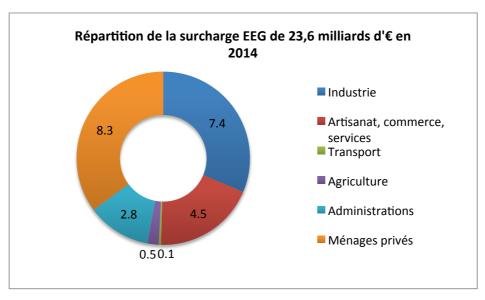


Figure 12: Répartition surcharge EEG 2014

Source: (BDEW, 2014a)

2. Contribution des différentes technologies en termes de coûts

a. Coûts générés par le système FIT

Comme déjà mentionné plus haut, les FIT diffèrent selon les technologies et sont ajustés régulièrement afin de refléter les avancés technologiques et les coûts décroissants. Jusqu'en 2012, le photovoltaïque jouissait des FIT les plus élevés qui diminuaient sensiblement entre 2009 et 2013. En

2009, les FIT pour le photovoltaïque étaient deux fois plus élevés que ceux de la biomasse et quatre fois plus élevé que ceux des éoliennes onshore. En 2013, la biomasse était la technologie la plus subventionnée, suivie des éoliennes offshore, du solaire, des éoliennes onshore et de l'hydraulique.

Tableau 3: Evolution des FIT en ct/kWh

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Solaire	53,3	50,6	47,5	45,4	40,5	34,7	26,3	21,7	13,8
Vent onshore	8,9	8,8	8,6	8,6	9,7	9,7	9,7	9,6	9,5
Vent offshore					15	15	15	19	19
Biomasse	20,3	20,4	20,4	20,2	20,2	20,9	20,8	18,3	19,7
Hydraulique	9	9,5	9,2	9,1	11,1	11,5	11	12,1	6,8

Source: (BDEW, 2015)

Cette première approche ne reflète pourtant pas correctement les coûts auxquels les consommateurs font face. En comparant la production d'électricité d'une technologie avec les coûts de cette dernière dans la surcharge EEG, on peut identifier quelles technologies sont économiquement efficaces à la suite de promotions établies par le gouvernement. Le BDEW a calculé à cet effet le coût des technologies dans la surcharge EEG par MWh produit. Selon le tableau 4, on constate que le photovoltaïque est de loin la technologie la plus chère par MWh produit, suivi du vent offshore et de la biomasse. Le vent onshore et l'hydraulique sont très efficaces économiquement parlant, avec des coûts de 61 et 49 €/MWh produit respectivement.

Tableau 4: Coûts des technologies selon la surcharge EEG (€/MWh)

Hydra	aulique	Vent onshore	Biomasse	Vent offshore	Photovoltaïque	Moyenne
	49	61	144	153	259	131

Source : (BDEW, 2015)

D'autres auteurs font l'anaylse selon l'approche des coûts différentiels, c'est-à-dire l'écart entre le prix de marché de l'électricité et le FIT garanti pour les technologies. Selon cette analyse comaparée, les FIT du solaire étaient huit fois supérieurs au prix de l'électricité en 2009 (Frondel et al. 2010). En 2011, les FIT étaient encore cinq fois supérieurs au prix boursier de l'électricité (Frondel, Schmidt, et Vance, 2014). Enfin Frondel et al. (2010) font la remarque que bien que la technologie du photovoltaïque n'était pas encore tout à fait mature et que l'Allemagne n'est pas un endroit favorable en termes d'heures de soleil (si l'on compare avec les pays du sud de l'UE), les pouvoirs publics ont promu cette technologie avec un FIT qui était en 2006 dix fois plus élevé que le prix du marché d'électricité et même 6 fois plus élevé que le FIT pour le vent (Frondel et al., 2010).

Jusqu'à présent nous avons surtout parlé du coûts des technolgies pour les consommateurs à travers les FIT. Une autre approche est de voir quel coût réel les différentes technologies ont pour les producteurs, par exemple à travers le LCOE (Levelized Cost of Electricity). En prenant en compte la figure 13, on constate qu'en 2013, le photovoltaïque et les éoliennes onshore entrent déjà en concurrence directe avec des énergies conventionnelles comme la houille ou le lignite. En revanche, ce n'est pas encore la cas pour la biomasse et les éoliennes offshore pour lesquelles même le LCOE le plus optimiste ne sais pas s'approcher des LCOE d'extrémité supérieure de sources conventionelles.

Fraunhofer Version: Nov. 2013 0.22 0.20 0.20 /kWh] 0.18 0.18 Levelized cost of electricity [Euro₂₀₁₃ 0.16 0.16 0.14 0.14 0.12 0.12 0.10 0.10 0.08 0.08 0.06 0.06 0.04 0.04 0.02 0.02 0.00 0.00 PV PV Wind Wind Hard Combined Biogas Brown small utility onshore offshore coal coal cycle 6000 1000 -1000 1300 -6600 5500 3000 2800 -1200 1200 2700 4000 8000 7600 6500 4000 GHI in kWh/(m²a)

Figure 13: Levelized Cost of Electricity

Source: (ISE, 2013)

Selon Pescia (2015), les coûts du solaire ont baissé d'environ 70% entre 2006 et 2014, ce qui fait que cette technologie commence à rentrer en concurrence avec les sources d'énergies conventionnelles. Comme le solaire, le vent est devenu depuis quelques années une technologie mature avec des éoliennes de 2-3 MW étant considérées comme standard (Pescia, 2015). Ainsi, ces deux technologies sont compétitives par rapport à de nouvelles installations d'énergies conventionnelles en se basant sur le LCOE. De plus, il faut prendre en compte le fait que le coût des énergies conventionnelles peut augmenter dans le futur avec un prix croissant des certificats ETS. Ainsi Pescia a calculé des gammes de LCOE pour le vent et le solaire mais aussi des énergies renouvelables et constate qu'en 2015, les coûts en ct/kWh du vent et du solaire sont en ligne avec les énergies conventionnelles et que le vent est même moins cher que les énergies conventionnelles à l'exception du lignite. En effet, cette dernière source d'énergie reste la moins chère pour autant que le prix des ETS n'augmente pas sensiblement.

Les FIT s'orientent au coût réel des technologies, en général le LCOE, afin de garantir une rémunération juste pour des technologies qui ne sont pas encore à même de rentrer en compétition avec des énergies non-renouvelables. Or, cette approche demande beaucoup de finesse au niveau des pouvoirs public afin de prendre en compte l'effet d'apprentissage des technologies qui fait que leur coût diminue au cours du temps. En l'occurrence, cet ajustement ne s'est pas fait de façon appropriée pour le solaire. Les pouvoirs publics n'étaient pas à même de suivre la baisse rapide du prix des panneaux photovoltaïque.

b. Autres mécanismes de promotion

Un argument souvent avancé par les opposants des SER est le fait que ces derniers seraient plus coûteux que les sources d'énergies conventionnelles à la charge des consommateurs. Il convient pourtant de nuancer ces propos. Il est vrai que dans un premier temps, les renouvelables n'étaient pas compétitifs par rapport aux non-renouvelables et que leur déploiement a dû être promu par les gouvernements, ce qui a induit une augmentation des prix de l'électricité. En Allemagne, cette

augmentation est, à première vue, affiché de manières très transparente pour le consommateur avec la surcharge EEG du prix de l'électricité indiqué sur la facture. Or, la surcharge EEG ne prend en compte que les coûts encourus par le système de promotion des FIT, et non pas les subsides à l'investissement et à la recherche et le développement dépensés par les autorités fédérées et fédérales. Ceci est notamment vrai pour les énergies conventionnelles comme le nucléaire qui sont aussi subsidiées par les pouvoirs publics sans que cela ne soit reflété clairement dans les prix de l'électricité. Toutefois, c'est *in fine* bien le contribuable qui en supportera la charge.

En ne se basant que sur les subsides publiques pour la recherche déboursés par le Bund, on constate déjà que les dépenses pour le nucléaire sont bien plus importantes que celles pour les renouvelables et ce jusqu'en 2011. Jusqu'à ce jour, les dépenses du nucléaire restent considérables. En plus, le privé alloue aussi un certain nombre de subsides au secteur de l'énergie bien qu'étant moins onéreux. Cependant, en comparant ces chiffres aux dépenses relatives à la surcharge EEG, on constate qu'ils sont bien inférieurs (surcharge EEG de 23,6 Mrd. € en 2014).

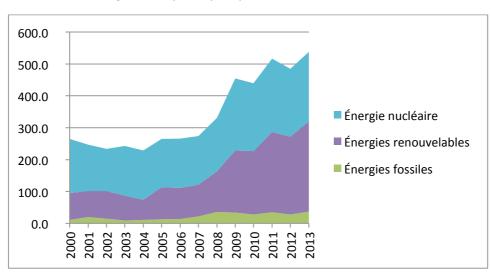


Figure 14: Dépenses publiques en recherche en millions €

Source: BMWi, 2015

Greenpeace a fait une enquête dans ce cadre en 2012 en analysant ce que l'électricité coûte vraiment en prenant en compte les subsides accordés aux énergies conventionnelles et renouvelables, à savoir des aides financières, des avantages fiscaux, des avantages dans l'échange de certificats ETS, etc. (Küchler et Meyer, 2012). De plus, les énergies fossiles et nucléaires engendrent des coûts à long terme à travers les dommages causés à l'environnement et au climat ainsi que des risques liés au nucléaire et le démantèlement des installations (dénommés coûts externes dans la suite). L'étude se base sur une période allant de 1970 à 2012.

Les auteurs concluent que si ces coûts sont ajoutés en tant que surcharge au prix de l'électricité, la surcharge des énergies conventionnelles surpasserait celle liée aux SER. En 2012, les coûts liés aux énergies conventionnelles étaient de 40,3 Mrd. € alors que la surcharge EEG n'était « que » de 13 Mrd. €. En tranduisant ce montant en surcharge selon le mécanisme de l'EEG, c'est à dire la répartition sur les consommateurs finaux avec exlusion des consommateurs priviligés, on obtient une surcharge des énergies non renouvelables de 10,2 ct/kWh qui est à mettre en relation avec la surcharge EEG de 3,3 ct/kWh en 2012.

Afin d'obtenir ce résultat, les auteurs ont calculé les coûts totaux par technologie en incluant le prix de marché de l'électricité (cours de bourse pour les conventionnels et FIT selon EEG pour les renouvelables), les subventions, les coûts externes ainsi que des coûts externes spécifiques au nucléaire.

Tableau 5: Coûts totaux sources renouvelables et non renouvelables en ct/kWh

Houille	Lignite	Nucléaire	Gaz naturel	Vent (onshore)	Eau	Photovoltaïque
14,8	15,6	42,2 ³	9	8,1	7,6	36,7

Source: (Küchler et Meyer, 2012)

En analysant le tableau 5, on constate que le coût des renouvelables est en fin de compte inférieur à celui des énergies non renouvelables à part pour le photovoltaïque. Le montant relativement élevé de la promotion du photovoltaïque est cependant à mettre en parallèle avec la phase de lancement du nucléaire, pour laquelle des promotions à hauteur de 60 ct/kWh ont été mises à disposition au début.

Par ailleurs, les énergies conventionnelles ont été promues de cette façon sur une longue durée afin de devenir abordables alors que l'intention derrière la promotion des renouvelables est de susciter un déploiement important en peu de temps. De surcroit, les énergies renouvelables ne génèrent pas de conséquences négatives dans le futur et présentent une dégression des coûts au cours des années. En revanche, les énergies non renouvelables vont encore influencer l'enviornnement dans le long terme à cause des émissions de GES ou encore du stockage de déchets radioactifs et du démantèlement de centrales nucléaires.

Finalement, TPEC affirme que même sans un déploiement promu d'énergies renouvelables à travers l'*Energiewende*, le secteur électrique aura dû investir afin de renouveler les installations existantes (TPEC, 2014). Ainsi, les consommateurs devraient aussi supporter des coûts dans ce cas de figure.

3. Impact au niveau des ménages privés

Durant la dernière décennie le prix de l'électricité a constamment augmenté et le fardeau pour les ménages privés est devenu particulièrement lourd depuis 2010 avec l'explosion de la surcharge EEG. Cette évolution peut avoir un impact sensible pour les ménages privés. En effet, selon le BDEW, la part moyenne d'électricité dans la consommation d'énergie des ménages privés en 2008 est de 20% pour des ménages sans voiture et de 13% pour ceux possédant une voiture (BDEW, 2010). L'électricité occupe donc une part importante des besoins en énergie des ménages.

En considérant un ménage de 3 personnes qui consomme 3500 kWh par année, on obtient une facture d'électricité de 1019,55€ en 2014, ce qui correspond presqu'au double des dépenses d'électricité en 1998 (tableau 6). Comme déjà mentionné plus haut, durant la période allant de 1998 à 2014, le prix d'électricité pour ménages privé a augmenté de 70%. Cette croissance du prix est en grande partie due à la part des impôts et autres prélèvements qui ont augmenté de 263% alors que ce n'était que 7% pour la part de la génération, transmission, distribution et founiture (annexe 3).

_

³ Ce montant pour le nucléaire prend en compte les conséquences de déchets radioactif et d'un accident dans une centrale nucléaire. En omettant ces deux aspects, on obtient un coût total pour le nucléaire de 16,4 ct/kWh.

Tableau 6: Facture d'électricité d'un ménage consommant 3500 kWh par an

1998	2000	2005	2010	2014
598,85€	487,90€	653,10€	829,15€	1019,55€

Source: Propres calculs sur base d'annexe 3.

Nous avons ici montré l'exemple d'un ménage type de 3 personnes. Cependant la consommation dépend du nombre de personnes dans le ménage. La figure 15 montre l'évolution de la consommation d'électricité avec le nombre de personnes dans un ménage. Ainsi, un ménage d'une personne vivant seule consomme environ 2050kWh/an alors qu'un ménage de 4 personnes consomme 4750kWh/an. Logiquement cette évolution de la consommation résulte dans une consommation par tête décroissante.

6000 5370 4750 5000 4050 Consommation moyenne annuelle par 4000 3440 ménage **§** 3000 2050 2050 1720 2000 1350 Consommation 1188 1074 moyenne annuelle par 1000 tête 0 2 3 1 4 5 et plus

Figure 15: Consommation d'électricité selon la taille du ménage en 2009

Source: (BDEW, 2014b; BDEW, 2010); consommation avec chauffage d'eau mais sans chauffage central

La consommation d'électricité augmente aussi légèrement avec le revenu disponible des ménages, mais pas de façon significative. La part de l'électricité dans les coûts totaux des ménages diminue donc pour des ménages à revenu élevé. Des ménages à faible revenus souffrent plus des effets de l'Energiewende, à savoir une augmentation du prix, que des ménages à revenus élevés comme l'élasticité entre le revenu et la consommation d'énergie est faible (Frondel, 2014). La part de l'électricité dans le revenu disponible augmente sensiblement pour cette catégorie de consommateurs alors que pour des ménages plus aisés, cette augmentation n'a pas d'impact majeur.

Cette situation a suscité beaucoup de débats dernièrement en argumentant que l'*Energiewende* ne répartissait pas les coûts de façon équitable. De ce fait, nombreux sont les auteurs qui ont analysé cette manière dégressive de la répartition des coûts. Nous allons nous concentrer ici sur deux mesures, à savoir une classification par décile du revenu net disponible et une par revenu médian équivalent.

Bardt et Niehues ont fait l'étude selon décile de revenu net disponible et calculent les coûts par mois et par personne en se basant sur un échantillon de ménages privés (Bardt et Niehues, 2013). Le revenu disponible des 10% les plus pauvres (1^e décile) s'élève à 706€ et celui du décile le plus favorisé (10^e décile) à 4 744 €. Les coûts d'électricité moyens par personne augmentent d'un décile à l'autre montrant par là une consommation légèrement plus élevée pour un revenu net disponible

plus élevé. En même temps, la charge EEG par mois par personne augmente au même rythme. Cette augmentation semble pourtant minime en prenant en compte l'évolution du revenu. En divisant cette charge EEG par le revenu disponible, on constate l'aspect dégressif de la charge EEG. En 2011, le 1^e décile avait une charge EEG de 0,94 % du revenu alors que ce pourcentage n'était que de 0,17 pour le 10^e décile. Ainsi, avec un revenu net disponible six fois supérieur, les coûts d'électricité ne sont que d'un quart plus élevés, tout comme la charge EEG. En 2013, les résultats sont encore plus flagrants pour les déciles inférieurs. Ceci démontre à quel point la charge EEG pèse de manière disproportionnée sur les ménages à faible revenu.

Tableau 7: Coûts moyens d'électricité mensuels par personne selon décile (en €)

	2011			2013			
	Coûts d'él.	Charge EEG	% EEG/rev.	Coûts d'él.	Charge EEG	% EEG/rev.	
1	41,34	5,85	0,94	44,45	8,75	1,41	
2	40,00	5,66	0,55	43,00	8,47	0,82	
3	40,63	5,75	0,46	43,68	8,6	0,69	
4	40,76	5,77	0,40	43,81	8,63	0,60	
5	40,77	5,77	0,35	43,86	8,63	0,52	
6	43,68	6,18	0,34	46,93	9,24	0,51	
7	42,31	5,99	0,29	45,47	8,95	0,43	
8	44,99	6,37	0,27	48,35	9,52	0,40	
9	44,61	6,31	0,23	47,97	9,44	0,34	
10	50,86	7,2	0,17	54,67	10,76	0,25	

Source: (Bardt et Niehues, 2013); (Techert et al., 2012)

À côté de cette analyse selon le revenu, il faut aussi mentionner que l'effet de répartition est aussi présent pour différents types de ménages. Selon le tableau 8, le type de ménage le plus affecté est les parents isolés avec une part de 0,85% de leur revenu attribuable à la charge EEG. On perçoit aussi clairement l'augmentation des prix de l'électricité qui font monter le pourcentage de la charge EEG dans le revenu. Si on prend aussi en compte la TVA et les redevances pour le développement des réseaux, on retrouve une part de 1,6% du revenu net pour l'EEG pour le décile des plus pauvres. Lehr et al. (2015) retrouvent des résultats similaires et mettent en avant que les plus affectés des consommateurs sont les retraités et les chômeurs par opposition aux employés ou fonctionnaires. En effet, ces consommateurs ont moins de possibilités pour s'adapter à des prix croissants de l'électricité (Lehr et Drosdowski, 2015).

Tableau 8: Coûts d'électricité par type de ménage (par personne)

	Charge EEG moy	enne par mois (€)	Part de la charge EEG dans le revenu (%)		
	2011	2013	2011	2013	
Célibataire	6,34	9,49	0,51	0,72	
Couple sans enf.	6,47	9,68	0,31	0,44	
Parent isolé	5,94	8,88	0,6	0,85	
Couple avec enf.	5,65	8,45	0,34	0,48	

Source: (Bardt et Niehues 2013)

Frondel *et al.* ont fait l'analyse sur la période 2006 à 2012 selon le revenu médian en se basant sur une enquête de terrain (German Resdidental Energy Consumption Survey (GRECS)) (Frondel, Sommer, et Vance, 2015). Le seuil de pauvreté est égal à 60% du revenu médian. Les auteurs estiment qu'en moyenne, les ménages déboursent 2,6% de leur revenu pour l'électricité en 2012 alors que les ménages vivant en dessous de la ligne de pauvreté dépensent 5,5% de leur revenu, ce

qui est un pourcentage presque équivalent à la part qu'ils dépensent en chauffage (logement et eau). Bon nombre de ménages de l'échantillon dépensent plus de 10% de leur revenu pour l'énergie au sens large, ce qui est considéré comme pauvreté énergétique.

Pour toutes les catégories de revenus, la part de l'électricité dans le revenu reste plutôt stable jusqu'en 2010. Entre cette année et 2013 il y a un saut pour les ménages ayant 60% ou moins du revenu médian. La part d'électricité monte de 4,63% en 2010 à 5,47% en 2013. Toutefois, l'impact pour les autres catégories n'était que d'environ 20bps (100% revenu médian : 3,07 à 3,19 ; 200% revenu médian: 1,93 à 3,19; 300% revenu médian: 1,47 à 1,48). Il y a donc clairement un effet dégressif. Le même raisonnement peut être fait pour la charge EEG. Les auteurs constatent aussi que les plus touchés sont les parents isolés, les couples sans enfants et les célibataires avec un revenu disponible en dessous de 60% du revenu médian. En effet, pour ces trois catégories, le revenu disponible a augmenté à un taux moins élevé que le coût de l'électricité durant les dernières années. Ainsi, en 2012 la part d'électricité de ces ménages vivant en dessous de la ligne de pauvreté était de 6,23% pour les couples sans enfants, de 5,2% pour les célibataires et de 5,44% pour les parents célibataires. La part d'électricité a en effet augmenté de 100bps depuis 2006 pour ces types de ménages. Ce qui est également consternant, c'est que 25% des célibataires et 42% des parents célibataires vivent en dessous du seuil de pauvreté et en additionnant les charges pour le chauffage, on retrouve aisément un grand nombre de ces personnes dans un état de pauvreté énergétique. Déjà en 2008, alors que les prix d'électricité étaient encore moins élevés, 13,8% des ménages souffraient de pauvreté énergétique et 4% de pauvreté énergétique à la base d'électricité (TPEC, 2014).

Frondel *et al.* constatent donc qu'il y a clairement un impact dégressif d'une augmentation du prix d'électricité et que l'écart entre les ménages riches et pauvres s'élargit avec cette augmentation de prix (Frondel, Sommer, et Vance, 2015).

Textbox 3: Les ménages privés - chiffres clés

En 2012, l'Allemagne comptait 40,7 millions de ménages privés avec en moyennes 2 personnes par ménage. Le type prédominant de ménage est celui des ménages à une personne (40,5%) suivi des ménages à 2 personnes (34,5%). Ainsi, les ménages d'une à deux personnes constituent 75% des ménages privés en Allemagne. Les ménages privés constituent 26% de la consommation nette d'électricité en 2013. La consommation moyenne par ménage a continuellement augmenté jusqu'en 2005, avec une forte croissance entre 2000 et 2005, et diminue depuis. L'augmentation du nombre de ménages de une à deux personne, qui consomment en moyenne plus par tête que des ménages plus nombreux, induit une tendance à la hausse des besoins totaux en électricité de la part des ménages (Table 6). La consommation par tête est de 16% moindre pour un ménage à deux personnes par rapport à un ménage à une personne et même de 42% pour un ménage à 4 personnes. Un facteur ayant une influence significative sur la consommation d'électricité est le type de bâtiment (maisons individuelles ou mitoyennes, maison de ville ou multifamiliale. D'autres facteurs sont la surface habitable et les équipements. En plus on constate que la consommation annuelle moyenne est plus élevée pour les régions de l'ouest et celles du nord alors que les régions de l'est consomment environ 28% en moins, surtout dû à des surfaces habitables plus petites ainsi que un nombre plus faible d'équipements électriques.

Source: (BDEW, 2014b; BDEW, 2010)

Même si les critiques envers l'*Energiewende* sont nombreuses à cause de l'augmentation des prix, il ne faut pas perdre de vue que la pauvreté énergétique n'est pas un phénomène nouveau, mais au contraire un phénomène bien connu et identifié comme structurel (TPEC, 2014). Les ménages qui en souffrent ont en général un problème de pauvreté à la base (Tews, 2014).

Considérant les résultats présentés plus hauts, nombreux sont les auteurs qui prônent une intervention sur le prix de l'électricité de la part du gouvernement par souci social (Tews 2014). Selon Tews, cette vision des choses est trop restreinte et il faut aussi prendre en compte les avantages de l'Energiwende. L'autre élément essentiel à prendre en compte est en l'occurrence la quantité consommée. À l'aide d'un effort supplémentaire en efficacité énergétique, les ménages peuvent diminuer leur consommation. Cette thématique sera abordée dans la section B du présent chapitre en prenant aussi en compte les inégalités qui peuvent se créer. En effet, juger de la dimension sociale de l'Energiewende n'est logique que si on considère les coûts et les bénéfices pour les consommateurs en faisant une distinction suivant le revenu disponible (TPEC, 2014).

4. Impact au niveau des entreprises

a. Pourquoi est-ce que le prix de l'électricité a tellement de poids pour certaines entreprises

La question de l'impact d'une augmentation du prix de l'électricité est pertinante dans la mesure où les industries allemandes présentent certaines caractéristiques qui les rendent vulnérables par rapport à des variations du prix de l'électricité domestique.

Tout d'abord, les coûts liés à l'électricité consitituent dans certaines branches une part essentielle des coûts totaux. En l'occurrence, 4 à 10% dans l'industrie de l'acier ou encore 36% dans l'industrie de l'aluminum (BDEW 2014a). En moyenne, l'électricité compte pour 8% des coûts, toutes industries

cofondues. Ensuite, l'économie allemande est fortement dépendante de l'export de marchandises et avec la globalisation, les relations de commerce se sont encore développées davantage (BDEW 2014a). Durant les dernières décennies, les exports ont en effet fortement augmenté et l'écart entre l'export et l'import de marchandises s'est considérablement élargi de sorte que le secteur de l'exportation est un pilier crucial pour la croissance économique allemande (Destatis 2015). En 2011, 57% de la production industrielle a été exportée (BDEW 2014a). Ces entreprises se retrouvent donc en forte concurrence internationale. Il faut néanmoins faire une distinction selon les secteurs concernant les quantités exportées.

En combinant ces deux facteurs, on peut identifier des secteurs de l'industrie qui sont les plus affectés par des augmentation du prix de l'électricité et qui en même temps jouent un rôle important dans l'économie allemande. Les industries les plus vulnérables seraient dès lors la métallurgie, les entreprises chimiques et le textile. Les différences entre secteur selon le degré d'exportation et la part de l'électricité parmi les coûts totaux font qu'il y a une forte hétérogéniété et que l'impact d'une augmentation des prix sera perçu différemment d'une entreprise à une autre.

Il convient pourtant de noter que les imbrications entre secteurs et industries font que bon nombre de secteurs allemands, bien que sans être électro intensifs, utilisisent des inputs domestiques et sont par là impactés par des prix croissants d'électricité (BDEW, 2014a).

b. Exonérations pour les entreprises

Bien qu'on ait constaté que le prix de l'électricité a sensiblement augmenté durant la dernière décennie, les industries particulièrement électro intensives profitent d'un certain nombre d'exonérations. Afin de garantir la compétitivité des entreprises allemandes, surtout des industries électro intensives qui se trouvent en compétition internationale, le gouvernement allemand a autorisé d'accorder des exonérations partielles ou totales de certaines redevances sous des conditions particulières⁴.

Les exonérations sont pourtant surtout de mise pour la surcharge EEG et les tarifs des réseaux. Selon la logique développée dans la première section, ce sont la part de l'électricité dans les coûts totaux ainsi que la part des exportations dans la valeur ajoutée de l'entreprise qui priment pour l'octroi du droit à des exemptions. Ainsi, des entreprises qui ont une consommation d'électricité élevée ne profitent pas nécessairement d'exonérations. En plus, les différences dans le prix d'électricité sont surtout déterminées par les exonérations au niveau de la surcharge EEG et en deuxième lieu par des réductions de tarifs de réseau. Les entreprises éligibles d'une exonération de la surcharge EEG sont des entreprises actives dans la fabrication qui utilisent au moins 1 GWh par année et dont l'électricité fait au moins 14% de leur valeur ajoutée brute et l'exonération varie selon leur besoin d'électricité annuel (BDEW, 2014a). Ainsi, des petites entreprises électro intensives peuvent être exonérées et doivent pourtant payer une surcharge importante comme ils ne consomment pas une quantité très importante d'électricité en une année. En revanche, d'autres branches comme la construction de machines et d'automobiles ainsi que l'industrie électrique ont une part très importante en exportations ou bien une consommation importante d'électricité par année, mais des coûts

_

⁴ Il convient pourtant de noter que des amendements sont prévus afin de réduire le cercle d'entreprises éligibles et de faire participer les entreprises à un degré plus élevé au payement de la charge EEG notamment.

d'électricité ne dépassant pas les 8% de leur coûts totaux et ne sont de fait pas exonérées (BDEW, 2014a).

À la suite des exonérations accordées, le prix d'électricité pour une entreprise peut largement varier. En 2014, le prix minimal était de 4,5 cent/kWh alors que le maximum était de 15 cent/kWh (BDEW, 2014a). Une majorité des entreprises supporte un prix d'environ 10 cent/kWh. En 2014, 96% des entreprises industrielles allemandes ont payé l'entièreté de la surcharge EEG, ce qui correspond à 43 000 entreprises sur 45 274 (BDEW, 2014a). Les 4% d'entreprises qui ont profité d'exonérations ont pourtout compté pour 53% de la consommation d'électricité totale par des entreprises industrielles (BDEW, 2014a). On constate donc qu'une très petite partie des entreprises peut bénéficier de l'exonération EEG.

Les exonérations ont comme conséquence que la base de répartition de la surcharge EEG diminue et que les consommateurs non exemptés supportent une surcharge plus élevés. À la suite d'un déploiement important des renouvelables, la surcharge EEG a augmenté ces dernières années et le cercle d'entreprises privilégiées s'est étendu. Par conséquent, le débat autour des coûts de l'Energiwende et les inégalités concernant la répartition des coûts s'est accentué.

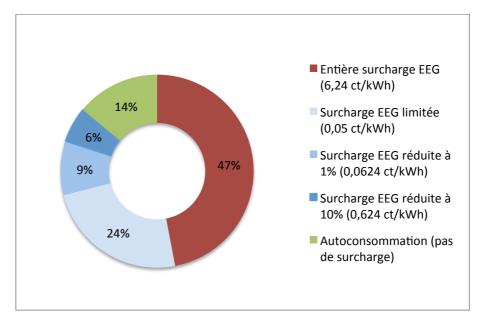


Figure 16: Exonération de la surcharge EEG selon la consommation des entreprises industrielles en 2014

Source: (BDEW, 2014a)

Dans le cas où les entreprises industrielles ne pourraient pas bénéficier d'exonération de la surcharge EEG, la surcharge n'aurait été que de 4,88 cent/kWh au lieu des 6,24 cent/kWh en vigeur en 2014 (BDEW, 2014a). Les entreprises partiellement ou totalement exemptes devraient porter un coût additionel de l'*Energiewende* de 5 Mrd. €, un montant qui serait à déduire de la base de la surcharge à payer par les autres consommateurs.

Ainsi, on constate qu'en 2013 le prix pour ces industries était 62% plus faible que le prix moyen payé par des consommateurs industriels (Pescia, 2015). En effet, le prix moyen serait d'environ 15 ct/kWh alors que ceux bénéficiant d'exonérations ne payeraient qu'un peu moins de 6 ct/kWh.

c. Comparaison du prix d'électricité avec l'étranger

Afin d'estimer la compétition avec ses partenaires d'échange, nous allons comparer les prix moyen annuels d'électricité de ces derniers avec ceux de l'Allemagne et ce en faisant la distinction selon la quantité consommée annuelle. Les partenaires les plus importants de l'Allemagne sont des pays de l'Europe avec une part des exports de deux tiers en 2014, le restant étant constitué surtout des USA et de la Chine (Destatis, 2015).

Nous allons analyser deux types de prix de 2014 en se référant à la distinction faite par Eurostat. De un, le prix d'électricité sans charges, impôts et redevances et de deux le prix avec charges et impôts mais sans impôts remboursables, à savoir la TVA et impôt sur l'électricité.

Pour les petites et moyennes entreprises (PME), avec une consommation annuelle entre 500 et 2000 MWh, le prix sans charges, impôts et redevances est de 8,6 ct/kWh et est ainsi en dessous de la moyenne européenne. En effet, celle de la zone euro est de 9,3 ct/kWh et celle des EU-28 de 9,43 ct/kWh. Or, en prenant en compte le prix avec redevances et charges sans impôts remboursables, on constate que le prix en Allemagne figure parmi les plus élevés avec 14,25 ct/kWh. Les seuls pays ayant des prix plus élevés sont l'Italie, Malte et Chypre. Pour les grandes entreprises industrielles qui consomment entre 70 000 MWh et 150 000 MWh, la situation se présente de façon similaire. Le prix sans charges et autres se retrouve en dessous de la moyenne européenne alors que le prix avec charges mais sans impôts est parmi les plus élevés avec à nouveau des prix encore plus élevés pour l'Italie et Chypre.

On constate que l'Allemagne a par conséquent des charges et redevances mises en place par la loi qui sont bien plus élevés que dans d'autres pays de l'UE en passant d'une position bien en dessous de la moyenne à celle d'un des prix les plus élevés en prenant en compte toutes les charges et redevances.

Il faut pourtant noter que parmi les tranches de consommations annuelles présentées, il n'existe pas un prix d'électricité unitaire en Allemagne. Nombreux sont les conditions pour les entreprises de bénéficier des exonérations de charges et redevances et ainsi des entreprises avec une forte intensité énergétique peuvent montrer des prix bien plus faibles que la moyenne identifiée par Eurostat.

À l'international, on constate que les prix d'électricité en Allemagne ont augmenté d'environ 60% entre 2007 et 2014 alors que la hausse n'était que de 10% aux E-U (IHS, 2014). Cet écart croissant entre le prix en Allemagne et d'autres pays du monde n'est pas seulement dû à l'*Energiewende* mais aussi aux développements des prix énergétiques internationaux (gaz de schiste en E-U, baisse du prix du pétrole). En effet, l'*Energiewende* s'était basé sur l'hypothèse de prix d'énergie en hausse à long terme ce qui justifierait le passage vers les SER afin d'être moins dépendant des marchés internationaux. Or, cette attente ne s'est pas réalisée. Toutefois, un autre aspect à prendre en compte en faisant la comparaision Allemagne E-U est le mix énergétique. Celui des E-U est moins coûteux dans le sens où les technologies les plus chères sont moins représentées, comme le solaire. La grande partie des renouvelables est basée sur le vent. En comparant avec d'autres pays on peut faire le même constat, en Chine, le prix était de 6 ct/kWh et en Inde de 8,5 ct/kWh. Le Japon est un des seuls pays à avoir un prix de l'électricité proche de celui de l'Allemagne en 2014 avec 14,4 ct/kWh.

d. Impacts pour les entreprises allemandes

Dans cette section, nous allons estimer l'impact des augmentations du prix de l'électricité à l'aide de plusieurs mesures économiques.

En se référant aux exportations, Pescia argumente que l'Energiewende n'endommage pas la compétitivité économique de l'Allemagne comme le surplus d'exportations est en croissance et a même quadruplé entre 2000 et 2014 (Pescia, 2015). Cependant, Slomka et al. estiment qu'une preuve du besoin urgent de réformer le EEG sont les projets d'investissements des entreprises (Slomka, Auer, et Karnick, 2013). Les segments électro intensifs de l'économie investissent moins dans le maintien de leurs unités de production. Depuis le début des années 1990, les investissements nets annuels n'étaient positifs que pendant 2 années pour l'industrie électro intensive. En effet, des installations sont construites pour une durée de 20 à 30 ans et du coup, le facteur énergie est primordial. Le développement des entreprises serait donc entravé. Enfin, à la suite de l'augmentation du prix de l'électricité, les décisions d'emplacement d'entreprises se font plus fréquemment contre l'Allemagne. Selon l'IEA, l'Allemagne perdra environ 10% de sa part de marché dans l'export de produits électro intensifs jusqu'en 2035 (Slomka, Auer, et Karnick, 2013).

L'IHS a réalisé une étude en 2014 afin d'estimer de manière quantitative les pertes engendrées par l'Energiewende et plus particulièrement l'augementation des prix d'électricité (IHS, 2014). Les auteurs ont réalisé une étude économétrique en évaluant les pertes en exportations nettes dues à des prix d'électricité plus élevés dans 16 secteurs manufacturiers allemands. L'écart entre le prix d'électricité en Allemagne et celui d'une comparaison internationale s'élargit de plus en plus, avec un écart de 21% en 2008 et de 40% en 2013. Le résultat sont des pertes dans les exportations nettes du secteur manufacturier qui ont augmenté entre 2008 et 2011 et surtout en 2013. Les pertes directement liées au prix de l'électricité étaient de 15 Mrd. € en 2013, ce qui est égal à trois fois les pertes de 2009. Durant la période de 2008 et 2013, les pertes accumulées seraient de 52 Mrd. €. De cette perte, 60% seraient attribuables au secteur du papier, au secteur chimique et pharmaceutique, des produits minéraux et les métaux de base. En plus, les plus grands perdants seraient les petits consommateurs avec 77% de pertes alors que ces PME ne font que 29% du total des exportations manufacturières.

Cependant, même avec des réformes du EEG et une *Energiewende* qui serait plus compétitive, les prix resteront encore élevés comme les FIT ont été garantis pour une durée de 20 ans. Ainsi, les prix seront plus élevés qu'à l'international à long terme. Des exonérations pour l'industrie restent donc essentielles. En plus, les exonérations ne protègent souvent pas les petites et moyennes entreprises qui sont pourtant une pièce maitresse de l'économie allemande (IHS, 2014).

Les prix relativement élevés en Allemagne sont surtout un problème pour les PME qui ont moins de possibilités d'esquive que des entreprises de taille plus grande qui sont plus actives sur les marchés internationaux. Les prix d'électricité relativement bas aux E-U ont induit une certaine réindustrialisation en Amérique et de plus en plus d'entreprises allemandes y investissent en grande partie à cause des prix d'électricité plus bas (Slomka, Auer, et Karnick, 2013).

Les entreprises de grande taille savent mieux réagir aux effets négatifs de l'Energiewende. De un, ils sont plutôt à même d'avoir des installations de production d'électricité et de le consommer euxmêmes. De deux, ils sont plus présents sur les marchés internationaux et ils ont plus d'affinités à

délocaliser certaines activités à l'étranger où des prix plus faibles d'électricité sont en place (Slomka, Auer, et Karnick, 2013).

Le degré d'importance des coûts énergétiques varie selon les secteurs. Cependant l'interconnectivité dans les chaînes de valeur et la forte intégration verticale font que même des secteurs qui ne sont pas électro intensifs à la base peuvent être impactés par l'*Energiewende*. En effet, des entreprises électro intensives sont connectées à des entreprises non électro intensives par la chaine de valeur et les effets se propagent ainsi dans toute l'économie. En l'occurrence, 75% des produits en construction mécanique servent comme apport dans d'autres entreprises en Allemagne (IHS, 2014).

La chaine de valeur à forte intégration verticale implique aussi que cette interconnexion a des effets sur l'emploi. Ainsi, 100 emplois additionnels dans l'industrie chimique et pharmaceutique en créent 178 de façon indirecte dans d'autres secteurs. Ce chiffre monte même à 190 par 100 emplois créés dans le secteur des véhicules motorisés (IHS, 2014).

e. Perception des entreprises face à l'Energiewende

Dans cette partie, nous revoyons les résultats d'une étude réalisée par le DIHK auprès d'entreprises allemandes en juin 2014 classées en différents secteurs (construction, commerce, services, industries) (DIHK, 2014). Les entreprises ont jugé les retombées de l'*Energiewende* sur une échelle allant de -100 (très négatif) à +100 (très positif).

Les résultats montrent que les entreprises allemandes ont une attitude très sceptique envers la transition énergétique. En moyenne, elles qualifient l'effet sur leur compétitivité de -12,8, un score légèrement plus mauvais qu'en 2013. Seulement 14% des entreprises voient des effets positifs ou très positifs. Les seules entreprises voyant des effets positifs sont les entreprises de construction qui profitent du développement de l'efficacité énergétique dans les bâtiments. Les services qualifient les effets de neutre alors que les perdants semblent être le commerce (-18) et plus encore les industries (-30).

À côté des répercussions de l'Energiewende, il convient de ne pas perdre de vue les évolutions sur les marchés énergétiques mondiaux avec notamment la baisse des prix aux E-U (augmentation de production de gaz de schiste et de pétrole). Ces deux effets conjoints ont incité bon nombre d'entreprises industrielles à considérer le transfert de capacité de production à l'étranger. En 2014, 24% des entreprises ont planifié, en cours ou réalisé un tel transfert. Pour les entreprises industrielles avec plus de 500 employés ou ayant une part de plus de 14% d'électricité dans leurs coûts de production, ce pourcentage dépasse les 35%.

Il existe aussi de grandes différences entre entreprises de tailles différentes en ce qui concerne la compétitivité. Alors que des petites entreprises (0-19 employée) voyaient leur compétitivité augmenté depuis 2012 et atteignent un niveau de 5, des entreprises de plus grande taille sont d'avis qu'elles sont moins compétitives et se retrouvent à un niveau aux environs de -20. La perte de compétitivité est surtout perçue par des entreprises avec plus de 1000 employés (niveau -5 en 2012, niveau -22 en 2014). Ces entreprises sont surtout déçues du fait que des opportunités attendues de l'*Energiewende* ne se sont pas réalisées. En plus, pour l'ensemble des entreprises de plus grande

⁵ 2193 réponses dont 42% d'industriels, 4% de la construction, 16% du commerce, 38% des services. La répartition géographique était la suivante : 15% du nord, 36% de l'ouest, 17% de l'est et 32% du sud.

taille, les auteurs mettent en avant que ces entreprises ont déjà utilisé en grande partie le potentiel d'augmentation de l'efficacité énergétique, de consommation propre ou encore des contrats de livraison à long terme. En plus, ces entreprises sont aussi souvent confrontées à une baisse du développement de nouvelles activités ou branches commerciales.

En général, les entreprises voient encore un potentiel d'efficacité énergétique et comptent l'exploiter dans les années à venir. Cependant, l'avis concernant la consommation propre est moins positif que les années précédentes ce qui est probablement dû aux changements de loi réduisant les exonérations. Une préoccupation toujours présente est celle de la sécurité d'approvisionnement avec une augmentation des interruptions de moins de 3 minutes. En ce qui concerne l'augmentation des coûts, de plus en plus d'entreprises les font passer aux consommateurs.

En revanche, pour de plus en plus d'entreprises, il est important de consommer de l'électricité de SER. En effet, 19% des entreprises le font déjà et le même pourcentage d'entreprises compte le faire dans le futur. Une des revendications des entreprises est pourtant de baisser les impôts et redevances qui font partie du prix de l'électricité (64% des entreprises).

En guise de conclusion, on constate que la charge de l'*Energiewende* pèse de plus en plus sur les entreprises et leur potentiel de diminuer leur consommation ou de chercher des alternatives comme la consommation propre semble presque exploité au maximum. Cependant, les entreprises apprécient toujours le passage vers les SER mais estiment que les pouvoirs publics devraient plus agir en faveur des entreprises avec des baisses des impôts et redevances ainsi que le développement du réseau et la sécurité d'approvisionnement. Enfin, les effets identifiés varient considérablement entre entreprises de différentes tailles.

B. Les bénéfices promis de l'Energiewende

Un objectif sous-jacent de l'Energiewende était le développement de l'industrie des renouvelables qui devait agir comme moteur à l'innovation et à la création d'emploi (BMU, 2006). Des emplois seraient créés aussi bien dans la production d'installations renouvelables qu'à d'autres niveaux de la chaîne de valeur, à savoir la maintenance, l'entretien, la recherche et le développement. En même temps, ces développements ont des répercussions sur le secteur des énergies conventionnelles ainsi que sur l'emploi en général en Allemagne. Une autre prétention du gouvernement est de faire bénéficier l'Energiewende à l'entièreté de la population en promouvant l'efficacité énergétique et l'investissement dans des installations à base de SER.

1. Le développement du secteur des renouvelables

La création d'emploi est fortement dépendante du développement du secteur des renouvelables et de sa position sur le marché allemand et mondial. Nous nous concentrons donc d'abord sur le secteur des renouvelables pour après estimer les effets sur l'emploi dans ce secteur et l'impact sur d'autres industries.

a. Le développement de l'industrie des SER

La position de l'industrie des renouvelables est en grande partie dépendante de l'évolution du marché allemand puisqu'il constitue le premier marché desservi et l'avantage compétitif par rapport à d'autres pays, comme la Chine, est contestable. Selon O'Sullivan *et al.* (2014), l'accès, la présence,

et le succès sur les marchés internationaux est plus facile à atteindre si l'industrie est capable de se développer dans son marché domestique (O'Sullivan *et al,.* 2014).

Les investissements en SER avaient considérablement augmenté entre 2006 et 2010 en passant de 9,4 à 23,4 Mrd. d'€, surtout poussés par le déploiement du solaire (BDEW, 2015). À partir de 2010, les investissements ont été en baisse pour atteindre 13 Mrd € en 2013 (BDEW, 2015). Toutefois, cette baisse est en partie due au fait que le coût des technologies est moindre, notamment pour le vent (O'Sullivan et al,. 2014). Le solaire en revanche s'est replié pour atteindre des niveaux de 2006 et ce surtout suite à une baisse des quantités achetées (BDEW 2015). En ce qui concerne la biomasse, le nombre de nouvelles installations a aussi diminué (O'Sullivan et al,. 2014).

À la suite de cette évolution des investissements dans les SER et de plusieurs faillites⁶ de producteurs de panneaux photovoltaïques, on peut sérieusement douter de la compétitivité de cette industrie en Allemagne. De plus, la majorité des panneaux solaires utilisés en Allemagne a été importée de Chine. Déjà un rapport du BMU de 2006 reconnaît qu'une partie substantielle des installations photovoltaïques provient d'importations. En effet, les importations étaient de 1,44 Mrd. € alors que les exportations n'étaient que de 0,2 Mrd. € (BMU, 2006). Les producteurs allemands de panneaux solaires faisaient déjà en 2007 face à une compétition accrue par des produits moins chers depuis l'Asie (Frondel *et al.*, 2010). Nous allons par la suite nous concentrer sur la situation du secteur photovoltaïque et des éoliennes.

Pegels et Lütkenhorst ont analysé en 2014 la compétitivité du solaire et des technologies du vent au niveau mondial en utilisant deux indicateurs : parts de marché pour la compétitivité et parts dans les applications de brevets pour l'innovation (Pegels et Lütkenhorst, 2014).

En ce qui concerne les parts de marché, les auteurs constatent qu'il y a une croissance des convertisseurs d'énergie éolienne. La part de marché des exportations est passée de 10% en 2004 à 50% en 2012. L'Allemagne a donc réussi à construire un marché fortement compétitif dans le domaine des technologies éoliennes. Cette évolution est aussi couplée à une forte augmentation du marché domestique stimulée par les FIT. Il convient également de relever la position particulièrement compétitive des éoliennes offshore et des éoliennes onshore de plus de 5MW. L'Allemagne a réussi à bénéficier d'un réseau dense d'entreprises hautement spécialisées avec 300 partenaires dans les régions de Saxonne, Schleswig-Holstein, Brème et Hambourg.

En revanche, le secteur du solaire est bien moins compétitif au niveau mondial et est significativement façonné par les décisions politiques et les scénarios d'échanges. Ces derniers sont sujets à des interventions gouvernementales, dont témoigne notamment le litige commercial entre l'UE et la Chine concernant les subsides à l'export ou le dumping. Le secteur solaire est bien moins compétitif au plan international que les éoliennes. En 2012, la part de marché était retombée sous son niveau de 2005 d'un peu moins de 10%. Le maximum était atteint en 2008 avec environ 15%. Les exportations ont diminué de moitié entre 2010 et 2012 et l'Allemagne n'est pas à même de faire valoir un avantage compétitif par rapport à d'autres pays. Ce qui ressort est l'exploit de la Chine avec une part de marché passant d'environ 10% en 2005 à presque 40% en 2011. Il faut pourtant relever

-

⁶ Parmi ces faillites, il y eu celle de Q-Cells, anciennement un des plus grand producteurs de panneaux photovoltaïques au monde, qui a été racheté par une entreprise coréenne. Solarworld fait face à des difficultés croissantes et Siemens et Bosch se sont séparés de leur entreprises du solaire (Frondel, Schmidt, and Vance 2014).

que l'Allemagne a une forte position parmi les producteurs de composants spécialisés. En 2011, l'Allemagne avait une part de 50% dans le marché des équipements spécialisés pour le solaire et de 35% pour des onduleurs photovoltaïques.

En termes de parts dans les applications de brevets, on retrouve les mêmes tendances que pour la part de marché. Depuis 2006, la part d'applications pour le vent est en hausse alors que pour le solaire, la tendance est à la baisse depuis cette date. Cependant, l'Allemagne a toujours le nombre le plus élevé de brevets par habitants au niveau mondial. En gros on peut dire que l'Allemagne est plus innovatrice qu'utilisatrice dans le secteur des éoliennes et plus utilisatrice qu'innovatrice dans le secteur photovoltaïque.

Un facteur prépondérant dans la perte de compétitivité du secteur photovoltaïque et de plusieurs faillites a été une concurrence avec des panneaux à moindre prix, souvent d'origine asiatique. Les prix des panneaux solaires ont en effet chuté énormément durant les dernières années ce qui est selon Frondel et al. (2014) dû à deux effets simultanés. De un, il existait déjà en 2012 une surcapacité de panneaux faisant qu'il y avait environ 70 GW sur le marché alors que la demande n'était que de 31 GW (Frondel, Schmidt, et Vance 2014). De deux, la concurrence internationale intensive, surtout de la part de l'Asie et particulièrement de la Chine, provoquait une baisse des prix (Frondel, Schmidt, et Vance 2014). Ainsi, entre 2009 et 2010, la baisse des prix de panneaux solaires était conséquente avec plus de 26% entre 2008 et 2009 et plus de 69% entre 2008 et 2013 (annexe 4). Les réductions successives des FIT de la part des pouvoirs publics n'étaient pas capables de suivre l'évolution du prix des panneaux ce qui induisait une expansion énorme du solaire. De plus, les pouvoirs publics étaient constamment sous la pression voir l'influence d'un lobby solaire très organisé (Amann 2011). On peut donc se demander si le retard d'ajustement des FIT n'aurait pas servi de moteur pour un développement rapide du solaire qui pourrait aller à l'encontre d'une tendance de décroissance de cette filière en Allemagne. Enfin, une question qui devrait être posée est si un gouvernement peut être à même de suivre le marché et ajuster les FIT avec la présence d'asymétries d'information.

L'exemple de la filière photovoltaïque montre à quel point une surallocation de subsides a été mise en œuvre afin de développer une nouvelle branche économique et à quel point cette promotion a engendré d'énormes coûts pour les consommateurs. Certains auteurs mettent en avant que cette promotion repose en grande partie sur des objectifs d'une politique industrielle donnée et d'un lobbysme solaire (Frondel, Schmidt, et Vance 2014).

Bien que le développement rapide du solaire ait causé d'énormes coûts pour les consommateurs d'électricité à court et long terme, la filière du photovoltaïque est pourtant considérée comme une possibilité de relancer une activité économique dans des régions souffrant d'un déclin d'activités industrielles (Michaelowa 2004). En Allemagne, ceci est notamment le cas pour certaines régions dans l'est dans lesquelles plusieurs grands parcs solaires ont été monté pendant les dernières années (Frondel, Schmidt, et Vance 2014). En plus, le solaire est supporté par une très grande majorité en Allemagne comme étant essentiel pour l'approvisionnement d'électricité dans le futur, à savoir 91% en 2012 (Frondel, Schmidt, et Vance 2014).

La promotion du développement de ces industries semble ne pas avoir tenu compte des signaux de prix, de la compétition et des principes de marchés (Frondel *et al.*, 2014). Des subsides importants pour certaines technologies, comme le solaire, divergent l'investissement des consommateurs privés et industriels vers d'autres alternatives qui seraient économiquement plus efficaces et bénéfiques.

Selon Frondel *et al.* (2014), il serait préférable d'investir en recherche et développement lorsque les technologies ne sont pas encore matures au lieu de les promouvoir par un déploiement excessif à travers des tarifs trop élevés. Cette approche serait plus efficace pour encourager la compétitivité de nouvelles technologies et moins coûteuse en contrebalançant aussi des sous-investissements du secteur privé.

b. Création d'emplois dans le secteur des renouvelables

En parlant de création d'emploi il convient de faire la différence entre emploi brut et emploi net. L'emploi brut prend en compte la création d'emploi dans le secteur des renouvelables alors que l'emploi net considère aussi les effets sur l'emploi dans le secteur des non-renouvelables (Bröhmer *et al.,* 2015). La littérature parle surtout de l'emploi brut et essaie de donner des estimations de l'emploi net, qui est difficile à connaître avec exactitude. Nous allons d'abord analyser l'évolution de l'emploi brut pour après nous concentrer sur l'emploi net.

Emploi brut

Dans l'ensemble, l'emploi dans le renouvelable était pour la première fois en baisse de 28400 emplois en 2013 et ce surtout à cause de la filière solaire. En effet, les investissements en panneaux photovoltaïques ont diminué d'un facteur deux en Allemagne en parallèle avec un légère baisse pour l'investissement en installation de biomasse et en thermie solaire (O'Sullivan et al., 2014). Les pertes d'emploi liées aux faillites d'entreprises photovoltaïques mentionnées précédemment ont surtout eu lieu dans l'est du pays où le taux de chômage est déjà relativement élevé (Frondel, Schmidt, et Vance, 2014). Les pertes de ce secteur s'élèvent à 44300 emplois entre 2012 et 2013 alors que c'était la filière avec le plus fort développement durant les 10 années précédentes. Le développement dans la filière du vent a encore été positif entre 2012 et 2013. Dans l'ensemble, on constate que le solaire, la biomasse et la filière du vent occupent la grande majorité des employés.

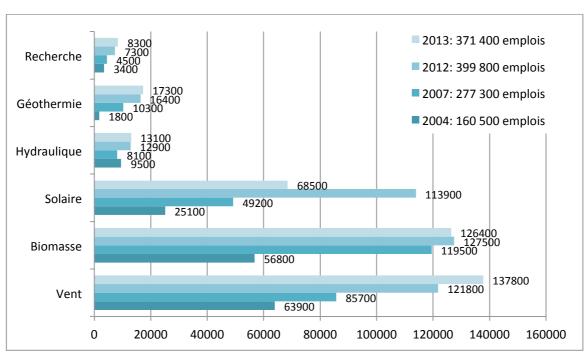


Figure 17: Emploi secteur renouvelable

Source: (O'Sullivan et al., 2014)

En ne prenant pas en compte l'emploi dans la recherche (8300 emplois en 2013), on peut diviser l'emploi dans le secteur des énergies renouvelables, qui est de 363100 emplois, selon leur niveau dans la chaine de valeur. Ainsi, l'emploi brut était de 230800 dans la production d'installations (64%), la maintenance et la gestion emploient 63500 (17%) personnes et l'emploi dans la fourniture de combustibles renouvelables pour la biomasse est de 68800 (19%) en 2013. En ce qui concerne la fabrication d'installations, l'emploi brut a baissé de 13% entre 2012 et 2013. De cette baisse, 56% sont attribuables à l'expansion domestique et les 44% restants à l'export d'installations et composants.

L'emploi brut présenté dans la figure 17 prend en compte les installations à des fins de production d'électricité ainsi que la production de chaleur et la production de combustibles renouvelables. Presque trois quart (74%) des emplois, ce qui équivaut à 267400 employés, sont attribuables à la partie électricité.

L'effet suscité par le développement de cette industrie a été reconnu par un certain nombre d'auteurs et induirait un effet positif sur l'emploi mais qui déclinerait au cours du temps (Hillebrand et al. 2006; Lutz, Lindenberger, et Kemmler 2014). Les emplois créés par la transition énergétique sont jusqu'à présent hautement dépendants des orientations politiques. En effet, le système des FIT ne stimule pas suffisamment l'innovation et les avancées technologiques, qui seraient nécessaires pour s'imposer sur le libre marché. Ainsi, la survie des entreprises est encore liée aux décisions politiques concernant la promotion des renouvelables.

Emploi net

À l'heure actuelle, le secteur des énergies non renouvelables emploie un nombre conséquent de personnes, d'où l'importance de connaître l'effet de l'*Energiewende*. En l'occurrence, en 2011, 26% de l'emploi dans le secteur énergétique était attribuable aux énergies non renouvelables et 55% aux entreprises mixtes (actives dans le renouvelable et non-renouvelable), ce qui correspond à 140000 et 293000 emplois respectivement (Bröhmer *et al.*, 2015).

Selon une étude commandée par le BMU en 2006, l'effet net sur l'emploi devrait être positif avec la création de 56 000 emplois jusqu'en 2020 sous réserve que l'effet positif sur l'emploi dépend crucialement du commerce extérieur de technologies de sources d'énergies renouvelables (BMU, 2006). Cependant, la situation actuelle du secteur photovoltaïque contredit cette affirmation et ce chiffre doit certainement être rabaissé. Selon Frondel et al. (2010), deux tendances simultanées font qu'il devrait y avoir un grand doute quant à une croissance nette de l'emploi. De un, par l'augmentation du prix de l'électricité, les ménages voient leur pouvoir d'achat diminuer. Dans le même sens, BMU (2006) estime que le fait que le pouvoir d'achat et que le capital à des fin d'investissement des ménages privés et consommateurs industriels est en baisse à la suite des coûts croissant à cause du solaire, a comme conséquence des effets négatifs sur l'emploi dans des secteurs autres que ceux du solaire (BMU, 2006). De deux, les investissements des industries devraient aussi diminuer. Ces deux tendances auraient par conséquent un effet négatif sur l'emploi dans d'autres secteurs (Frondel et al. 2010). Le doute persiste donc si l'Energiewende génère un effet net positif sur l'emploi. Enfin, les emplois créés sont en général occupés par des personnes qui étaient employées auparavant et qui sont en général moyennement ou hautement qualifiées. Il y a donc plutôt un effet de substitution qui a lieu (Michaels et Murphy, 2009). Ainsi, l'effet net est nul dans beaucoup de cas.

En ce qui concerne l'effet sur le secteur des énergies non-renouvelables, un impact immédiat de l'Energiewende est des pertes d'emplois dans le secteur des énergies conventionnelles en résultat à un effet d'éviction (Frondel et al. 2010). Les prix de marché de l'électricité ont diminué avec l'introduction massive des SER, à travers le merit order effect. Ceci a notamment comme effet que les profits des producteurs d'électricité non-renouvelables ont baissé significativement. Ceci est surtout le cas pour les 4 grand producteurs allemands Vattenfall, E.ON, EnBW et RWE (Frondel et al., 2010). Slomka et al. (2013) estiment qu'environ un tiers des producteurs conventionnels sont déficitaires comme le prix de marché de l'électricité est en baisse (Slomka, Auer, et Karnick, 2013). La surcapacité des installations conventionnelles, également appelée marge de réserve, devrait augmenter à 20% jusqu'en 2016, ce qui est à la base réconfortant dans le contexte de la sécurité d'approvisionnement. En revanche, la consommation a diminué de 10% à cause de la crise et ne va probablement pas augmenter sensiblement à cause des efforts d'efficacité énergétique. Cette surcapacité va donc aussi encore peser dans le futur sur les profits des centrales non-renouvelables.

Le BMWi a commissionné certains bureau d'études dans le but d'évaluer l'emploi net lié à l'*Energiewende* (tableau 9). On constate que la première étude estime un effet plus positif que la deuxième. Ceci est dû au fait que la première étude considère que l'*Energiewende* commence en 1995 et ne prend en compte que le secteur des renouvelables (que les emplois additionels dans ce secteur) alors que la deuxième commence ses calculs en 2010 et prend en compte tous les secteurs énergétiques.

Tableau 9: Emploi net selon deux études

	2015	2020	2050
« Beschäftigung durch erneuerbare Energien in Deutschland : Ausbau und Betrieb, heute und morgen » (2015)	50 000	73 000	232 000
« Gesamtwirtschaftliche Effekte der Energiewende » (2014)	10 000	22 000	

Source: (Lutz, Lindenberger, et Kemmler, 2014; Lehr et al., 2015)

Un autre aspect de l'emploi net est l'effet du prix d'électricité sur d'autres secteurs que celui de l'électricité. Cox et al. argumentent que ce domaine est peu connu et que l'impact pourrait être non négligeable comme l'électricité est un facteur important de production du secteur manufacturier en particulier, surtout en tenant compte des prix moins élevés dans d'autres pays industrialisés (Cox et al, 2014). L'envergure de l'effet que le prix a sur l'emploi dépend évidemment aussi de la relation de ces deux éléments dans la production. Les auteurs analysent dès lors l'élasticité croisée entre le prix de l'électricité et l'emploi, c'est-à-dire comment la demande d'emploi varie lorsque le prix de l'électricité change à la marge, dans le secteur manufacturier entre 2003 et 2007, tout en faisant une distinction selon la qualification des employés. Le choix du secteur manufacturier se base sur le fait que ce dernier consomme une part significative de l'électricité, à savoir 44,2% en 2012 (Cox et al, 2014). Les résultats montrent une faible substitution entre l'électricité et le facteur travail lorsque le niveau de production est maintenu constant. Dans le cas ou le niveau de production varie, les auteurs constatent que des prix croissants de l'électricité résultent dans un effet négatif sur l'emploi dans le secteur manufacturier. Cet effet est plus prononcé pour les employés hautement et faiblement qualifiés et proche de zéro pour les employés moyennement qualifiés.

Ces résultats ont des conséquences à ne pas négliger au niveau politique face à un trade-off entre environnement et taux d'emploi. Cox et al. argumentent notamment que le succès politique est

fortement lié au taux d'emploi surtout dans des conditions de faible croissance. L'agenda politique peut ainsi jouer un rôle prépondérant dans les choix pris par les pouvoirs publics.

2. Existe-il des bénéfices pour les consommateurs ?

Les débats sur l'Energiewende se tournent en général autour de la question des coûts et leur répartition parmi les consommateurs. Cependant, l'Energiewende est aussi une opportunité des consommateurs afin d'en tirer des bénéfices. Nous allons analyser à ce propos deux possibilités. De un, les consommateurs peuvent diminuer leur consommation en énergie en prenant des mesures d'efficacité énergétique. De deux, les consommateurs peuvent investir dans des installations de SER, soit en achetant leur propre installation pour en consommer l'électricité produite, soit en investissant sous forme de coopératives. Cependant, tous les consommateurs n'ont pas les moyens de faire ces investissements et se créent alors des inégalités sociales. La dernière section de cette partie analysera cette problématique.

a. La consommation propre d'électricité – ménages et industries

Une autre façon d'échapper aux redevances qui sont en grande partie responsables de l'augmentation des prix, est de produire sa propre électricité ou bien de profiter de la chaleur dégagée lors de processus industriels et de la transformer en électricité.

En parallèle à la discussion sur la répartition des coûts parmi l'ensemble des consommateurs, s'est aussi créé la discussion autour de la consommation propre d'électricité qui génère aussi une répartition des coûts. Ainsi, les consommateurs qui consomment de l'électricité de leur propre production sont complètement exempts de la surcharge EEG, peu importe le type de consommateur (ménage privé, industrie, commerce,...) (BDEW, 2014a). Cette alternative devient d'autant plus intéressante avec des prix d'électricité croissants⁷. De plus, l'incertitude face à la sécurité d'approvisionnement des entreprises industrielles favorise d'avantage la consommation propre d'électricité (IW EWI, 2014). Ces producteurs d'électricité sont en général aussi exempts d'autres charges comme les tarifs de réseaux.

Le développement de cette filière se fera probablement surtout auprès d'entreprises qui ne peuvent pas bénéficier d'exonérations et des ménages privés. Les ménages peuvent faire des économies jusqu'à 20 cent/kWh (prix est de 29,14 ct/kWh en 2014) et même des entreprises qui sont déjà partiellement exemptes de charges peuvent faire des économies allant jusqu'à 10 cent/kWh (prix de 15,32 ct/kWh en 2014) (BDEW, 2014a).

Une étude du IW et EWI se basant sur des données de 2012 a estimé la consommation propre d'électricité dans l'économie allemande et constate que cette forme de consommation a augmenté continuellement durant les dernières années. Elle passait de 44,9 TWh en 2008 à 56,7 TWh en 2012 (IW EWI 2014). Ainsi, les auteurs remarquent que la majorité de la consommation propre se fait dans le secteur industriel avec une part entre 46 et 77% en 2012⁸. Comme attendu, ce sont surtout les industries électro intensives qui ont en place des installations pour leur consommation propre. Ainsi

.

⁷ En l'occurrence, les consommateurs propres d'une installation solaire bénéficient d'exemptions de la surcharge EEG, des tarifs de réseaux, de la charge force-chaleur, du risque pour offshore, de la redevance pour concession, de l'impôt sur électricité et la TVA (IW EWI 2014).

⁸ Les données étant insuffisantes à certains niveaux, les auteurs ont fourni des gammes en ce qui concerne la part des différents secteurs dans la consommation propre.

sont prédominants le secteur chimique, celui du papier, le secteur métallique et le secteur des cokeries et du raffinage.

Les ménages privés comptent pour 1,3% de la consommation propre en 2012 (IW EWI, 2014). En comparant la consommation propre avec la consommation nette des ménages de 137TWh en 2012, on n'obtient qu'une part de 0,5% de consommation propre pour les ménages privés, qui consomment donc presque toute leur électricité depuis le réseau publique (IW EWI, 2014). Ainsi, il existe encore un grand potentiel pour la consommation propre d'électricité dans tous les secteurs mais ceci entraîne des distorsions et des inégalités au niveau de la répartition des coûts de l'Energiewende.

En effet, l'électricité consommée par les producteurs est exempte de la surcharge EEG et, selon les cas, également d'un certain nombre d'autres redevances et impôts. IW et EWI estiment que la somme dont les consommateurs propres sont exempts serait entre 2,2 et 4,2 Mrd. € en 2012 (IW EWI 2014). Cette somme doit être déboursée par les consommateurs non exempts. Les auteurs constatent que si les consommateurs propres ne bénéficient pas d'exemptions, la surcharge EEG diminuerait de 0,6 à 1,1 ct/kWh ce qui correspond à 20 à 39 € en moins à payer par an par un ménage de 3 personnes consommant 3500kWh/an. Suivant cette idée, Jägermann avance que la consommation propre d'électricité issue d'installations photovoltaïques n'est pas efficiace au niveau de la collectivité. L'auteur avance que les ménages savent effectivement épargner 10 à 18% de leurs coûts en électricité jusqu'en 2050 avec une part de 38 à 57% de consommation propre parmi leur consommation totale. Ceci reviendrait à des épargnes d'environ 47 Mrd. € jusqu'en 2050. Cependant, le coût pour la collectivité de 35 Mrd. € à payer par des consommateurs non privilégiés, 77 Mrd. € de pertes pour le secteur public et 69 Mrd. € pour les opérateurs de réseau (Jägemann, Hagspiel, et Lindenberger, 2013).

D'un autre côté, IW et EWI analysent l'effet qu'aurait la proposition du BMWi de 2014 d'établir une charge de 0,96 ct/kWh pour les consommateurs propres. Ils concluent que l'effet pour l'industrie serait désastreux avec des charges supplémentaires entre 250,6 et 420,5 millions d'€ alors que les bénéfices pour les ménages ne seraient pas énormes, en l'occurrence une diminution de 0,1 à 0,2 ct/kWh de la surcharge EEG correspondant à 3-7 € en moins par année pour un ménage de 3 personnes.

Pourtant, des changements de la loi au sujet des exemptions pour la consommation propre, tels que proposé par de BMWi, peuvent déstabiliser les consommateurs et mettent à risque la rentabilité d'entreprises qui sont déjà des consommateurs propres. En plus, ce risque peut être important dans des décisions d'emplacement pour les entreprises. Si ces dernières ne peuvent pas être certaines de leurs investissements dans une installation à une fin de consommation propre, leur choix d'emplacement ne sera peut-être plus l'Allemagne.

Finalement, IW et EWI ont fait le point sur la situation dans laquelle le potentiel de consommation propre serait exploité au maximum. En considérant que les consommateurs propres sont complètement exempts de la surcharge EEG, les ménages privés auront l'impact le plus important avec une surcharge qui monterait à 8,63 ct/kWh. Pour les autres secteurs, notamment l'industrie, l'impact sera moindre et la surcharge monterait à 6,38-6,70 ct/kWh en 2012 (surcharge EEG était de 3,593 ct/kWh).

b. Efficacité énergétique

La consommation d'électricité est fortement liée aux équipements électriques et notamment leur classe énergétique. Des investissements dans l'efficience énergétique peuvent donc être bénéfiques et réduire la facture d'électricité sensiblement. Ces investissements peuvent se faire au niveau de l'électro-ménager, des technologies de l'information, de la communication et de divertissement, l'éclairage ou encore au niveau du chauffage et de la pompe à chaleur. En l'occurrence, au niveau des congélateurs, des économies de 70% sont possibles en remplaçant un appareil datant de 2000 avec un appareil actuel de classe A+++ et générerait des bénéfices à hauteur de 315€ sur 15 ans (BDEW, 2014b). Le même raisonnement est possible pour le passage d'ampoules à incandescence vers des ampoules à basse consommation pour lequelles des bénéfices de 129€ sont atteintes pour une durée de 10 000 h de puissance. Pour des pompes à chaleur, les économies peuvent atteindre jusqu'à 200€ par année (BDEW, 2014b).

Dans le domaine de l'efficience énergétique, davantage d'économies d'électricité peuvent être faites. En effet, à l'heure actuelle, 41% des ménages disposent d'équipements électro-ménagers âgés de plus de 10 ans et 17% ont plus de 14 ans.

Afin d'avancer en matières d'efficience énergétique, il faut prendre en compte le fait que des investissements initiaux importants sont nécessaires. L'achat d'un nouveau congélateur qui coûte environ 900€ peut constituer un poids lourd pour un ménage ne disposant que du salaire brut minimum. Cette inégalité potentielle sera illustrée plus en détail à la fin de cette section.

c. Investir dans des coopératives énergétiques

Les coopératives sont un moyen pour des ménages privés mais aussi des entreprises de participer à l'investissement dans des installations de SER et de récolter des dividendes à long terme. La DGRV, une association pour coopératives, a relevé à l'aide d'un sondage la situation des coopératives actives dans le domaine de la production d'énergie en 2014 (DGRV, 2015).

En 2014, la DGRV comptait 772 coopératives, un montant qui reflète une forte croissance. En 2008, il n'y en avait que 67. Les années avec le plus de créations de coopératives étaient de 2009 à 2013, avec un maximum étant atteint en 2011 avec 167 nouvelles coopératives en énergie. Les membres des coopératives sont des personnes privées à hauteur de 92%, le restant est composé d'entreprises et banques, d'agriculteurs et de communes ou autres institutions publiques.

La moyenne de la contribution minimale est de 642€ en 2014. Environ 24% des contributions minimales sont en dessous de 100€ et 30% se trouvent entre 300 et 500 €. Le payement de dividende équivaut en moyenne à 3,59% de l'investissement en 2014 (l'année précédente : 4,26%).

On constate qu'il est possible pour des ménages à revenu bas d'investir dans des coopératives à concurrence d'un faible montant en dessous de 100€. En plus, la moyenne des dividendes est attrayante dans le sens où les taux d'épargne sont très faibles. Enfin, les coopératives investissent surtout dans des technologies matures présentant un faible risque telles que le solaire ou les éoliennes.

d. Inégalités entre consommateurs et selon le revenu disponible

La répartition sociale qu'il faut prendre en compte afin d'évaluer l'*Energiewende* est celle qui considère d'un côté les payements qu'ont à faire les consommateurs et de l'autre côté les recettes que font les opérateurs d'installation de SER. Nous avons déjà évoqué les charges et bénéfices potentiels et réels de cette transition et nous tenterons dans cette section de faire un bilan de ces deux éléments et le point sur les inégalités liées à la consommation propre et l'efficacité énergétique.

Bardt et Niehues ont fait l'analyse pour le photovoltaïque. Les auteurs constatent qu'il n'y a presque pas de propriétaires de panneaux photovoltaïques parmi les ménages à faible revenu. Par contre, chaque 5^e ménage avec panneaux⁹ appartient au 10^e décile de la population. La rémunération de ces installations est financée par la charge EEG. Ainsi, Bardt *et al.* (2013) estiment que 45% de la rémunération totale des producteurs d'électricité (FIT moins le prix de marché d'électricité) sur base du solaire est attribuée à des ménages, correspondant en 2011 à 3 Mrd. € (Bardt et Niehues, 2013). Selon la répartition des ménages producteurs, cette somme revient aux ménages avec des revenus élevés (annexe 5). Ainsi, pour les ménages du 1^{er} et 2^e décile, le solde est négatif et ceux qui ont le plus de bénéfices sont les déciles supérieurs avec un solde positif. En prenant le total, on constate que les ménages ont plus de recettes à travers des installations photovoltaïques que de coûts à porter, ce qui est dû au fait que la part des installations privées est plus élevée que la part dans le financement de la charge EEG par les ménages privés.

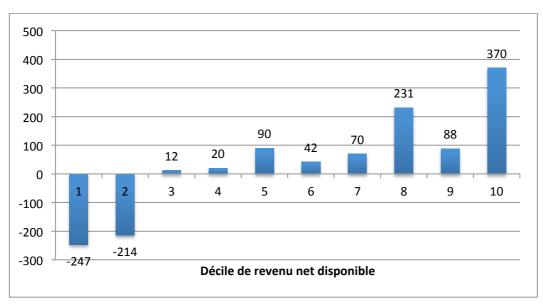


Figure 18: Solde entre charge EEG et rémunération FIT (millions d'€)

Source: (Bardt et Niehues, 2013)

Afin d'agir contre la pauvreté énergétique et en général l'impact du prix d'électricité sur les ménages à faible revenu, nous avons avancé l'efficacité énergétique comme un moyen de remédier au problème. Cependant, les ménages se différencient non seulement selon des facteurs ajustables comme la quantité consommée mais aussi par des facteurs structurels qui sont difficilement influençables comme le type de chauffage dans des habitations à location (Tews, 2014). Dans ce cas

-

⁹ Installations allant jusqu'à 30 kW

le potentiel d'efficacité réside plus dans le type d'installation qu'il est coûteux de changer et qui devrait l'être par le propriétaire. Même l'échange d'un réfrigérateur peut constituer un élément structurel dans le sens où des ménages souffrant de pauvreté ne savent pas en acheter un plus efficace. Ceci peut résulter dans une pauvreté énergétique. Le manque d'efficacité est ainsi la cause structurelle principale de la pauvreté énergétique (Tews, 2014). De plus, il y a un chevauchement entre les besoins de remise en état de logements et les ménages à faible revenu (Tews, 2014). Ainsi, une politique de promotion de l'efficacité énergétique devrait être ciblée sur les ménages à faible revenu afin de réduire les barrières qui existent pour épuiser les économies potentielles de consommation. Ceci serait plus efficace que des aides financières qui ne redresseraient que le problème de la pauvreté en général.

Selon TPEC, le bilan social sera d'autant meilleur si les investissements proviennent de groupes vastes et variés afin de soutenir l'inclusion des consommateurs dans ce projet. L'*Energiewende* doit être vu comme un projet collectif et non pas comme une directive imposée par les pouvoirs publics (TPEC, 2014). Cet aspect est essentiel, combiné avec une répartition sociale équitable des charges et bénéfices, pour son succès et l'acceptabilité par le grand public (TPEC, 2014).

C. Conclusion

Un impact tranchant de l'Energiewende pour tout consommateur a été l'augmentation des prix de l'électricité depuis l'introduction de l'EEG en 2000. Le moteur de cette augmentation durant les dernières années fut les redevances fixées par loi, avec en premier lieu le développement de la charge EEG. La charge EEG est liée intimement au mix énergétique et, avec un déploiement excessif depuis 2009 du photovoltaïque, technologie recevant les FIT les plus élevés, cette charge a augmenté significativement. Cependant, il convient de nuancer et de mettre cette charge en relation avec les subsides pour énergies non-renouvelables qui atteignent un niveau de promotion qui surpasse celui des renouvelables.

À cause d'un effet dégressif de la répartition des coûts d'électricité selon les niveaux de revenu net disponible, les ménages les plus pauvres sont en premier touchés par cette augmentation du prix de l'électricité et le risque de pauvreté énergétique est plus prononcé depuis 2012. En ce qui concerne les entreprises électro intensives, on remarque qu'elles ont fait des pertes liées au prix de l'électricité à hauteur de 52 Mrd. € entre 2008 et 2013 ce qui a aussi un effet sur d'autres niveaux de la chaine de valeur.

Afin d'agir contre ces impacts, les consommateurs peuvent consommer leur propre électricité et ainsi diminuer sensiblement leur facture d'électricité. Cette approche a pourtant des effets de redistribution au détriment de ménages et surtout de ceux disposant d'un revenu faible. De plus, les avantages de l'efficacité énergétique ne sont pas abordables pour tout le monde et le potentiel semble déjà épuisé en grande partie au niveau des entreprises. Une alternative à ces approches est la coopérative énergétique qui s'est développée à grande échelle durant la dernière décennie et qui apporte des bénéfices aux investisseurs sous formes de dividendes sans pour autant augmenter les charges pour des consommateurs d'électricité qui ne peuvent pas profiter de cette alternative.

Enfin, considérant le développement de l'industrie des renouvelables, on remarque que la promotion excessive du solaire n'a pas eu l'effet souhaité, comme des faillites récentes et une perte de compétitivité en témoignent. Ainsi, l'emploi dans cette filière a également diminué presque de

moitié. Par conséquent, la littérature estime que ce serait plus bénéfique d'investir dans la recherche et le développement des technologies peu matures au lieu de promouvoir leur déploiement à un coût élevé. En ce qui concerne d'autres filières des renouvelables, on constate que l'emploi brut reste stable voire augmente et que la position sur les marché mondiaux est solide. L'estimation de l'emploi n'est pas aussi claire avec des résultats quantitatifs qui mettent en avant des chiffres positifs alors que une partie substantielle de la littérature exprime son doute sur un effet net positif sur l'emploi.

Chapitre IV: Leçons à tirer de l'exemple allemand et enseignements pour la Belgique

Dans ce dernier chapitre, nous allons tirer les leçons de l'analyse de l'Energiewende allemande et voir à quel point nous pouvons en tirer des enseignements pour la Belgique. Cette partie ne fera dès lors pas une analyse exhaustive de la situation belge mais met en relation les leçons de la transition allemande avec ce qui se fait en Belgique. La première section donne quelques données clés de la Belgique au niveau des énergies renouvelables et les sections suivantes vont se pencher sur les leçons.

A. Données clés des énergies renouvelables en Belgique

La part de l'électricité dans la consommation totale d'énergie était de 16,7% en 2013 (sur un total de 41,7 Mtep). L'électricité totale produite était de 83,5 TWh dont les SER ont produit 12,9 TWh en 2013, ce qui correspond à 15,5%. Le nucléaire est toujours la source prépondérante dans le mix électrique, avec une part de 51,1% suivi du gaz naturel à hauteur de 25,1%. En ce qui concerne les SER, la plus grande partie est attribuable aux combustibles renouvelables suivi du vent et du solaire.

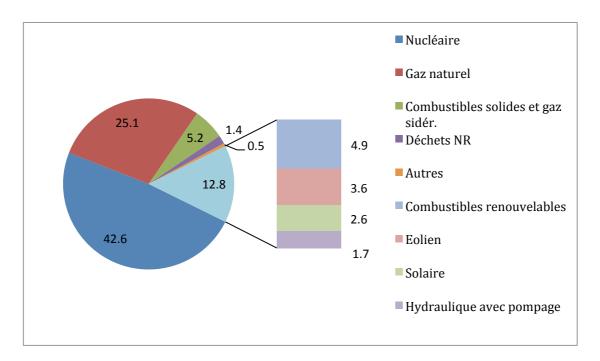


Figure 19: Production brute d'électricité en 2013 en TWh

Source : (Observatoire de l'énergie 2015) ; Autres = produits pétroliers, vapeur de récupération

En ce qui concerne l'évolution des sources d'électricité, on constate que le nucléaire diminue légèrement et tourne maintenant autour des 40 TWh alors qu'en 2005, il produisait encore environ 50 TWh (Observatoire de l'énergie 2015). La production à partir de SER commence à devenir significative depuis 2009/2010. La production à partir de gaz naturel a pourtant diminué durant les dernières années. Au total, on remarque une baisse de la production d'électricité qui était encore d'environ 95 TWh en 2010 (Observatoire de l'énergie, 2015).

Depuis 1992, le Belgique est un importateur net d'électricité mais en restant toujours en dessous des 13% (Gusbin, 2015). Cependant, jusqu'à aujourd'hui, les partenaires pour les importations sont assez

diversifiés ce qui réduit en quelque sorte la dépendance envers des tiers. Parmi les sources d'électricité, la Belgique doit importer des produits pétroliers et le gaz naturel, comme elle n'en dispose pas naturellement. Cependant, en prenant en compte l'énergie totale, on constate que la Belgique est hautement dépendante d'importations, en l'occurrence 74% des besoins en énergie. Cependant, les importations sont bien diversifiées (European Commission, 2014a). L'intensité énergétique totale du pays est au-dessus de la moyenne européenne et d'importants potentiels de réduction existent pour les entreprises et ménages (European Commission 2014a). Nous aborderons l'intensité électrique des entreprises dans la suite du chapitre.

Après un chute entre 2008 et 2009 causée par la crise, le prix de l'électricité a augmenté sans exception jusqu'en 2013, pour une tranche de consommation entre 2500 et 5000 kWh/an (presque 20 ct/kWh en 2010 et environ 23 ct/kWh en 2013, même niveau qu'avant la crise) (Observatoire de l'énergie, 2015). Le prix pour entreprises était légèrement en dessous de la moyenne européenne alors que celui des ménages est au dessus de la moyenne de 15%. Le prix de marché de l'électricité ne fait qu'un tiers alors que la plus grande partie est redevable aux réseaux. La TVA est aussi un facteur important.

Le principal mécanisme de promotion est un système de quota de certificats verts introduit en 2002 et appliqué dans les trois régions, qui peuvent cependant ajuster les prix minimum et les amendes. Les opérateurs sont obligés d'acheter les certificats des producteurs à un prix établi (European Commission, 2014a). Le coût de ce mécanisme est comme pour les FIT allemands transmis aux consommateurs à travers les fournisseurs d'électricité et les opérateurs de réseaux.

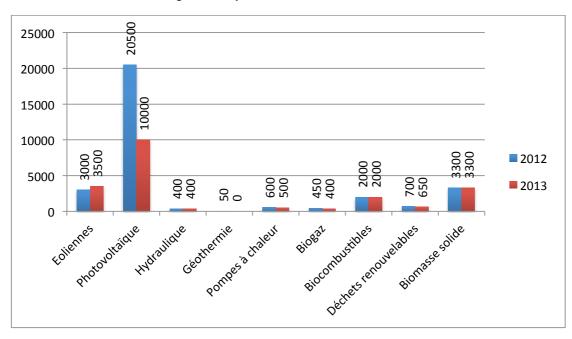


Figure 20: Emplois dans le secteur des SER en 2012 et 2013

Source: (Observ'ER, 2014)

Le marché belge de production est fortement concentré avec 75% de l'électricité produite par 2 entreprises. Au total, il y a plus que 70 producteurs d'électricité en 2013, une nette augmentation par rapport à 2010, où il n'y en avait que 4. Pour la fourniture, la situation est similaire, avec 92% de l'électricité fournie par 5 entreprises et peu de nouveaux entrants (Observatoire de l'énergie, 2015).

Comme indiqué sur la figure 20, la Belgique occupe le plus grand nombre d'employés dans la filière photovoltaïque, ce qui est aussi le secteur avec les plus grandes pertes d'emplois. Dans cette optique, la Belgique suit la même évolution que l'Allemagne. Les éoliennes et la biomasse solide sont les deuxièmes employeurs les plus importants. En 2012, un total de 31 000 personnes étaient occupées dans le secteur des énergies renouvelables alors qu'en 2013 il n'y en avait que 20 750.

B. Une politique stable pour la transition énergétique

Une politique stable et alignée en matière d'énergies renouvelables grâce à une stratégie globale long terme est un facteur essentiel pour le développement conséquent des SER. La politique allemande de l'Energiewende est en possession de ces atouts. La première loi EEG fut introduite en 2000 et a été fortement ancrée dans les prises de décision du gouvernement. Les lois successives, notamment le EEG, ont continué dans cette ligne. Le seul élément qui constituait une incertitude était l'abandon nucléaire pendant la période allant de 2010 à 2011. Cette stabilité politique est primordiale pour tout investisseur car elle constitue une certaine sécurité diminuant ainsi le risque d'un projet d'investissement dans des installations de SER. De plus, cet engagement envers un développement conséquent des renouvelables et l'abandon nucléaire permettent à un certain point aux opérateurs de réseaux de se préparer, de renforcer et de développer les réseaux d'électricité. Comme mentionné par Feix (2015), être préparé au niveau des réseau pour des quantités importantes d'électricité intermittente permet d'éviter des coûts à court terme (Feix, 2015).

Selon plusieurs auteurs, ce dévouement envers une transition énergétique n'est pas assez prononcé en Belgique, surtout en ce qui concerne la question de l'abandon nucléaire. Une stratégie commune entre les différentes entités est manquante, ce qui fait que le niveau d'investissements est insuffisant (Pescia 2015; Koninckx 2015; European Commission, 2014a). La dernière décision prise est d'abandonner le nucléaire mais de prolonger le fonctionnement des centrales au cas où la stabilité du réseau électrique et la sécurité d'approvisionnement ne seraient pas garanties. Une certaine incertitude persiste donc. Toutefois, on peut se demander si cela ne revient pas plus cher de prolonger le fonctionnement de ces centrales au lieu de développer davantage les renouvelables. En effet, l'âge de ces installations induit des risques de sécurité et ainsi des investissements seront probablement nécessaires, ce qui est notamment mis en avant par Sara Van Dyck (Bond Beter Leefmilieu) (Van Dyck, 2015). La même auteure revendique aussi un pacte national d'énergie qui serait transparent et inclurait les principaux acteurs. La Belgique ne s'est pas encore prononcée sur un mix énergétique à un horizon plus lointain tel que 2030 ou 2050 (CPDT, 2014). Enfin, le fait qu'il y a des différences entre les régions concernant le principal mécanisme de promotion entrave la visibilité et la transparence nécessaire aux investisseurs.

C. Promotion des technologies de SER

La promotion des renouvelables et particulièrement l'exemple du photovoltaïque ont montré à quel point le prix d'électricité dépend du type de technologie promu (FIT varient selon la technologie) et de sa part dans le mix énergétique. Une question essentielle est donc de savoir quelles technologies sont promues et de quelle manière. Il est primordial de promouvoir le déploiement des technologies les plus rentables voir efficaces. De plus, la subvention des technologies doit être en ligne avec les coûts réels des technologies afin de ne pas générer des charges additionnelles pour la collectivité et au profit des investisseurs. Toutefois, comme l'exemple allemand le montre, on peut se demander si un gouvernement peut être capable de ses ajustements et remplacer en quelque sorte les forces

d'un marché. Il est donc essentiel de promouvoir les SER selon leur progrès technologique en ayant un meilleur contrôle sur leur déploiement (Koninckx, 2015).

En considérant le LCOE, il s'agit à l'heure actuelle du photovoltaïque à grande échelle et du vent onshore qui peuvent concurrencer avec les énergies non-renouvelables. Selon Van Dyck, les éoliennes onshore seront en 2017 la technologie la moins chère en Belgique et en 2019, ce sera le photovoltaïque à grande échelle parmi toutes formes d'énergies. Une situation similaire à celle en Allemagne est survenue en Wallonie concernant les panneaux photovoltaïques. La région wallonne a promu le déploiement de la filière photovoltaïque en 2007 en modifiant le taux d'octroi de certificats verts pour cette technologie (de 1 CV/MWh à 7CV/MWh) ce qui a stimulé l'installation du photovoltaïque mais à un coût élevé (Boccard et Gautier, 2015). Boccard et Gautier ont estimé dans ce contexte le coût des différentes technologies pour la période 2003 à 2012. Ils constatent que le soutien aux SER était de 1,8 Mrd. €, ce qui équivaut à 107€/kWh avec de fortes différences entre technologies. En l'occurrence, les panneaux photovoltaïques produisaient en 2012 13% de l'énergie renouvelable en Wallonie mais recevait 48% des certificats verts émis. Sur la période 2003 à 2012, les auteurs avancent que le photovoltaïque a été subsidié à concurrence de 588 €/MWh alors que le subside était bien inférieur pour d'autres technologies (hydraulique 67 €/MWh, éolien 87 €/MWh, biomasse 88 €/MWh). Le destin de la filière photovoltaïque semble être similaire à celui en Allemagne en considérant les pertes d'emplois en Belgique en 2013.

Un autre élément est la rapidité du déploiement des SER. Comme l'affirmait déjà Grubler dans son analyse de transitions énergétiques antérieures, il ne faut pas vouloir avancer à un rythme trop rapide et induire un déploiement trop tôt de technologies qui ne sont pas encore prêtes (Grubler, 2012). Or, il semble qu'à certains moments c'était le cas en Allemagne. Le déploiement des SER était très rapide mais sans prendre en compte les lois du marché. Peu importe l'état de la technologie, des FIT ont été mis en place et on leur octroyait la priorité dans l'alimentation des réseaux. Les coûts de ces investissements conséquents vont encore peser pendant 20 ans dans la facture d'électricité des consommateurs. En rétrospective, ce développement peut paraître un peu irréfléchi dans le sens où les pouvoirs publics voulaient absolument voir un développement fort des renouvelables sans pour autant avoir une vision coordonnée des conséquences.

Pourtant, un niveau de promotion trop élevé n'incite pas les entreprises à l'innovation et à des avancés technologiques permettant des économies de coûts, comme l'a montré l'évolution du photovoltaïque en Allemagne. En effet, les FIT garantis pour cette technologie et leur diminution d'une année à l'autre n'a pas eu comme conséquence des innovations significatives de la part des producteurs de panneaux allemands. Ces derniers se sont fait évincés par la concurrence asiatique bon marché. Ainsi, la leçon à tirer de cet exemple est qu'il est plus bénéfique d'investir dans la recherche et le développement (Frondel *et al.* 2010). Ces coûts sont inférieurs aux charges pour la collectivité d'un déploiement important de technologies chères et immatures.

D. Développement précoce des réseaux et mix électrique

1. Mix et dépendance énergétique

L'Allemagne a un mix énergétique très diversifié sans qu'une source d'électricité ne soit prépondérante. De plus, le développement rapide des renouvelables a comme conséquence qu'il y a une surcapacité de production. Ainsi, l'Allemagne est depuis longtemps un exportateur net

d'électricité. Cette situation est aussi favorable pour une transition énergétique et un abandon du nucléaire. En effet, le développement des SER a plus que compensé la perte de capacité lié à l'arrêt de 8 centrales nucléaires en 2011. En outre, cette surcapacité peut être bénéfique du point de vue stabilité du réseau pendant des heures de pointe et en présence d'une quantité significative d'électricité intermittente. Ces caractéristiques semblent essentielles pour suivre la transition vers un mix reposant exclusivement sur les renouvelables et le gaz naturel.

La Belgique en revanche a une marge de réserve faible et afin de faire face à l'abandon nucléaire, le pays aura besoin de 7,9 GW de capacité de gaz et de 7,1 GW de capacité de SER en 2030 (Koninckx 2015). De plus, le mix énergétique n'est pas très diversifié. En 2013, la part du nucléaire dans la production d'électricité était de 51,1% et le gaz naturel de 25,1%. Les SER comptait pour 15,5%. Selon Gusbin, la Belgique ne va à terme que se baser encore sur les SER et le gaz naturel (Gusbin, 2015). Les changements dans le secteur de la production d'électricité vont pourtant induire des implications sur la dépendance électrique sur la route vers un mix SER/gaz. L'auteur argumente que la Belgique sera plus dépendante d'autres pays pour s'approvisionner en électricité dans le futur suite à l'abandon nucléaire couplé à un potentiel limité en SER. Selon Gusbin, les importations nettes vont rester à un niveau similaire jusqu'en 2020 et par après la Belgique devra importer une plus grande quantité d'électricité (24% en 2030 et 20% en 2050).

En parlant de l'abandon nucléaire et de la charge de base, émerge aussi inévitablement la question du charbon. Les lobbies en Allemagne prétendent tout que le charbon est essentiel et bon marché pour garantir la stabilité du réseau lors de l'abandon du nucléaire bien que des émissions de GES supplémentaires seront générées, ce qui est peu favorable pour la politique globale suivie. Comme on l'a vu précédemment, le charbon occupe encore une place importante dans le mix énergétique allemand. En Belgique, le besoin d'une charge de base fiable est aussi présent avec l'abandon nucléaire. Le pays possède encore des réserves de charbon mais ne les exploite pas car le coût est trop élevé. Bien que les prix du charbon aient baissé ces dernières années, la production d'électricité à partir de centrales à charbon est resté constante (European Commission, 2014a). En outre, une interdiction implicite d'investir dans des centrales à charbon existe en Belgique (Gusbin, 2015). Il semble primordial de garder cette vue à terme afin d'atteindre les objectifs en termes de réduction des émissions de GES.

2. Développement du réseau

À côté d'une marge de réserve, l'exemple allemand nous montre à quel point l'interconnexion entre les centres de consommation et de production ainsi qu'avec d'autres pays est importante. En Allemagne, des grandes distances séparent les centres de production au nord et de consommation au sud et afin de garantir la stabilité du réseau, des nouvelles traces sont construites à l'heure actuelle générant des coûts importants. Les responsables des réseaux affirment aujourd'hui qu'il est mieux de développer les réseaux au plus vite, dans le meilleur cas avant les grands changements induits par la transition, afin d'être prêt sans devoir encourir des coûts importants en dernière minute afin de garantir la stabilité. En effet, la connexion nord/sud est déjà surchargée ce qui entraîne des coûts, suite à une nouvelle répartition d'énergie et des premières réductions de la production d'électricité sur base du vent.

Avoir un réseau bien développé et connecté à l'intérieur et avec les pays limitrophes est essentiel afin de pouvoir équilibrer les quantités d'électricité en ne générant que peu de coûts. Ainsi, le besoin

en capacité de réserve et de stockage est moindre comme le réseau est à même de s'équilibrer convenablement.

3. Producteurs d'énergie conventionnelle

Avec l'essor des SER, il faut aussi veiller au destin des sources conventionnelles qui, pour l'instant, n'investissent pas assez dans leurs installations. Cette tendance peut cependant entraver la stabilité du réseau. L'exemple de l'Allemagne nous a montré que ces entreprises voient leurs profits diminuer avec des prix de marché d'électricité en baisse.

Il est dès lors important que les SER soient mieux intégrés dans le mix énergétique de façon à ce qu'ils produisent de l'électricité selon un schéma qui ne rémunère pas l'excès de génération (Koninckx, 2015). En Belgique on constate en plus qu'avec un afflux plus important de renouvelables ayant la priorité d'alimentation dans le réseau, il y a une baisse des heures de fonctionnement des centrales thermiques ce qui entrave leur rentabilité. Se pose alors la question de leur maintien en service. Ainsi, peu d'investissements sont faits dans des centrales non renouvelables et « un gel inquiétant des projets » se met en place (Observatoire de l'énergie, 2012).

E. Les ménages privés : coûts et bénéfices de la transition énergétique

Comme nous l'avons vu précédemment, les ménages sont un des plus importants consommateurs d'électricité à côté de l'industrie. L'acceptabilité de ces derniers par rapport à la transition énergétique est donc primordiale, aussi dans une optique d'agenda politique. Plusieurs facteurs sont à la base de cette acceptabilité. À premier abord, la grande majorité de la population soutient le passage vers les SER et l'abandon nucléaire. Cependant l'envergure des coûts auxquels ils font face influence fortement l'opinion, dont témoignent les débats actuels en Allemagne. Cependant, afin d'avoir une image réaliste des impacts de la transition énergétique, il faut considérer non seulement les coûts mais aussi les bénéfices potentiels. Parmi ces bénéfices, on peut citer l'efficacité énergétique, la consommation propre et les coopératives énergétiques. Néanmoins, le bilan n'est pas nécessairement en faveur de tous les types de ménages. Les ménages à faible revenu sont plus touchés que les ménages à revenu plus élevé selon un effet dégressif. Comme nous avons vu dans le cas des installations photovoltaïques chez les particuliers, les inégalités entre ménages à différents revenus est flagrant même en faisant le solde entre coûts de l'électricité et bénéfices d'une installation. Ce ne sont en effet que les ménages des déciles supérieurs qui en profitent, alors que les ménages du premier et deuxième décile supportent la charge EEG non payée par les ménages produisant leur propre électricité. En ce qui concerne l'efficacité énergétique, on perçoit aussi des inégalités entre ménages de différents niveaux de revenu. La répartition équitable des coûts et bénéfices est un élément important pour l'acceptabilité de la transition en même temps que de limiter les risques de pauvreté énergétique parmi les ménages à faible revenu.

En Belgique aussi, les prix d'électricité pour ménages ont augmenté durant les dernières années mais à un rythme inférieur que les principaux pays voisins (13,9% en moyenne), à savoir de 2,2% entre 2008 et 2014 (Bruynoghe *et al.* 2015). En fait, les prix ont fortement augmenté entre 2008 et 2011 et ont baissé par après, ce qui est surtout dû à une baisse temporaire du taux de TVA de 21% à 6% depuis avril 2014. Ce qui est surprenant c'est que la composante du tarif réseaux est très élevée, à savoir 51,8% (composante énergétique n'est que de 37,4% et les taxes, surcharge et TVA constituent le restant) (Bruynoghe *et al.*, 2015). En plus les tarifs de réseaux ont augmenté de plus de 36% depuis 2010 (Bruynoghe *et al.*, 2015).

Afin d'y remédier, les pouvoirs publics peuvent mettre en œuvre des modèles de tarification plutôt progressives ou des aides au financement. Ce qui est peut-être plus efficace est d'aider les ménages privés à participer plus aisément à la transition énergétique en mettant des initiatives en œuvre. En l'occurrence une initiative peut être de rendre l'efficacité énergétique plus abordable afin de réduire par ce biais la facture d'électricité et de limiter la pauvreté économique. En effet, cette approche semble plus efficace que d'octroyer des aides financières aux ménages qui les utiliseront plutôt pour remédier à leur pauvreté de base que d'investir l'argent dans des équipements moins électro intensifs (Tews, 2014).

Une alternative permettant aussi la participation des particuliers est la coopérative énergétique qui se réjouit d'un succès considérable en Allemagne. Cette alternative est pourtant très intéressante comme elle ne génère pas de répartition inégale comme le fait la consommation propre mais favorise l'acceptabilité de la transition et fait bénéficier les citoyens à travers des dividendes.

Cependant, cette forme de participation ne s'est pas encore déployée à grande échelle en Belgique. Bauwens met en plus en avant que « le cadre institutionnel belge est peu favorable à la participation citoyenne » (Bauwens, 2015). En effet, il s'agirait d'un modèle *top-down* et la participation des citoyens reste une exception comme les initiatives suivent la logique du premier arrivé, premier servi pour la recherche d'un emplacement pour parc ce qui a amené « une ruée des développeurs sur les sites disponibles ». Ainsi, la participation des personnes privées est limitée et particulièrement les petites coopératives qui ne sont pas capables de réagir avec la même rapidité et de mettre à disposition les mêmes ressources. Ainsi, en Wallonie, 91% des développeurs éoliens étaient des entreprises privées et seulement 4,6% des coopératives (Bauwens, 2015). Le reste étant des communes et intercommunales. En Flandre, que 4% de la capacité en éoliennes appartient aux deux principales coopératives.

L'investissement sous forme de coopérative peut aussi remédier à une autre problématique présente en Belgique à savoir les résistances locales face aux éoliennes alors que l'opinion publique est favorable à un tel déploiement (Bauwens, 2015). Depuis 2012, les capacités installées additionnelles sont moins élevées ce qui est surtout dû à un nombre d'appels juridiques contre des projets éoliens (projets d'une capacité totale de 592MW en recours en Wallonie en 2014) (Bauwens, 2015). Ces résistances se base sur l'effet NIMBY, la justice distributive, la justice procédurale et le manque de confiance dans le développeur de projet. Cependant, en comparaison à d'autres formes de mise en place de parcs éoliens, le modèle des coopératives semble répondre aux trois préoccupations citées en dernier. L'auteur conclu que les résultats de son étude confirme que « la participation à une coopérative augmente significativement l'attitude positive à l'égard de cette technologie » (Bauwens ,2015).

F. Prix de l'électricité et la compétitivité des entreprises

L'exemple allemand nous a montré à quel point des prix d'électricité peuvent entraver la compétitivité d'entreprises électro intensives qui agissent sur des marchés mondiaux. Les pertes peuvent en effet être sensibles comme aussi des déplacements d'entreprises dans des pays à des prix d'électricité plus faibles. D'où l'importance de mettre en avant la possibilité d'obtenir des exonérations de certaines charges du prix de l'électricité en se préoccupant aussi de la charge induite aux consommateurs non-privilégiés.

Cette problématique est aussi actuelle en Belgique. En effet, la Wallonie par exemple héberge un certain nombre d'entreprises électro intensives et exportatrices dans le secteur de la chimie de base, de la fabrication d'aluminium, de la fabrication de pâte à papier et de papier et de la fabrication de produits réfractaires. Surtout le secteur chimique représente un bon nombre d'emplois en Wallonie et est le plus susceptible de délocaliser ses activités en E-U (CPDT, 2014). Le secteur papetier regroupe environ 2000 emplois en Wallonie et est aussi connu pour être très électro intensif (CPDT, 2014). Ce secteur à particulièrement souffert durant les dernières années des prix élevés d'électricité (CPDT, 2014).

De plus, les prix de l'électricité en Belgique sont plus élevés que ceux pratiqués dans les pays limitrophes si on prend en compte les exonérations possibles pour certaines entreprises. Ceci est surtout dû à trois éléments. D'un, la part du coût de la production de l'électricité a augmenté en Flandre et en Wallonie (mécanisme des CVs et promotion du photovoltaïque) et de deux, des exonérations importantes d'impôts et de redevances en France, Allemagne et aux Pays-Bas font que le prix d'électricité en Belgique est plus élevé (Deloitte, 2015). Sans prendre en compte des exonérations possibles pour entreprises électro intensives, on se rend compte que pour une consommation de moins de 0,02 GWh/an, les prix sont les plus élevés en Allemagne (22,6 ct/kWh) suivis par la Belgique (17, 8 ct/kWh), les Pays-Bas (16,6 ct/kWh) et la France (14,2 ct/kWh) (Van der Linden, 2015). Toutefois, la dégressivité des prix avec des quantités élevées consommées par année est plus forte en Allemagne et aux Pays-Bas qu'en Belgique (Van der Linden, 2015). Enfin, le niveau des impôts dans le prix de l'électricité en Flandre et en Belgique est plus élevé que ceux d'autres pays. On constate aussi que les prix d'électricité sont plus élevés en Wallonie qu'en Flandre.

En prenant en compte tous ces éléments, il peut être bénéfique pour la compétitivité des entreprises d'allouer des exonérations d'un partie des impôts et charges suivant certaines conditions.

Conclusion

L'objectif du présent mémoire a été de répondre à la question de savoir si la transition énergétique allemande est un exemple à suivre ou pas. Une réponse à cette question est pertinente dans le sens où l'Allemagne est souvent considérée comme un précurseur dans le domaine du développement des SER. Le pays a effectivement réussi à induire le développement d'une industrie des renouvelables et à augmenter sensiblement la part des SER dans la production d'électricité. Les performances sur l'ensemble du secteur énergétique sont telles que l'Allemagne est en bonne voie pour atteindre l'objectif des 18% de SER dans la consommation brute finale d'énergie en 2020.

La complexité d'une transition énergétique et ses implications à des niveaux variés du système énergétique et de la société dans son ensemble fait qu'il est impossible de donner une réponse claire et nette à la question posée. Le présent mémoire a par conséquent fait l'analyse d'un certain nombre de répercussions de l'Energiewende en mettant l'accent sur les coûts et bénéfices afférant aux ménages et aux entreprises d'un point de vue économique. En outre, l'histoire peut aussi donner des éléments d'évaluation de l'Energiewende comme aussi les évolutions au niveau européen.

Le rôle du précurseur de la transition énergétique peut surtout se voir au niveau européen. L'Allemagne a pris une longueur d'avance sur certaines législations et évolutions européennes en introduisant la première loi qui règle l'alimentation des SER dans le réseau électrique en 1991 (« White Paper » européen introduit en 1996) et la loi de l'EEG en 2000 alors que la première directive européenne était mise en place en 2001. Le pays a élaboré une stratégie globale en 2010 englobant des objectifs ambitieux à l'horizon 2050. Ainsi, l'Allemagne a clairement mis au jour son dévouement envers un système énergétique se basant en grande partie sur les SER et en leur donnant la priorité par rapport aux énergies non-renouvelables. Comme bon nombre des technologies sur base de SER n'était pas encore à même de concurrencer avec des énergies nonrenouvelables, un système de promotion onéreux, les Feed-In-Tarifs (FIT), a été mis en place. De ce fait, comme les pouvoirs publics fixent les FIT, ils ont une grande main d'œuvre pour mettre en avant certaines technologies plus que d'autres et sont capables de décider dans une certaine mesure de la direction que la transition va prendre en termes de technologies. Ainsi, cette forme de promotion des SER laisse une certaine marge de manœuvre aux lobbies qui ont l'opportunité d'influencer la fixation des FIT en leur intérêt. Se pose alors aussi la question de savoir si un gouvernement est capable d'ajuster les FIT de manière efficace afin d'agir dans l'intérêt de la collectivité. L'exemple du photovoltaïque a clairement montré que ce n'est pas le cas. Les consommateurs devront encore subir les conséquences d'un déploiement trop rapide de cette technologie pendant les 20 prochaines années. Il est donc souhaitable de mettre en place des mécanismes de promotions qui se basent plus sur les forces du marché et qui génèrent par là moins d'externalités négatives pour l'ensemble de consommateurs. En plus, l'exemple mentionné ci-dessus nous apprend aussi qu'il est souhaitable de promouvoir des technologies encore assez peu matures et chères à travers des programmes de recherche et développement afin de leur permettre de se développer et de rentrer en concurrence avec les énergies non-renouvelables au lieu de promouvoir leur déploiement rapide. De cette manière, les coûts pour les consommateurs seront moindres. Cet aspect a déjà été mis en évidence en tant que mise en garde, à savoir de ne pas avancer de manière « trop rapide, trop tôt ». Cette intervention accrue des pouvoirs publics, remplaçant les forces de marché, fait aussi la différence avec des transitions énergétiques antérieures. En Allemagne, la production des SER ne suit pas la loi de l'offre et de la demande ce qui génère des excès de production qui pèsent sur les bénéfices des entreprises du non-renouvelable. En plus, il ne faut pas perdre de vue que ce ne sont pas que les énergies renouvelables qui sont promues par les pouvoirs publics. Les énergies non-renouvelables ont accès à des subsides en recherches et développement ainsi qu'à de nombreux avantages. Pourtant, ce coût n'est pas affiché de manière aussi transparente que celui des SER à travers la charge EEG. Selon Greenpeace, le coût des non-renouvelables serait même plus élevé avec une charge de 10,2 ct/kWh en 2012 alors que la charge EEG n'était que de 3,50 ct/kWh.

Avec l'Energiewende, le mix énergétique a sensiblement changé au cours de la dernière décennie avec une part des SER de 31% dans la production d'électricité en 2014. Le mix énergétique joue aussi un rôle fondamental pour le prix de l'électricité. Ce dernier varie en fonction des technologies représentées dans le mix énergétique et leurs coûts respectifs. Un autre facteur important est le rapport entre la capacité installée et la production d'électricité réelle des technologies respectives, qui détermine en fin de compte le coût d'une technologie. Ici encore, les pouvoirs publics jouent un rôle important en faisant le choix des technologies promues.

Cette évolution du mix énergétique a aussi des répercussions pour le réseau d'électricité qui doit gérer de quantités croissantes d'électricité intermittente. En plus, les centres de production les plus importants sont situés au nord du pays alors que les plus grands consommateurs sont au sud, ce qui demande de nouvelles traces reliant nord et sud. Enfin, le réseau de distribution doit non seulement être capable de livrer de l'électricité à ses consommateurs mais aussi d'accueillir de l'électricité dans son réseau suite à l'essor de la génération distribuée. Ainsi, d'importants investissements sont nécessaires pour, d'un renforcer les réseaux et de deux les adapter à pouvoir mieux balancer l'électricité au niveau national. Il semble aussi essentiel d'avoir de bonnes connexions avec les pays limitrophes pour ce balancement. Ce qu'on peut tirer comme leçon de l'Allemagne est qu'il est souhaitable et moins coûteux de développer les réseaux bien en avance que de le faire au moment où les premiers problèmes de sécurité d'approvisionnement et de stabilité apparaissent. Enfin, en parallèle avec la stabilité du réseau émerge la question du charbon, surtout suite à la décision d'abandonner le nucléaire. Cette source est pour l'instant particulièrement bon marché à cause de prix très bas des certificats ETS ce qui fait que nombreux sont les défendeurs de cette industrie. Ainsi, les émissions de GES n'ont pas diminué pendant les dernières années. Avoir une position ferme en ce qui concerne le destin du charbon est donc essentiel.

Avec le développement des SER, le prix de l'électricité pour ménages a doublé depuis 2000 ce qui est surtout dû à la charge EEG. Cependant, les coûts de cette charge affectent les ménages de manière dégressive, c'est-à-dire que les ménages à faible revenu sont plus touchés que les ménages à revenu élevé. En effet la part des coûts liés à l'électricité dans le revenu net disponible est plus élevée pour des ménages à faible revenu. En plus, l'augmentation des prix accentue cet effet. De ce fait, avec une augmentation sensible des prix d'électricité, le risque de pauvreté augmente pour cette catégorie de ménages. Une répartition inéquitable est aussi présente en ce qui concerne les bénéfices de l'Energiewende pour les consommateurs. En effet, en se basant sur l'exemple du photovoltaïque, ce ne sont principalement que les ménages des déciles les plus riches de la population qui ont des installations pour produire de l'électricité qu'ils peuvent consommer eux-mêmes. Cependant, la surcharge EEG qui n'a pas été payée par ces ménages sera contribuée par les ménages non privilégiés. Ainsi la charge pour les ménages à faible revenu s'accroît encore au profit des ménages à revenu plus élevé. Le même raisonnement s'applique aux entreprises qui bénéficient d'exonérations ou bien consomment leur propre électricité. Enfin, en ce qui concerne l'efficacité énergétique, un

autre atout mis en avant par l'Energiewende, les ménages défavorisés n'ont souvent pas les moyens d'investir dans des équipements moins électro intensifs, ce qui les expose encore au risque de pauvreté énergétique. Une alternative qui n'a pas un effet dégressif immédiat est l'investissement dans des coopératives énergétiques pour lesquelles le montant minimum est dans 24% des cas en dessous de 100€.

En ce qui concerne les entreprises, on constate que les pertes dues à une baisse de la compétitivité peuvent être substantielles pour des entreprises électro intensives qui agissen sur les marchés mondiaux. Le prix allemand d'électricité a en effet augmenté plus rapidement que dans d'autres pays industrialisés. Les exonérations sont donc justifiées. Toutefois, ici encore ce sont les consommateurs non privilégiés qui supportent des charges additionnelles.

Finalement, la création d'emplois et le développement de d'industrie des renouvelables étaient aussi un argument mis en avant en faveur de la transition énergétique. En 2013, les emplois bruts sont estimés à 371 400. Le nombre d'emplois a en effet augmenté constamment depuis 2004 et les filières du vent, de la biomasse et du photovoltaïque fournissent la plus grande partie des emplois. Cependant, la position de la filière photovoltaïque a souffert durant les dernières années et a perdu plus de 40 000 emplois entre 2012 et 2013. Le système des FIT ne semble pas avoir donné assez d'incitants à des développements technologiques de manière à ce que cette filière n'était plus compétitive sur le marché mondial. Ici encore, des investissements en recherche et développement auraient fourni de meilleurs résultats que le déploiement excessif d'une technologie chère. En ce qui concerne l'emploi net, la situation n'est pas aussi claire. Des études quantitatives suggèrent un effet positif alors que nombreux sont les auteurs qui estiment que l'emploi net sera zéro voir négatif.

Les leçons qu'on peut en tirer pour le cas belge sont diverses. Tout d'abord, il importe de promouvoir des technologies qui sont matures, en général les moins chères au marché des SER. Dans le cas contraire il vaut mieux investir dans la recherche et le développement. Ensuite, des exonérations semblent justifiées en prenant en compte des prix d'électricité élevés en Belgique et une industrie électro intensive. Cependant comme dans le cas de la consommation propre pour ménages et entreprises, il convient de suivre de près la répartition des coûts et de protéger les ménages à faible revenu. Il sera dès lors bénéfique pour la Belgique de mettre plus en avant les coopératives énergétiques qui ne se sont pas encore développées significativement. De plus, la Belgique doit fournir plus de clarté au niveau des ses ambitions en termes de SER et de l'abandon nucléaire afin d'inciter l'investissement. En outre, il semble important d'investir à l'avance dans les réseaux énergétiques pour garantir la sécurité d'approvisionnement et la stabilité. Ceci est d'autant plus important pour la Belgique comme le pays a un mix énergétique peu diversifié et présente une forte dépendance électrique envers d'autres pays, surtout en ce qui concerne le gaz.

Ce mémoire a donc pu déceler des leçons de la transition énergétique en Allemagne. On constate que l'*Energiewende* a apporté des avantages et inconvénients et qu'il est difficile de dire lequel des deux l'emporte. Ce qui est toutefois primordial est une répartition équitable des charges et bénéfices parmi les consommateurs afin d'assurer l'acceptabilité de la transition énergétique.

Bibliographie¹⁰

- AIE. 2013. Energy Policies of IEA Countries: Germany 2013. Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development.
- Amann, Melanie. 2011. "Energiewirtschaft Die spektakulären Erfolge der Solar-Lobby." Frankfurter Allgemeine Zeitung, January 26. http://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/wirtschaftspolitik/energiewirtschaft-diespektakulaeren-erfolge-der-solar-lobby-1233943.html. Accessed June 12.
- Araújo, Kathleen. 2014. "The Emerging Field of Energy Transitions: Progress, Challenges, and Opportunities." *Energy Research & Social Science* 1 (March): 112–21.
- Bardt, Hubertus, and Judith Niehues. 2013. "Verteilungswirkungen des EEG." Zeitschrift für Energiewirtschaft 37 (3): 211–18.
- Bauwens, Thomas. 2015 (forthcoming). "Propriété Coopérative et Acceptabilité Sociale de L'éolien Terrestre." Reflets et Perspectives de La Vie économique.
- BDEW. 2010. "Energieverbrauch Im Haushalt." BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.
- ———. 2014a. "Industriestrompreise." BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.
- ———. 2014b. "Stromverbrauch Im Haushalt." BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.
- ———. 2015. "Erneuerbare Energien Und Das EEG: Zahlen, Fakten, Grafiken (2015)." BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.
- BMU. 2006. "Erneuerbare Energie: Arbeitsplatzeffekte." BMU.
- BMWi. 2010. "Energiekonzept." BMWi.
- ———. 2012. "Die Energiewende in Deutschland." BMWi.
- ———. 2015. "Zahlen Und Fakten Energiedaten Nationale Und Internationale Entwicklung." BMWi.
- Boccard, Nicolas, and Axel Gautier. 2015 (forthcoming). "Le Coût de L'énergie Verte En Wallonie 2003-2012." Reflets et Perspectives de La Vie économique.
- Bröhmer, Michael, Almut Kirchner, Jens Hobohm, Alexander Piégsa, and Johann Weiß. 2015. "Wertschöpfungs- Und Beschäftigungseffekte Der Energiewirtschaft." Prognos.
- Bruynoghe, Christine, Sarah Debraekeleer, Céline Rigby, and Mathias Ingelbrecht. 2015 (forthcoming). "Evolution Des Prix à La Consommation de L'énergie En Belgique." Reflets et Perspectives de La Vie économique.
- Cox, Michael, Andreas Peichl, Nico Pestel, and Sebastian Siegloch. 2014. "Labor Demand Effects of Rising Electricity Prices: Evidence for Germany." *Energy Policy* 75 (December): 266–77.
- CPDT. 2014. "Mix énergétique et Compétitivité Des Entreprises." Conférence Permanente du Développement Territoriale.
- Deloitte. 2015. "Benchmarking Study of Electricity Prices between Belgium and Neighboring Countries." Deloitte.
- DENA. 2010. "Dena Grid Study LI Integration of Renewable Energy Sources in the German Power Supply System from 2015-2020 with an Outlook to 2025." Deutsche Energie-Agentur GmbH.

-

¹⁰ Le style de référencement et de la bibliographie est Chicago (auteur, date)

- Destatis. 2015. "DESTATIS." Aussenhandel. https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesamtwirtschaftUmwelt/Aussenhandel/ Aussenhandel.html. Accessed May 23.
- DGRV. 2015. "Energiegenossenschaften Ergebnisse Der DGRV-Jahresumfrage (zum 31.12.2014)." Deutscher Genossenschafts- und Raiffeisenverband e.V.
- DIHK. 2014. "Mehr Verlierer Weniger Gewinner Skepsis Bleibt IHK-Energiewende-Barometer 2013." Deutscher Industrie- und Handelskammertag.
- European Commission. 2012. "Sustainable, Secure and Affordable Energy for Europeans." European Commission.
- ———. 2014a. "Member State's Energy Dependence: An Indicator-Based Assessment." European Commission
- ———. 2014b. "Une énergie Durable, Sûre et Abordable Pour Les Européens." European Commission.
- European Parliament. 2009. "Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council on the Promotion of the Use of Energ from Renewable Sources and Amending and Subsequently Repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC." Official Journal of the European Union.
- European Union. 2011. "EUROPA Summaries of EU Legislation." Renewable Energy: The Promotion of Electricity from Renewable Energy Sources.
- Eurostat. 2014. "Energy Main Tables." Eurstat.
- Fagiani, Riccardo, Julián Barquín, and Rudi Hakvoort. 2013. "Risk-Based Assessment of the Cost-Efficiency and the Effectivity of Renewable Energy Support Schemes: Certificate Markets versus Feed-in Tariffs." *Energy Policy*, Special section: Long Run Transitions to Sustainable Economic Structures in the European Union and Beyond, 55 (April): 648–61. d
- Feix, Olivier. 2015. "The German Energiewende Challenges for the Grid." presented at the Congres Energiewende.
- Frondel, Manuel, Nolan Ritter, Christoph M. Schmidt, and Colin Vance. 2010. "Economic Impacts from the Promotion of Renewable Energy Technologies: The German Experience." *Energy Policy* 38 (8): 4048–56.
- Frondel, Manuel, Christoph M. Schmidt, and Colin Vance. 2014. "Revisiting Germany's Solar Cell Promotion: An Unfolding Disaster." *Economic Analysis and Policy* 44 (1): 3–13.
- Frondel, Manuel, Stephan Sommer, and Colin Vance. 2015. "The Burden of Germany's Energy Transition: An Empirical Analysis of Distributional Effects." *Economic Analysis and Policy* 45 (March): 89–99.
- Graichen, Patricke, Mara Marthe Kleiner, Philipp Litz, and Christoph Podewils. 2014. "Die Energiewende Im Stromsektor: Stand Der Dinge 2014." Agora Energiewende.
- Grubler, Arnulf. 2006. "A Historical Perspective on Global Energy Transitions." Washinghton DC.
- ———. 2012. "Energy Transitions Research: Insights and Cautionary Tales." Energy Policy, Special Section: Past and Prospective Energy Transitions - Insights from History, 50 (November): 8–16.
- Gusbin, Dominique. 2015. "The Impact of EU Climat/Energy Policies on Belgium's Energy Dependence up to 2050." *Reflets et Perspectives de La Vie économique*.
- Haas, Reinhard, Christian Panzer, Gustav Resch, Mario Ragwitz, Gemma Reece, and Anne Held. 2011. "A Historical Review of Promotion Strategies for Electricity from

- Renewable Energy Sources in EU Countries." Renewable and Sustainable Energy Reviews 15 (2): 1003–34.
- Heck, Volker. 2006. "Regulation of the Electricity Market in Germany." *CESifo DICE Report*, no. 2: 30–38.
- Held, Anne, Mario Ragwitz, and Reinhard Haas. 2006. "On the Success of Policy Strategies for the Promotion of Electricity from Renewable Energy Sources in the EU." *Energy & Environment* 17 (6): 849–68.
- Hillebrand, Bernhard, Hans Georg Buttermann, Jean Marc Behringer, and Michaela Bleuel. 2006. "The Expansion of Renewable Energies and Employment Effects in Germany." Energy Policy 34 (18): 3484–94.
- IHS. 2014. "A More Competitive Energiewende: Securing Germany's Global Competitiveness in a New Energy World." IHS Global GmbH.
- ISE. 2013. "Levelized Cost of Electricity Renewable Energy Technologies." Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE.
- IW EWI. 2014. "Eigenerzeugung Und Selbstverbrauch von Strom Stand, Potentiale Und Trends." IW EWI.
- Jägemann, Cosima, Simeon Hagspiel, and Dietmar Lindenberger. 2013. "The Economic Inefficiency of Grid Parity: The Case of German Photovoltaics." EWI Working Paper.
- Kirsten, Selder. 2014. "Renewable Energy Sources Act and Trading of Emission Certificates: A National and a Supranational Tool Direct Energy Turnover to Renewable Electricity-Supply in Germany." *Energy Policy* 64 (January): 302–12.
- Koninckx, Peter. 2015. "Impact of the Energiewende and Opportunities for the Industry." Congres Energiewende.
- Küchler, Swantje, and Bettina Meyer. 2012. "Was Strom Wirklich Kostet." Forum Ökologisch-Soziale Marktwirtschaft e.V. (FÖS).
- Lehr, Ulrike, and Thomas Drosdowski. 2015. "Soziale Verteilungswirkungen Der EEG-Umlage Unter Berücksichtigung von Einkommensklassen." Gesellschaft fir Wirtschaftliche Strukturforschung mbH.
- Lehr, Ulrike, Dietmar Edler, Marlene O'Sullivan, Frank Peter, and Peter Bickel. 2015. "Beschäftigung Durch Erneuerbar Energien in Deutschland: Ausbau Und Betrieb, Heute Und Morgen." GWS, DLR, DIW Berlin, Prognos, ZSW.
- Lipp, Judith. 2007. "Lessons for Effective Renewable Electricity Policy from Denmark, Germany and the United Kingdom." *Energy Policy* 35 (11): 5481–95.
- Lutz, Christian, Dietmar Lindenberger, and Andreas Kemmler. 2014. "Gesamtwirtschaftliche Effekte Der Energiewende." GWS, Prognos, EWI.
- Masini, Andrea, and Emanuela Menichetti. 2013. "Investment Decisions in the Renewable Energy Sector: An Analysis of Non-Financial Drivers." *Technological Forecasting and Social Change*, Future-Oriented Technology Analysis, 80 (3): 510–24.
- Melosi, Martin V. n.d. "Energy Transitions in Historical Perspective: Some Thoughts." University of Houston.
- Michaelowa, Axel. 2004. "The German Wind Energy Lobby How to Successfully Promote Costly Technological Change." h
- Michaels, Robert, and Robert P. Murphy. 2009. "Green Jobs: Fact or Fiction." *Institute for Energy Research, Houston, Texas, January*.
- Mitchell, C., D. Bauknecht, and P. M. Connor. 2006. "Effectiveness through Risk Reduction: A Comparison of the Renewable Obligation in England and Wales and the Feed-in

- System in Germany." *Energy Policy*, Renewable Energy Policies in the European Union Renewable Energy Policies in the European Union, 34 (3): 297–305.
- Observatoire de l'énergie. 2012. "Rapport Sur Les Moyens de Production D'électricité 2012-2017." SPF Economie.
- ———. 2015. "Chiffres Clés 2013." SPF Economie.
- Observ'ER. 2014. "Etat Des énergies Renouvelables En Europe." Observ'ER.
- O'Sullivan, Marlene, Dietmar Edler, Peter Bickel, Ulrike Lehr, Frank Peter, and Fabian Sakowski. 2014. "Bruttobeschäftigung Durch Erneuerbare Energien in Deutschland Im Jahr 2013." BMWi.
- OXERA. 2013. "EU Electricity Markets: One of a Kind?" Oxera.
- Pegels, Anna, and Wilfried Lütkenhorst. 2014. "Is Germany's Energy Transition a Case of Successful Green Industrial Policy? Contrasting Wind and Solar PV." *Energy Policy* 74 (November): 522–34.
- Pescia, D. 2015. "Insights from Germany's Energiewende." presented at the Congres Energiewende, Bruxelles.
- Slomka, Lars, Josef Auer, and Alexander Karnick. 2013. "Energiewende 2.0 Wettbewerbsfähigkeit Nicht Riskieren." Deutsche Bank Research.
- Smil, Vaclav. 2004. "World History and Energy." Encyclopedia of Energy 6: 549-61.
- Techert, Holger, Judith Niehues, Hubertus Bardt, Erik Gawel, Klaas Korte, Andreas Löschel, Florens Flues, and Peter Heindl. 2012. "Verteilungswirkungen des Erneuerbare-Energien-Gesetzes." Wirtschaftsdienst 92 (8): 507–19.
- Tews, Dr Kerstin. 2014. "Energiearmut vom politischen Schlagwort zur handlungsleitenden Definition." In *Im Hürdenlauf zur Energiewende*, edited by Achim Brunnengräber and Maria Rosaria Di Nucci, 441–49. Springer Fachmedien Wiesbaden.
- TPEC. 2014. "Beiträge Zur Sozialen Bilanzierung Der Energiewende." Institute for Advanced Sustainability Studies e.V.
- Union européenne. 2015. "Energie." *Union Européenne*. http://europa.eu/pol/ener/index_fr.htm. Accessed May 12.
- Van der Linden, Jan. 2015 (forthcoming). "Prices of Electricity and Natural Gas for Commercial Clients in Belgium: Composition, Level and Evolution Compared to Neighbouring Countries." Reflets et Perspectives de La Vie économique.
- Van Dyck, Sara. 2015. "Welcome to Our Energy Future." presented at the Congres Energiewende.
- Verbong, Geert, and Derk Loorbach. 2012. *Governing the Energy Transition: Reality, Illusion or Necessity?* Routledge.
- World Energy Council. 2014. "Global Energy Transitions." Weltenergierat Deutschland e.V.

Annexes

1. Fonctionnement de marché

L'électricité issue de SER est transférée aux opérateurs de transmission ou de distribution au prix fixé par les FITs. Les quantités d'électricité fournies sont alors équilibrées entre régions au niveau national par les opérateurs de transmission et vendu à la bourse de l'électricité (EEX à Leipzig) ou à travers des contrats gré à gré. La surcharge que les opérateurs de transmission ont du payé pour acheter l'SER-E est transféré aux consommateurs à travers la surcharge EEG, qui représente l'augmentation du prix dû à l'électricité de SER dans le système. La surcharge EEG correspond à la différence entre les revenus et des coûts des opérateurs du réseau suite à l'intégration de SER-E. La surcharge EEG est déterminée chaque année pour l'année suivante par les opérateurs de transmission et plusieurs institutions de recherche. Le payement de la surcharge est fait par les consommateurs aux opérateurs de transmission qui les transmettent le cas échéant aux distributeurs. Ainsi, l'augmentation du prix de l'électricité est balancé au niveau national et non pas au niveau des entités fédérées, car sinon les consommateurs de régions produisant plus de SER-E devraient payer des prix plus élevé que d'autres.

En ce qui concerne l'intégration de l'électricité issu de SER, les opérateurs de réseau doivent l'accepter prioritairement peu importe le niveau de demande en énergie. À l'opposé, les technologies conventionnelles suivent les lois de l'offre et de la demande. Ceci a comme conséquence que les opérateurs de réseau doivent s'adapter et développer les réseaux et leur technologie afin de faire face à des quantités d'électricité intermittentes croissantes.

Comme mentionné précédemment, les générateurs peuvent aussi directement vendre leur électricité aux consommateurs à travers le mécanisme du « Marketpremium ». Il décide sur une base mensuelle s'ils veulent profiter de ce mécanisme en informant leur opérateur de réseau et en spécifiant la quantité qui sera livré.

Les entreprises de fourniture d'électricité achète l'électricité à la bourse ou à travers des contrats gré à gré. Les prix sont fixé en bourse et ceux des contrats s'alignent en général avec ces derniers.

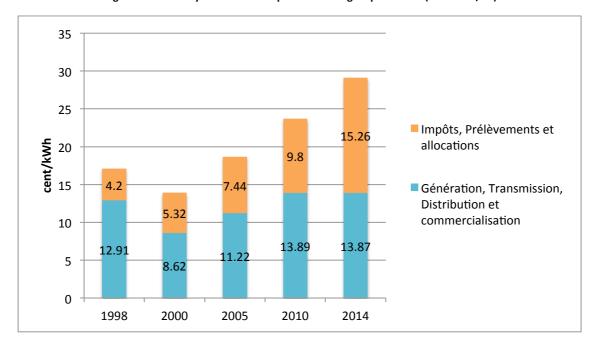
2. Energiepaket: 6 lois et un règlement

- Gesetz zur Neuregelung des Rechtsrahmens für die Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien (EEG, inklusive EEG-Erfahrungsbericht 2011)
- Gesetz über Maßnahmen zur Beschleunigung des Ausbaus der Elektrizitätsnetze (NABEG)
- Gesetz zur Neuregelung energiewirtschaftsrechtlicher Vorschriften (EnWGÄndG)
- Gesetz zur Änderung der Verordnung über die Vergabe öffentlicher Aufträge
- 13. Gesetz zur Änderung des Atomgesetzes (AtomG)
- Gesetz zur Stärkung der klimagerechten Entwicklungen den Städten und Gemeinden

Source: (BMWi 2012)

3. Prix moyen d'électricité ménage 3 personnes

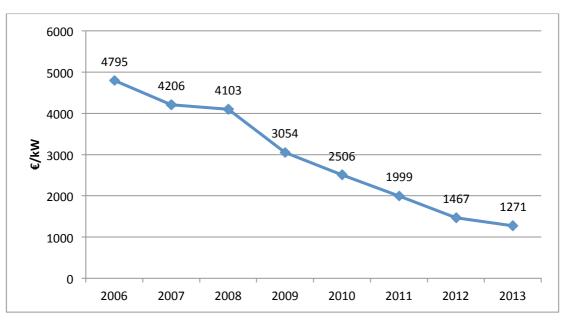
Figure 21: Prix moyen d'électricité pour un ménage 3 personnes (3500kWh/an)



Source: (BDEW 2014b)

4. Coût du photovoltaïque : courbe d'apprentissage

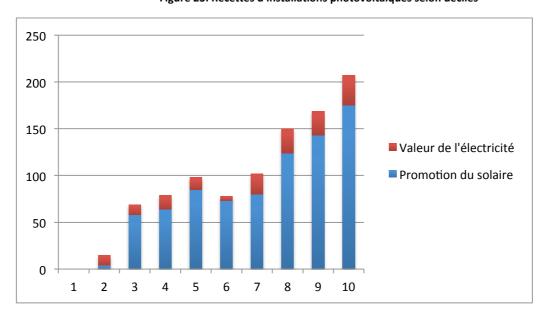
Figure 22: Coût des panneaux photovoltaïques



Source : (BDEW 2015)

5. Recettes d'installations photovoltaïques selon déciles

Figure 23: Recettes d'installations photovoltaïques selon déciles



Source: (Bardt and Niehues 2013)