Écopolitique et stratégie d'entreprise : exemple dans une entreprise de production d'onduleurs photovoltaïques

Félix Authier

▶ **To cite this version:**

Félix Authier. Écopolitique et stratégie d'entreprise : exemple dans une entreprise de production d'onduleurs photovoltaïques. Géographie. 2012. dumas-00982682

HAL Id: dumas-00982682

https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-00982682

Submitted on 24 Apr 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

UNIVERSITÉ DE REIMS CHAMPAGNE-ARDENNE

KACO new energy.

ÉCOPOLITIQUE ET STRATÉGIE D'ENTREPRISE:

Exemple dans une entreprise de production d'onduleurs photovoltaïques

Rapport de Stage
Master 2 Etudes Européennes et internationales
Spécialité géopolitique

Authier Felix

Tuteur universitaire
Thomas Nicklas
Professeur des Universités

Tuteur de stage
Rolf Hofmann
Ingénieur diplômé,
Directeur du Produktmanagement

2011/2012

REMERCIEMENTS

Mes remerciements les plus sincères aux personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce rapport de stage.

Mes sincères remerciements à M. Ralf Hofmann, directeur de KACO new energy GmbH ainsi qu'à Rolf Hofmann, directeur du *produktmanagement*, de m'avoir accueilli au sein de l'entreprise et de m'avoir permis de découvrir le domaine des énergies renouvelables.

À M. Thomas Nicklas, mon tuteur de stage, pour ses recommandations, pour les conseils donnés et le temps accordé à m'avoir aidé à élaborer ce présent travail.

Je tiens aussi à remercier M. Stéphane Rosière, directeur du master Géopolitique qui m'a accepté en cette seconde année de master et qui a accepté le changement de stage.

Je remercie l'équipe du PM qui m'a bien intégré et qui m'a donné de nombreuses informations à propos de leurs activités et du secteur photovoltaïque en général.

Mes sincères remerciements à M. Yves Boulbès, et Mme Karine Taupiac pour la relecture et la correction de ce rapport de stage.

Enfin je voudrais témoigner ma reconnaissance à mes parents, à mon amie ainsi qu'à Josette et Thomas Wais qui m'ont soutenu durant ce stage mais également durant toutes mes études.

TABLE DES SIGLES

API	*Application Programming Interface*[1]
BMU	*Bundesumweltministerium*
BMWi	*Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie*
BSW	*Bundesverband Solarwirtschaft*
CP	Chef de projet
EDF	Électricité de France
EEG	*Erneuerbare-Energien-Gesetz*[2]
GmbH	*Gesellschaft mit beschränkter Haftung*[3]
GW	Gigawatt
GWc	Gigawatt-crète
GWh	Gigawatt-heure
kVA	kilovolt-ampère
kW	kilowatt
kWc	kilowatt-crète
kWh	kilowatt-heure
MOP	Manageur opérationnel de produits
MSP	Manageur stratégique de produits

[1] Traduit par interface de programmation.
[2] Traduit par Loi sur les énergies renouvelables.
[3] Traduit par Société à responsabilité limitée, SARL.

MW	Mégawatt
MWc	Mégawatt-crète
OEM	*Original Equipment Manufacturer*[1]
ONU	Organisation des Nations Unies
PDG	Président-directeur général
PIB	Produit Intérieur Brut
PM	*Produktmanagement*[2]
PME	Petites et moyennes entreprises
PV	Photovoltaïque
R&D	Recherche et développement
SARL	Société à responsabilité limitée
SIG	Système d'information géographique
TWh	térawatt-heure
UE	Union Européenne
USA	*United States of America*

[1] Parfois traduit par sous-traitants.
[2] Traduit par management de produit.

SOMMAIRE

TABLE DES SIGLES 4
SOMMAIRE 6
Introduction 8
1. Les énergies renouvelables ; définition et état des lieux 12

1.1. Qu'est-ce que l'énergie renouvelable ? 13
1.2. L'énergie planétaire et l'énergie géothermique 14

1.2.1. L'énergie marémotrice 14
1.2.2. La géothermie 16

1.3. L'énergie solaire 20

1.3.1. L'énergie éolienne 20
1.3.2. L'énergie hydraulique 21
1.3.3. La biomasse 24
1.3.4. L'énergie solaire directe 28

Conclusion 35

2. L'Allemagne, un pays précurseur dans le domaine des énergies renouvelables 37

2.1. Les vicissitudes des énergies renouvelables en Allemagne 38

2.1.1. L'émergence de l'idée des énergies renouvelables dans les années 1970 38
2.1.2. La concrétisation de la production « d'électricité renouvelable » à partir de seconde moitié des années 1980 en Allemagne 40
2.1.3. Energie et environnement au début du XXI^{ème} siècle 42

2.2. Le photovoltaïque en Allemagne 47

2.2.1. Une croissance rapide du photovoltaïque en Allemagne 47
2.2.2. La loi sur les énergies renouvelables et le photovoltaïque en Allemagne en 2012 50

Conclusion 52

3. Présentation de l'entreprise KACO new energy GmbH 53

3.1. Un ancrage ancien pour une entreprise jeune et dynamique. 54

3.1.1. L'histoire de l'entreprise....54
3.1.2. La localisation de KACO new energy....56

3.2. La production de KACO new energy....60

3.2.1. Les onduleurs ; présentation d'un composant essentiel d'un système photovoltaïque....60
3.2.2. Une gamme de produits exhaustive....62

3.3. La réaction de l'entreprise face au changement du contexte politique....65

3.3.1. Engagement politique et présence médiatique de l'entreprise....65
3.3.2. Optimisation de l'organisation de l'entreprise....68
3.3.3. Evolution de la gamme de produits....69
Conclusion....70

4. Rapport d'activités....72

4.1. Le service du produktmanagement....73

4.1.1. Le cycle de vie du produit, fil conducteur des activités du *produktmangement*....73
4.1.2. L'organisation de la division du *Produktmanagement*....77

4.2. Mes activités....79

4.2.1. Les études....79
4.2.2. La représentation cartographique....81
4.2.3. Les autres activités....86

4.3. Bilan personnel et perspectives du stage au sein de KACO new energy....87

4.3.1. De la formation universitaire au monde professionnel....87
4.3.2. Bilan....88

Conclusion....90
CONCLUSION GÉNÉRALE....91

Annexes....93
Lexique....103
Table des illustrations....104
Sitographie....107
Bibliographie....110

Introduction

Le stage au sein de l'entreprise KACO new energy GmbH s'est effectué dans le cadre de ma seconde année de Master Etudes Européennes et Internationales spécialité géopolitique, entre le 1er mars et le 31 mai 2012. Le présent rapport est destiné à évaluer l'apprentissage de connaissances et de compétences universitaires, mises en pratique dans un cadre professionnel. Ce rapport s'inscrit dans la branche « environnementale » de la géopolitique : l'écopolitique[1].

L'année précédente j'ai effectué un mémoire d'ordre épistémologique sur la géopolitique en Allemagne. Ayant déjà pu découvrir le domaine de la recherche, j'ai préféré m'orienter vers un parcours plus professionnalisant cette année. À partir de juillet 2011, mes recherches se sont dans un premier temps orientées vers des organisations intergouvernementales et non gouvernementales comme l'Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO) et Greenpeace. En raison de nombreux refus, j'ai élargi et intensifié – plus de 60 organismes contactés – mes recherches. J'ai par ailleurs choisi de profiter de mon bilinguisme. J'ai donc étendu mes recherches aux pays germanophones – Allemagne, Autriche, Suisse – ainsi qu'au ministère des affaires étrangères et aux entreprises actives dans le secteur des énergies renouvelables. J'ai reçu de nombreuses réponses négatives mais également des avis favorables. L'importance des langues dans la recherche d'emploi et dans le monde du travail s'est confirmée pour moi. En effet les réponses positives avaient toutes un lien avec l'Allemagne.

Trois offres me paraissaient intéressantes. La première au service de presse du consulat général de Francfort. Les deux autres dans des entreprises spécialisées dans les énergies renouvelables ; GreenEnergy 3000 GmbH et KACO new energy GmbH. L'activité consulaire m'a paru être la plus en adéquation avec le master de géopolitique et j'ai donc choisi ce stage. De plus l'activité consulaire française en Allemagne est un aspect majeur des relations franco-allemandes qui du fait de mes origines m'intéresse particulièrement. J'ai donc débuté un stage au consulat général de Francfort le 1er février 2012. Mais les activités demandées ne me donnaient pas l'impression de progresser et d'étendre mes compétences et mes connaissances. Ma tâche principale consistait à lire les rubriques régionales des principaux journaux de Rhénanie-Palatinat et de la Hesse afin d'en sélectionner les articles qui concernent la politique et l'économie de ces régions. Le but de cette lecture n'était pas de les analyser mais d'en faire une revue. C'est-à-dire de les photocopier et de les assembler. Le reste du temps j'approfondissais les thèmes les plus importants de l'actualité régionale. Je ne mettais donc pas à profit mes acquis

[1] Ce néologisme a été utilisé pour la première fois par Dennis Pirages en 1978 dans son ouvrage *Global ecopolitics: The new context for international relations* paru aux éditions Duxbury Press.

universitaires. Après discussion avec le Mr Stanislas Mrozek, consul général adjoint, sur l'évolution des tâches j'ai rapidement décidé d'interrompre le stage. Les missions définies dans l'annonce de stage qui m'intéressaient le plus – en lien avec les relations franco allemandes – n'étant en réalité que secondaires. Par ailleurs les évolutions des travaux demandés s'avéraient minimes. Cette interruption rapide m'a été permise par M. Jean-Claude Tribolet, consul général, et M. Rosière. Ce stage s'est terminé le 7 février 2012.

Afin de retrouver un stage j'ai à nouveau pris contact avec les entreprises qui m'avaient donné un avis favorable. KACO new energy GmbH m'a à nouveau donné une réponse positive. Cette entreprise est principalement spécialisée dans la fabrication d'onduleurs et solutions de supervision pour installations photovoltaïques. Elle a son siège social et son principal site de production à Neckarsulm, dans le *Baden-Wurtemberg,* en Allemagne. Ce *Land* est l'un des plus riches d'Allemagne et concentre une importante industrie de hautes technologies. KACO new energy possède aussi des sites de production d'autres continents. Après un entretien, j'ai débuté le stage le 1er mars 2012. J'ai intégré le service de *produktmanagement.* Les activités principales de cette entité sont la gestion des produits et la rédaction des documents liés à ceux-ci. Les compétences cartographiques et statistiques acquises tout au long de mes études m'ont été utiles durant toute la durée du stage.

Ce nouveau stage m'a permis d'approcher le secteur des énergies renouvelables. Comme il a été mentionné précédemment, un stage dans ce secteur peut être associé à une étude écopolitique[1]. Peu répandue dans le monde francophone, cette branche de la géopolitique renvoie à l'analyse de « l'ensemble des dimensions politiques de l'identification et de la résolution des questions environnementales » et des « tentatives des acteurs internationaux d'imposer leur définition de la sécurité face à la nature et à la qualité de vie des populations […] » (Le Prestre, 1997, p. XXVII). L'écopolitique étudie donc les changements environnementaux non (seulement) à l'aide de données de géographie physique mais aussi à l'aide de données sociales (Reuber, Wolkersdorfer, 2001, p.93). Ce sont leurs rapports à la société qui sont mis en avant. Ces relations sont majoritairement liées à des mécanismes de régulation et de conservation qui permettent de freiner ou d'éviter les changements environnementaux. Ils se répartissent en deux aspects; la gestion des ressources et l'aménagement des milieux (Rodary, 2003, p.94). L'étude des énergies renouvelables s'intègre par conséquent à l'écopolitique. En effet, l'utilisation d'énergies renouvelables implique une gestion des ressources naturelles et sous-entend un nouvel aménagement de certains milieux (côtes, estuaires).

[1] Il ne faut pas confondre l'écopolitique et l'écologie. L'écologie « est partie prenante d'un engagement en faveur d'une protection de l'environnement qui pouvait se prévaloir d'une neutralité objective dans l'étude scientifique des objets naturels » (Rodary, 2003, p.95). Il serait possible en exagérant, de comparer la relation entre écopolitique et écologie à celle de géographie politique et de la *Geopolitik* de la fin des années 1930 en Allemagne.

Comme l'indiquent Thomas Krings et Barbara Müller ces mécanismes de régulations et de conservation sont liés aux intérêts des différents acteurs et à des questions de pouvoir (cité par Reuber, Wolkersdorfer, 2001, p.95-96). L'environnement et les ressources environnementales deviennent des objets construits qui eux-mêmes participent à la construction d'une représentation territoriale. Ce sont donc des enjeux pour les différents acteurs. Ceux-ci peuvent être des individus, des groupes des institutions, des entreprises, des Etats, des organisations non gouvernementales ou intergouvernementales. L'Etat et les organisations intergouvernementales sont des acteurs importants du fait qu'ils créent un cadre (lois, normes, représentations) pour la conservation de l'environnement. Majoritairement les Etats ont alors un rôle ambivalent car ils cherchent à protéger l'environnement tout en favorisant son exploitation économique. Il est à noter que l'Etat ne peut être, dans la majorité des cas, envisagé comme un acteur unique. Il est constitué de différents acteurs aux intérêts divergents[1] (Reuber, Wolkersdorfer, 2001, p.93). Une autre caractéristique inhérente à la notion d'environnement est son caractère multiscalaire. En effet, un problème environnemental ne peut s'étudier à une seule échelle. Une catastrophe nucléaire, par exemple, a une situation de départ locale (la centrale nucléaire) mais ses effets sont internationaux. Le panache radioactif de Tchernobyl par exemple a touché l'Europe entière. Un autre exemple plus récent serait celui de la catastrophe de Fukushima en mars 2011. L'épuisement des ressources naturelles est un phénomène local dont l'impact est mondial. Il convient donc de prendre en compte différentes échelles dans une étude d'écopolitique.

Par ce stage j'ai pu approfondir mes connaissances sur le milieu des énergies renouvelables. En particulier sur les mesures politiques qui y sont liées. En effet, le début de l'année 2012 a été marqué en Allemagne par une modification de la loi sur les énergies renouvelables allemandes ; l'« *Erneuerbare-Energien-Gesetz »* (EEG). Les voies opposées prises par l'Allemagne et la France au niveau énergétique marquent également ce début d'année 2012. Tandis que l'Allemagne a décidé de sortir progressivement des énergies conventionnelles (comme le nucléaire), la France a décidé de rallonger l'utilisation de ses centrales nucléaires. J'ai également découvert l'aspect industriel et marchand des énergies renouvelables. Celui-ci est souvent méconnu et/ou peu évoqué lorsque le thème est abordé. Il est fortement lié aux questions politiques et sociétales que soulèvent ces énergies. Comment se présente le secteur des énergies renouvelables ? L'Allemagne serait un pays précurseur. Il apparait que ce secteur se développe et se politise depuis la fin des années 1980. En quoi la politisation des questions environnementales et énergétiques joue-t-elle un rôle important dans le développement de ces énergies renouvelables ?

[1] Entre un ministère de l'économie et de l'écologie par exemple les priorités et représentations pour un même lieu peuvent varier.

Afin d'étudier le développement de ces énergies nous analyserons le secteur des énergies renouvelables dans une première partie, en développant le cas de l'Allemagne dans la seconde partie. Il s'agit de revenir sur les origines et le contexte socioéconomique liés au développement de ces énergies. Ensuite, je souhaite présenter l'entreprise KACO new energy. Ceci me permettra d'illustrer l'importance des interrelations entre les différents acteurs dans le développement des énergies renouvelables. Enfin, la quatrième partie offrira l'occasion de présenter service dans lequel j'ai effectué les trois mois de stage et les activités qui m'ont été confiées.

1. Les énergies renouvelables ; définition et état des lieux

1.1. Qu'est-ce que l'énergie renouvelable ?

Le mot énergie provient du grec *energia* qui réfère à une force en action. Dans la langue française ce mot prend plusieurs significations. Le dictionnaire Larousse distingue quatre grandes approches. La première correspond à « l'aspect humain » du mot. Il s'agit alors de « la puissance physique de quelqu'un, qui lui permet d'agir et de réagir » ou de « la volonté tendue vers une action déterminée ; c'est-à-dire la force morale » d'une personne[1]. D'un point de vue plus littéraire le Larousse définit l'énergie comme la « vigueur particulière dans la manière de s'exprimer ; l'énergie du style ». Philosophiquement Aristote oppose l'énergie à « la réalité du possible ». Elle correspond pour lui à « la réalité effective ». Enfin sur le plan de la physique, l'énergie est une « grandeur caractérisant un système physique, gardant la même valeur au cours de toutes les transformations internes du système […] et exprimant sa capacité à modifier l'état d'autres systèmes avec lesquels il entre en interaction ». Il sera question de ce dernier aspect de l'énergie dans ce rapport.

Comme il a été défini précédemment, l'énergie correspond à « la capacité d'un système à engendrer des effets physiques[2] » (Quaschning, 2011, p.13). Celle-ci est mesurée en joules. Cette énergie peut être transformée et paraître sous différentes formes mais ne peut pas disparaître. L'énergie « perdue » d'un côté est « gagnée » de l'autre. Elle prend donc uniquement une autre forme. C'est-à-dire qu'elle se transforme. Volker Quaschning distingue l'énergie mécanique, l'énergie potentielle, l'énergie cinétique, l'énergie thermique, l'énergie magnétique, l'énergie de masse, l'énergie électrique, l'énergie chimique et l'énergie de radiation (2011, p.13). Le gaz par exemple est une forme d'énergie chimique accumulée ou stockée. Lorsque celui-ci est utilisé pour cuisiner, l'énergie chimique (gaz) est transformée en énergie thermique (chaleur, flamme). Nous n'entrerons pas dans les détails des différents types d'énergies car ce n'est pas l'objet de notre travail.

Certaines de ces formes de stockage ou sources d'énergies – l'énergie fossile comme le pétrole, le charbon, le gaz naturel – résultent d'une transformation longue d'éléments d'origine organique. Elles se régénèrent très lentement et les réserves ne sont donc pas illimitées. L'énergie renouvelable se définit par opposition à l'énergie fossile épuisable. Pour Volker Quaschning l'énergie renouvelable correspond aux sources d'énergies qui sont inépuisables à échelle humaine[3] (2011, p.34). Cet auteur classifie ces

[1] Il est à noter que dans certaines religions et médecines naturelles d'autres approches de l'énergie humaine existent.

[2] « […] *ist Energie, die Fähigkeit eines Systems, äußere Wirkungen hervorzubringen* […] » (Quaschning, 2011, p.13)

[3] « *Unter dem Begriff erneuerbare oder regenerative Energien versteht man die Energiequellen, die unter menschlichen Zeithorizonten unerschöpflich sind.* » (Quaschning, 2011, p.34)

énergies en trois groupes selon leur source d'origine primaire : l'énergie photonique, l'énergie planétaire et l'énergie géothermique[1]. Nous suivrons cette classification et nous nous concentrerons principalement sur les énergies renouvelables utilisées par l'homme pour produire de l'électricité[2]. La présentation des différents types d'énergies renouvelables peut paraitre longue, mais elle nous semble nécessaire, ces énergies étant complémentaires.

1.2. L'énergie planétaire et l'énergie géothermique

1.2.1. L'énergie marémotrice

« La terre est soumise […] à l'attraction du soleil, de la Lune et […] des autres planètes du système solaire » (Hadi, 2011, p.20). L'énergie planétaire correspond à l'énergie issue de ces attractions, également appelées gravitation. Les marées en constituent une manifestation physique[3]. L'énergie issue des marées – l'énergie marémotrice – est dès le moyen âge utilisé par l'homme : fabrication de farine et pompage (Jourden, Marchand, 2009, p. 17). Aujourd'hui ce phénomène maritime est également utilisé pour produire de l'énergie électrique. Deux possibilités existent. La première consiste à utiliser les courants de marées – l'énergie cinétique – pour activer une hydrolienne (Quaschning, 2011, 311-313).

Photographie 1 : L'hélice du projet Seaflow sur les côtes de la Grande Bretagne

Source : Mueller, Wallace, 2008.

[1] Il existe aussi l'énergie d'annihilation de la matière qui peut être considérée comme une source d'énergie renouvelable. Nous n'étudierons pas ce cas du fait que les recherches sont récentes et que cette source n'est pas encore utilisée. Pour plus d'information se rapporter à l'ouvrage de Jean Hladik (2011).

[2] Les énergies renouvelables peuvent également servir à produire de la farine, extraire de l'eau de l'air, de la chaleur pour chauffer les maisons et l'eau ou à produire du carburant.

[3] Il existe d'autres manifestations de ces forces d'attractions. Ainsi la Lune « est responsable […] d'un effet de marée sur l'atmosphère et sur la matière terrestre » (Hladik, 2011, p.451).

Un exemple de centrale de ce type est le projet Seaflow au large de la Grande Bretagne (photographie 1) qui a une capacité de 300 kW. Cette technique ancienne[1] est paradoxalement dans un stade expérimental et les impacts environnementaux sont encore mal connus (Iancu, 2010, p. 554-555). À ce jour, l'effet majeur étudié est l'impact sur les courants, sur l'amplitude des marées et les écosystèmes marins (Hladik, 2011, p.460). De plus, de nombreuses complications techniques existent : problèmes de résistances des pales, problèmes de fixations… (Hladik, 2011, p.459).

La seconde possibilité est la construction d'un barrage afin d'exploiter l'énergie potentielle de la variation du niveau de l'eau[2]. Le principe de fonctionnement de ce type d'installation est similaire à celui d'un barrage hydroélectrique de montagne. La différence de niveau entre le réservoir rempli par la marée et la mer permet d'activer une turbine qui est reliée à un générateur électrique. Celle-ci produit de l'électricité. Il est à noter que ce type d'installation nécessite une amplitude importante des marées. Lors de marées de faible amplitude l'énergie potentielle est insuffisante pour la production d'électricité. Les usines de la Rance en Bretagne (photographie 2) mise en service en 1966 (Division production Ingénierie Hydraulique de l'EDF, 2012), d'Annapolis au Canada mise en service en 1983 ou de Ganzhtan en Chine mise en service en 1970 sont des exemples de centrales marémotrices utilisant l'énergie potentielle.

Photographie 2 : La centrale marémotrice de la Rance en Bretagne

Source : Division production Ingénierie Hydraulique de l'EDF, 2012.

[1] Elle reprend le principe des moulins à marées installés dans le Morbihan dès le XII^{ème} siècle. Dès les années 1950 Electricité de France étudie cette technique mais l'étude reste « à l'état de projet » (Hladik, 2011, p.457).

[2] Sur certaines côtes les marées peuvent atteindre plus de 15 mètres (Vernier, 2012, p.67).

Ces barrages sont critiqués car ils engendrent des modifications importantes de l'environnement. La centrale de la Rance par exemple a entraîné une élévation du niveau moyen du cours d'eau de la Rance (Division production Ingénierie Hydraulique de l'EDF, 2012), une modification de l'écosystème existant et un envasement de l'estuaire (Hladik, 2011, p.454). Cette usine est l'une des plus importantes centrales marémotrices. Elle produit 550 GWh par an et a une puissance de 240 MW. D'après Electricité de France (EDF), elle permet d'alimenter environ 230 000 personnes en électricité (Division production Ingénierie Hydraulique de l'EDF, 2012).

L'utilisation de l'énergie planétaire est aujourd'hui marginale et se trouve majoritairement dans un stade expérimental. « Le Conseil mondial de l'énergie estime le potentiel exploitable de l'énergie des mers entre 1 000 et 2 000 TWh/an, soit de 2 à 4 fois la consommation électrique… » de la France (Enr, 2012). Cette source d'énergie n'est donc pas à négliger. De plus, elle est plus prévisible que les énergies issues du soleil et l'électricité produite est peu coûteuse[1] (Vernier, 2012, p.69). Elle peut être considérée comme une des alternatives possibles aux énergies fossiles. Mais du fait de sa dépendance des marées, l'énergie marémotrice présente l'inconvénient de ne pas permettre la production continue d'énergie électrique[2]. De plus l'entretien de ces installations a un coût élevé du fait des caractéristiques corrosives de l'eau salée et des effets abrasifs du sable (Quaschning, 2011, p.311).

1.2.2. La géothermie

L'énergie géothermique correspond à l'utilisation de la chaleur[3] « interne du globe terrestre » (Hladik, 2011, p.429). La température augmente en moyenne de 3 degrés Celsius (°C) pour 100 mètres et atteint 6500°C dans le noyau. Ce gradient est variable en fonction des régions terrestres. Les températures élevées sont dues à la désintégration des éléments radioactifs contenus dans les roches (Quaschning, 2011, p.35). La différence de température entre la croûte terrestre et les strates inférieures entraîne un flux permanent d'énergie de l'intérieur vers l'extérieur qui peut être exploité. L'utilisation de l'énergie géothermique nécessite des températures élevées. Elle est donc favorisée dans des régions où la croûte terrestre est peu épaisse. Ce sont majoritairement des régions de friction tectonique.

L'utilisation de l'énergie géothermale est ancienne ; déjà les étrusques puis les romains l'utilisaient dans des thermes ou pour cuisiner (Ademe[4], Brgm[5], 2011). Dès 1904, cette source d'énergie est utilisée en Italie pour la production d'électricité (Bertani,

[1] Entre 3 et 10 centimes le kilowattheure (Vernier, 2012, p.69).
[2] Deux marées par jour.
[3] Ainsi 99% de la température de la terre est supérieure à 1000 degrés Celsius (°C).
[4] Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'énergie
[5] Bureau de Recherches Géologiques et Minières

Dumas, Ungemach, 2009, p. 9). D'après Volker Quaschning, cette source d'énergie a permis de produire 60 TWh d'énergie électrique dans le monde en 2009 (2011, p.35).

Pour la géothermie il existe plusieurs techniques en fonction des caractéristiques du sous-sol. En présence de réservoir géothermaux et de températures supérieures à 150°C sous la surface terrestre, il est possible d'utiliser directement l'eau ou la vapeur d'eau issue de l'évaporation. La vapeur fait tourner une turbine à vapeur qui, reliée à un générateur électrique, produit de l'électricité. Le générateur transforme l'énergie mécanique en énergie électrique[1]. Si les températures du sous-sol sont inférieures à 150°C et/ou que la vapeur d'eau est insuffisante pour activer une turbine un autre procédé est utilisé : le cycle de Rankine (Ademe, Brgm, 2011). L'eau chaude est pompée ou extraite lorsque la pression est suffisante. Elle passe ensuite dans un échangeur thermique qui permet de chauffer un autre liquide – comme l'isopentane, l'ammoniac ou l'alcane. Celui-ci se caractérise par une température d'évaporation inférieure à l'eau. La vapeur créée permet de faire tourner une turbine qui, reliée à un générateur, permet la production d'électricité. Toutefois cette technique est limitée à des petites puissances de l'ordre de quelques centaines de kWc à quelques MWc (Ademe, Brgm, 2011). Dans les deux cas l'eau refroidie est majoritairement réinjectée en profondeur. Lorsque la température est inférieure à 150°C l'utilisation de l'énergie thermique (eau chaude) pour le chauffage et l'eau chaude des ménages présente donc plus d'intérêt – sur le plan économique et écologique (Quaschning, 2011, p.321-322). Il est alors toujours possible d'utiliser l'énergie restante pour produire de l'énergie électrique.

L'autre possibilité est celle dite des *Enhanced Geothermal Systems*[2] qui utilise la technologie dite de *Hot Dry Rock*[3] (Bertani, Dumas, Ungemach, 2009, p. 7-8). De l'eau sous pression est injectée en grande profondeur afin de créer des cavités artificielles. Par la suite des forages permettent d'envoyer de l'eau dans ces cavités. Celle-ci se transforme en vapeur d'eau au contact des roches chaudes. La vapeur d'eau est alors récupérée à l'aide d'autres forages et fait fonctionner une turbine. La turbine permet de produire de l'énergie électrique, une partie de la chaleur est récupéré pour le chauffage urbain ou industriel (figure 1). Cette technique est expérimentée en France à Soultz-sous-Forêts dans le graben du Rhin.

L'avantage de la géothermie est que la production d'électricité se fait en continue et ne dépend pas des aléas climatiques ou de la gravitation terrestre. De plus, elle permet de (co)produire de l'énergie thermique pour le chauffage. De nombreux pays utilisent

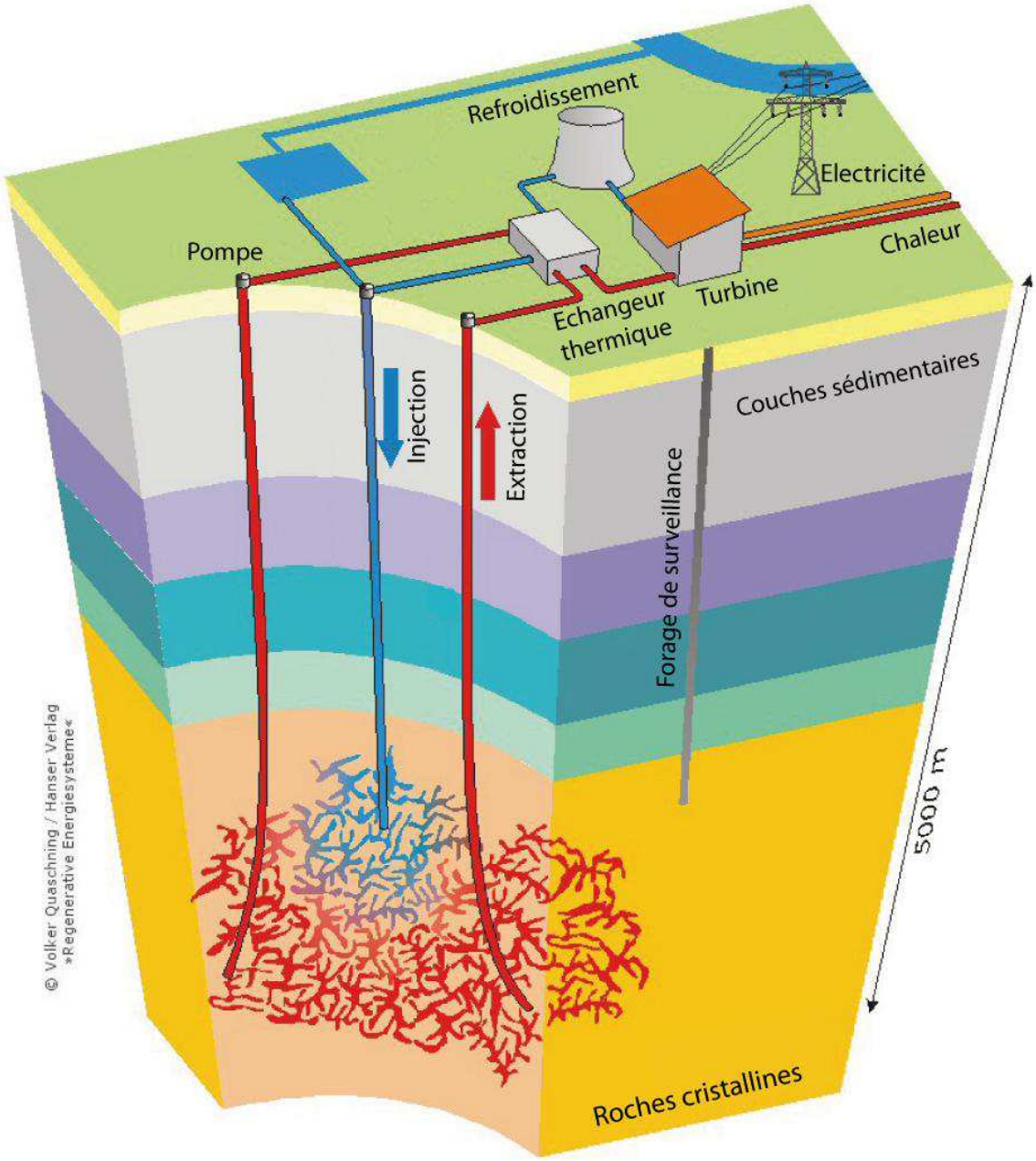
[1] Comme l'indique Jacques Vernier la majorité des centrales électriques fonctionne de la même façon (2012, p.10). L'énergie primaire – renouvelable ou non – est transformée en énergie thermique ou potentielle puis en énergie mécanique (turbine, hélice). Grâce à un générateur électrique cette dernière est transformée en énergie électrique. Parfois l'énergie mécanique est utilisée directement.

[2] Systèmes géothermiques améliorés

[3] Roches chaudes fissurées/sèches

cette énergie : Italie, Islande, Australie, Allemagne, USA (25% de la production mondiale), Mexique, Japon, Philippines (15% de la production mondiale), Indonésie (15% de la production mondiale), Nouvelle-Zélande (Observ'ER, 2011, p.16). Notons que la majorité de ces pays présente un risque sismique fort et/ou se trouvent sur des régions de frontières tectoniques. Aujourd'hui malgré des coûts d'installations élevés[1], le coût de l'électricité produite varie entre 1 et 10 centimes d'euros.

Figure 1 : L'exploitation « améliorée » de la chaleur interne du globe terrestre



Source : Volker Quaschning, 2011, p.322, modifié par Authier Felix, 2012.

[1] Entre 1200 € et 2800 € le kilowatt installé (Vernier, 2012, p.123)

La géothermie n'est pas sans risques et inconvénients. Premièrement la durée de vie des centrales géothermiques est limitée. Les eaux souterraines ont souvent des caractéristiques corrosives importantes en raison de leur teneur en minéraux comme le souffre. Malgré l'utilisation de filtres et l'utilisation de matériaux résistants, les installations sont fragilisées. La longueur des forages, la pression – plus de 3000 bars à dix kilom de profondeur – et la chaleur à des profondeurs importantes sont aussi un facteur de fragilisation. De plus, la température du sous-sol tend à diminuer lors de son utilisation. De ce fait, il faut que « … le rythme d'exploitation n'excède pas le rythme de renouvellement » (Vernier, 2012, p.115). D'après Volker Quaschning l'énergie thermique d'un forage est limitée à une trentaine d'années (2011, p. 318).

Deuxièmement, plus la croûte terrestre est épaisse, plus des profondeurs importantes sont nécessaires pour obtenir une énergie thermique suffisante à la production d'électricité. Or le forage d'un puits a un coût d'environ 1 million d'euros par kilomètre (Quaschning, 2011, p.316). Dans des régions où la croûte terrestre est trop épaisse, les forages sont donc impossibles et/ou trop coûteux. Il est à noter que la constitution exacte du sous-sol est imprévisible et que le forage peut être inexploitable. Par ailleurs, la diminution de ces coûts de forage est limitée; ce qui ne permet pas une généralisation de ces technologies à long terme (Quaschning, 2011, p.323). Toutefois un réel potentiel de développement existe dans les zones de fractures de la croûte terrestre comme le rift en Afrique occidentale.

Troisièmement, l'exploitation du sous-sol et la multiplication des forages peut entraîner l'instabilité du sol. Le risque de tremblement de terre est par conséquent augmenté. Ceci est important car cette technologie est surtout utilisée dans des régions où le risque sismique est déjà fort. Les essais effectués par la Geopower Basel AG en Suisse par exemple, ont été abandonnés à la suite de petits tremblements de terre en 2007 (Vernier, 2012, p.115). Enfin le dernier problème que peut poser l'exploitation de l'énergie géothermique est une pollution atmosphérique ou une pollution de l'eau. Les eaux extraites ou pompées peuvent libérer des substances polluantes telles que le méthane ou des métaux lourds. Mais comme le souligne Jacques Vernier, ces pollutions peuvent être limitées par la réinjection des eaux dans les sous-sols (2012, p.124-125).

La gravitation et la géothermique sont des sources d'énergies qui peuvent être considérées comme renouvelables. Elles ne peuvent pas s'épuiser à échelle humaine et présentent un potentiel de développement important. Toutefois leur exploitation est encore dans un stade précoce et demande une prudence vis-à-vis des risques possibles. À ces sources d'énergies primaires s'ajoute une dernière source d'énergie dont le potentiel est encore plus important : l'énergie solaire.

1.3. L'énergie solaire

La source d'énergie renouvelable la plus importante est l'énergie qui provient du rayonnement du soleil, l'irradiation. La terre reçoit en moyenne une puissance qui varie entre 85 Watt et 290 Watt par mètre carré par an (Vernier, 2012, p.11). Ceci représente plus de 10 000 fois les besoins en énergie primaire de l'humanité (Quaschning, 2011, p.36). La question est de savoir comment exploiter cette énergie. À la surface de la terre cette énergie primaire se transforme en de nombreuses autres énergies qui peuvent être exploitées. Nous nous concentrerons uniquement sur la production d'électricité à partir du rayonnement. Par conséquent les autres exploitations de l'énergie solaire ne seront pas étudiées[1]. L'énergie solaire peut soit être utilisée directement, soit être utilisée indirectement. Lorsqu'elle est utilisée directement l'énergie solaire est soit transformée en énergie électrique sans intermédiaire soit transformée artificiellement en différents types d'énergies qui à leur tour sont transformés en énergie électrique. L'utilisation indirecte correspond à la production d'électricité à partir de transformations naturelles de l'énergie solaire en énergie éolienne, en énergie hydraulique, en énergie houlomotrice, en biomasse et en énergie calorifique de l'eau et des sols. Nous rappellerons ici, qu'il ne s'agit pas de faire une liste exhaustive des énergies renouvelables mais d'en présenter les possibilités et les degrés de développement.

1.3.1. L'énergie éolienne

Le rayonnement solaire réchauffe la terre de façon inégale. Il en résulte des « zones de températures, de densités et de pressions différentes » (Vernier, 2012, p.35). Les vents sont des mouvements de masses d'air qui découlent de ces différences. L'énergie cinétique des vents – l'énergie éolienne – est exploitée en Perse depuis plus de plus 3000 ans (Hladik, 2011, p.31-32). Au XX^{ème} siècle apparaissent les premiers moulins à vents qui permettent de transformer l'énergie éolienne en énergie électrique. Le vent fait tourner une hélice qui est reliée[2] à un générateur électrique situé en haut de l'éolienne. Ce générateur transforme l'énergie mécanique de l'hélice en énergie électrique. Les onduleurs sont dans ces systèmes des éléments importants car ils permettent l'intégration du courant créé dans les réseaux électriques. Les éoliennes les plus puissantes ont en 2012 une puissance de plus 6 MWc et sont souvent localisées en mer[3].

[1] Pour plus d'informations sur l'exploitation de l'énergie solaire se reporter aux ouvrages suivants : VERNIER Jacques, (2012), *Les énergies renouvelables,* Paris, Presse Universitaires de France, 128p.

HLADLIK Jean (dir.), (2011), *Les énergies renouvelables aujourd'hui et demain,* Paris, Editions Ellipses, 522p.

[2] Parfois un multiplicateur de vitesse se situe après la turbine afin d'améliorer la production (Vernier, 2012, p.38).

[3] Les vents y sont plus réguliers et l'opposition des populations moins forte. Toutefois les coûts d'installation et de maintenance y sont plus élevées (Hladik, 2010, p.385)

Entre 1994 et 2011 la puissance cumulée installée dans le monde est passée de 3,51 GW à 194,4 GW (Quaschning, 2011, p.40 et Hladik, 2011, p.15). Cette énergie s'est donc développée très rapidement depuis le milieu des années 1990. Il est à noter que 50% de cette capacité est installé en Europe (Quaschning, 2011, p.40). Au niveau des pays ce sont les USA qui sont les premiers producteurs d'énergie éolienne au monde avec une production de 95,2 TWh en 2010, soit 27% de la production mondiale. L'Espagne et l'Allemagne produisent chacun plus de 10% de l'énergie éolienne mondiale et occupent respectivement la 3ème et la 4ème place (Observ'ER, 2011, p.7). Le potentiel de développement de cette énergie est encore important ; certains auteurs estiment « que le potentiel global de l'énergie éolienne serait d'environ 40 000 Terrawatt heures, ce qui est le double de la production électrique mondiale actuelle […] (Vernier, 2012, p.36). Le nombre d'installations devrait encore augmenter et les prix diminuer. Actuellement le prix du kilowattheure est en moyenne de 4 centimes d'euros. Ce qui représente une diminution de plus de la moitié par rapport à 1985 (Hladik, 2010, p.391). Il y a donc une diminution importante des coûts ce qui permet à l'énergie d'origine éolienne de concurrencer de nombreuses énergies fossiles. Toutefois l'impact des éoliennes sur l'environnement est critiqué par certains[1]. Elles sont considérés comme bruyantes, comme peu esthétiques et dangereuses pour les oiseaux – en particulier les oiseaux migrateurs.

1.3.2. L'énergie hydraulique

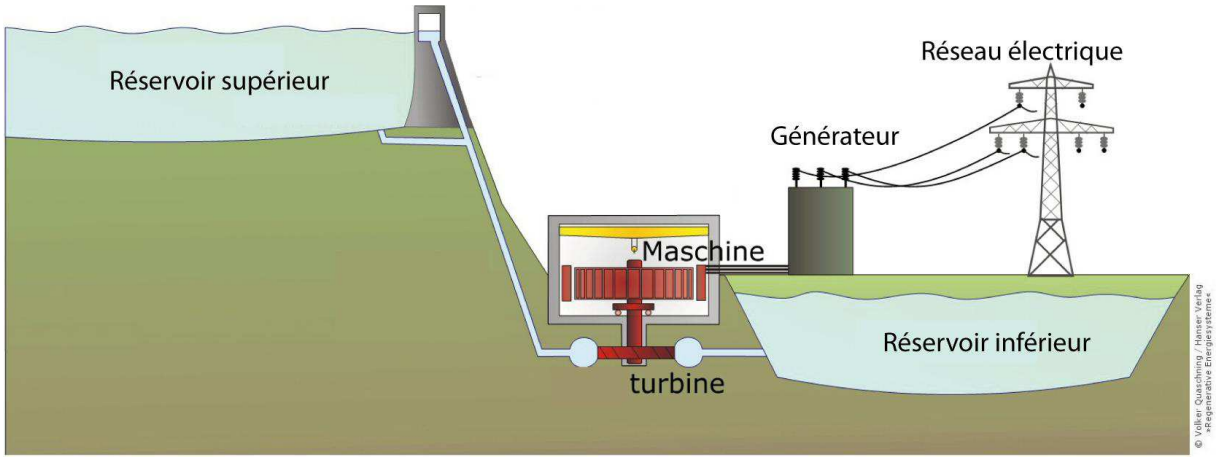
L'énergie solaire est responsable du cycle de l'eau. En effet elle entraîne l'évaporation de l'eau et par conséquent tous les phénomènes qui y sont liés : la pluie, la neige, les cours d'eau, les lacs, les mers, les océans, les nappes phréatiques… Au total ce sont 22% des radiations solaires qui sont transformés dans le cycle de l'eau soit environ 3000 fois plus que les besoins en énergie primaires mondiaux. Mais il n'y a qu'une petite partie qui est techniquement exploitable (Quaschning, 2011, p.295).

L'énergie hydraulique correspond à la puissance de l'eau lors de son écoulement. Différentes possibilités d'exploitations sont possibles. Soit c'est la hauteur de la chute, le dénivelé, qui est exploité – le débit est alors faible – soit c'est l'importance du débit qui est exploité et le dénivelé est faible. Il en découle plusieurs types de centrales hydrauliques (Hladik, 2010, p.306). Un type d'ouvrage intéressant est celui des « stations de transfert d'énergie par pompage » (figure 2). Il correspond à un type de centrale hydraulique à part entière. Les débits et dénivelés y sont obtenus artificiellement. Elles sont constituées de deux réservoirs à des altitudes différentes. Lors d'un surplus de production, l'électricité est utilisée pour pomper l'eau dans le bassin supérieur. Lors des heures de pointes l'eau peut à nouveau utilisée pour produire de l'énergie électrique. Ces stations peuvent être

[1] Afin de limiter ces critiques les Etats ont créés des cadres légaux spécifiques à l'installation de centrales éoliennes. En France il s'agit par exemple des Grenelles de l'environnement qui prévoient des schémas régionaux éoliens (Vernier, 2012, p.43).

considérées comme une solution de stockage de l'électricité d'origine renouvelable qui sont conditionnées par le climat (éolien, photovoltaïque) et dont la production ne coïncide pas toujours avec les besoins.

Figure 2 : Schéma d'une station de transfert d'énergie par pompage



Source : Volker Quaschning, 2011. modifié par Authier Felix, 2012.

Pour simplifier, ces centrales sont toutes constituées d'un barrage, d'un canal de dérivation, d'une turbine et d'un générateur électrique. Le canal de dérivation détourne une partie du cours d'eau pour actionner une turbine qui génère de l'énergie mécanique. Celle-ci met en route un générateur qui transforme l'énergie mécanique de la turbine en énergie électrique. Le principal inconvénient de ces ouvrages est leur dépendance climatique qui entraine des fluctuations annuelles et mensuelles de la production.

Les premières centrales hydrauliques sont apparues dans les années 1880 aux Etats-Unis et en France. Leur puissance était encore faible mais suffisait déjà à éclairer un village. En 1989 « …un barrage sur le Drac produit 200 kW pour éclairer 1000 logements à Grenoble » (Hladik, 2010, p.313). Aujourd'hui la puissance de ces centrales peut être, comme par exemple pour la centrale du barrage des trois gorges en Chine, de 18 000 MW pour une production annuelle de 85 TWh/an[1] (Hladik, 2010, p.313). L'énergie hydraulique est aujourd'hui l'énergie renouvelable la plus utilisée dans la production d'électricité mondiale : 90% de l'énergie renouvelable est d'origine hydraulique (Hladik, 2010, p.335). C'est également la technologie la plus aboutie. En parallèle à l'augmentation de la taille des centrales, une croissance importante de la production est observable. Entre 1965 et 2010 la production annuelle est passée de 1000 TWh à 3000 TWh. C'est en Asie que la croissance est la plus rapide. En Chine par exemple, la

[1] En rappel, la production totale d'électricité mondiale en 2012 est de 20 000 TWh (Vernier, 2012, p.65).

production augmente environ de 10% par an (Hladik, 2010, p.335). Ainsi dans certains pays comme la Norvège ou le Paraguay les centrales hydroélectriques produisent presque la totalité de l'électricité consommée du pays (Quaschning, 2011, p.295). D'après Vernier, « … l'hydroélectricité représentait, en 2009, 16,1% de la production totale d'électricité, donc légèrement plus que l'énergie nucléaire (13,5%) … » (2012, p.65). Cette production est dominée par la Chine (20% de la production mondiale, soit 720,9 TWh en 2010) et le Brésil, le Canada et les USA avec environ 10% de la production mondiale chacun (Observ'ER, 2011, p.3). Jacques Vernier considère que le potentiel mondial techniquement exploitable est de 9000 TWh mais qu'en Europe et en Amérique du nord, 70% des sites exploitables sont déjà utilisés (2012, p.65). C'est dans les pays en voie de développement que les ressources sont les plus importantes. Ainsi l'Asie n'exploite que 20% de ses possibilités, l'Amérique du sud 30% et l'Afrique 7%.

Les ouvrages hydroélectriques ont un coût important mais en raison de leur durée de vie élevée, ils permettent de produire de l'électricité à bas prix. Le prix de l'électricité produite par ces centrales – en excluant l'investissement initial mais en incluant l'entretien – varie entre 2 et 5 centimes d'euros le kWh (Vernier, 2012, p.66). Elles sont rentabilisées après environ trente années d'utilisation.

Il est à noter que la construction des centrales hydroélectriques a des effets importants sur l'environnement et l'œkoumène. Ces modifications ne sont pas toujours négatives. Au niveau des conséquences « humaines », un barrage permet par exemple de faciliter la navigation, de créer une réserve d'eau pour l'irrigation et de développer l'activité piscicole (Hladik, 2010, p.337 ; Vernier, 2012, p.59-62). De plus les lacs artificiels créés présentent un potentiel touristique considérable. Enfin le dernier aspect positif correspond à une protection – relative – contre les crues grâce à la régulation du cours d'eau. Toutefois la régulation des cours d'eau peut également être néfaste pour les activités humaines, en particulier pour l'agriculture traditionnelle. Le barrage d'Assouan en Egypte régule les crues annuelles du fleuve. Or les paysans profitaient de ces crues car elles alimentaient les champs en limons fertiles. La régulation des crues a appauvri ces terres et par conséquent les paysans qui les exploitaient (Vernier, 2012, p.61). Ce barrage est aussi un exemple du risque archéologique de ces œuvres. Lors de sa construction, de nombreux sites historiques ont étés inondés. Au niveau humain, l'aménagement des cours d'eau à des fins énergétiques peut augmenter le risque d'inondations violentes. Une grande crue peut entraîner une inondation soit en amont si l'ouvrage retient trop les débits, soit en aval si l'ouvrage cède[1]. Un séisme peut également entraîner une crue par la destruction du barrage ou un glissement de terrain[2]. Enfin, le dernier impact négatif sur les sociétés humaines est le déplacement de population. La construction du barrage des Trois Gorges en Chine a par exemple déplacé selon les autorités chinoises 1,8 million

[1] « En 1889, le barrage en terre de Johnstown, aux Etats-Unis, emporté par une crue, fit 2000 victimes » (Vernier, 2012, p.57)

[2] Celui-ci augmenterai le niveau de l'eau du réservoir.

d'habitants (Hladik, 2010, p.337). Ces déplacements peuvent indirectement avoir un effet sur l'environnement en augmentant la pression démographique des régions d'accueil. La construction d'un barrage hydro-électrique a également des effets « directs » sur l'environnement. Lors de l'inondation du territoire des espèces endémiques peuvent être submergées. L'écosystème existant est donc modifié. Les végétaux lors de leur décomposition « consomment » de l'oxygène et produisent du méthane[1]. Cette décomposition nourrit également l'eau, ce qui favorise le développement d'algues qui à leur tour se décomposent. La diminution du taux d'oxygène est accentuée par la stagnation de l'eau. L'on assiste au phénomène d'eutrophisation (Vernier, 2012, p.61). Cette absence d'oxygène peut être responsable d'une mortalité élevée de poissons[2]. Un barrage est aussi un frein à l'écoulement de l'eau. Il barre l'eau mais aussi la migration des poissons vers leurs zones de frayères. Enfin la construction d'un barrage a des effets sur l'érosion. Comme son nom l'indique il barre le cours d'eau ce qui a pour effet de diminuer la turbidité de l'eau. L'eau est moins chargée et a un potentiel d'érosion plus élevé à l'aval. « À l'embouchure du fleuve dans les régions deltaïques le rivage recule quand l'érosion de la mer n'est plus compensé par les apports d'alluvions » (Vernier, 2012, p.62). Il existe d'autres effets sur l'environnement mais l'énergie hydraulique n'est pas l'objet essentiel de notre rapport et nous ne présenterons donc uniquement les effets principaux.

Comme nous l'avons pu le voir cette technologie est abouti et ses effets sur l'environnement sont connus. Ainsi les nouveaux projets doivent s'inscrire dans une logique de développement durable si l'on veut considérer l'énergie hydroélectrique comme une énergie du futur. C'est-à-dire que les projets doivent prendre en compte un aspect humain, environnemental et économique. Le potentiel exploitable est encore important. Mais d'après Volker Quaschning, à cause son potentiel limitée, la production d'énergie électrique éolienne et photovoltaïque dépassera à terme la production d'énergie hydroélectrique (Quaschning, 2011, p.40).

1.3.3. La biomasse

La biomasse correspond d'après la directives 2001/77 de l'union européenne à : « la fraction biodégradable des produits, déchets et résidus provenant de l'agriculture (y compris les substances végétales et animales), de la sylviculture et de ses industries connexes, ainsi que la fraction biodégradable de déchets industriels et municipaux » (Furfari, 2012, p.105). Lors de la photosynthèse les végétaux stockent l'énergie solaire pour croître (Quaschning, 2011, p.331). Ce sont des énergies renouvelables car il est possible de cultiver les végétaux et d'élever les animaux. L'énergie végétale et animale est, d'un point de vue historique, la première énergie utilisée par l'homme. Dès la

[1] Un gaz qui a un fort effet de serre. Toutefois cette production n'est pas comparable avec la production anthropique de gaz à effet de serre.

[2] Paradoxalement un excès d'oxygène est également mortel pour les poissons.

préhistoire le bois est brûlé et l'énergie dégagée est utilisée pour la cuisson, les armes, ou la chasse. Comme nous pouvons le voir, leur utilisation peut prendre différentes formes qui n'ont pas toujours une finalité énergétique. La fabrication du papier à partir de bois, par exemple, n'a pas une finalité énergétique. Ce n'est qu'à partir des années 1970 que leur utilisation énergétique se développe en particulier à cause des chocs pétroliers. En Europe le développement est lent jusqu'au début des années 1990 puis s'accélère jusqu'à la fin des années 2000 (Vernier, 2012, p.75). Au début des années 2010 il n'y a qu'un pour cent de la biomasse nouvellement constituée qui est utilisé à des fins énergétiques (Quaschning, 2012, p.333). « Les centrales électriques à biomasse ont fourni en 2009 1,2% de l'électricité mondiale, 3,4% de l'électricité européenne … » (Vernier, 2012, p.87). En 2010, ce sont les USA, l'Allemagne et le Brésil qui produisent le plus d'énergies à partir de la biomasse : soit respectivement 23%, 13% et 10% (Observ'ER, 2011, p.12). Leur utilisation est donc encore marginale. De plus, en raison du besoin de surfaces « agricoles alimentaires » le potentiel de la biomasse est limité. D'après Volker Quaschning le potentiel de biomasse disponible en Allemagne ne permet de couvrir que 9% du besoin total en énergie primaire du pays.

Pour obtenir de l'énergie électrique à partir de la biomasse, différentes méthodes existent : la combustion ou leur transformation en biocarburants (Hladik, 2011). Pour la combustion de nombreuses matières premières peuvent être utilisées : bois, déchets[1], animaux, paille…Lors de la combustion, différents stades existent. Lorsqu'elle est totale, les matériaux sont brûlés totalement, « …c'est-à-dire convertis en gaz carbonique CO_2 et en eau » (Vernier, 2012, p.79). La combustion peut être utilisée pour obtenir de l'énergie thermique et transformer un liquide en vapeur. Cette vapeur actionne une turbine à vapeur. La turbine à son tour fait fonctionner un générateur qui transforme l'énergie mécanique en énergie électrique (Vernier, 2012, p.83). Lors de la pyrolyse[2] la biomasse est décomposée par la chaleur en « éléments plus simples qui apparaissent sous forme gazeuse, liquide et solide » (Hladik, 2011, p.120). Les gaz, principalement du méthane sont récupérés et transformés en énergie électrique grâce à une turbine à gaz ou à vapeur. Le principe de transformation finale est toujours le même. Afin d'avoir un rendement maximum lors des différentes combustions, la cogénération est possible. C'est-à-dire la transformation de la biomasse en électricité injectée dans les réseaux électriques mais aussi en chaleur pour le chauffage industriel ou urbain (Vernier, 2012, p.87).

La transformation de la biomasse en biocarburant est un autre moyen de produire de l'électricité. Les carburants proviennent dans ce cas de la transformation de produits agricoles biologiques[3]. Lorsque les carburants sont issus directement de cultures –

[1] Les déchets peuvent être de nature très différentes : industrielle (sucreries, brasseries, papeteries, scieries…), agricoles (lisiers de porcs, fumiers, fientes de volailles), urbaines (boues de stations d'épurations, ordures ménagères) (Hladik, 2011, p.127).

[2] Dans ce cas la combustion n'est pas totale.

[3] Mais pas d'une agriculture biologique !

plantes saccharifères, amylacées ou oléagineuses – on parle de carburants de première génération. Ils sont critiqués car les terres ou les récoltes utilisées à cet effet ne le sont pas pour l'alimentation[1]. Mais aussi à cause de leur effet sur la déforestation (au Brésil par exemple).

Lorsque les carburants sont issus des « … résidus forestiers ou de cultures, ainsi que du bois » (Hladik, 2011, p.141) ou des restes de l'industrie, il s'agit de carburant de deuxième génération. Ces produits ne sont donc pas comestibles et n'entrent pas en concurrence avec l'alimentation humaine et animale. Ces carburants de deuxième génération peuvent aussi être issus de plantes non comestibles comme le jatropha qui pousse dans des régions arides.

Enfin les carburants de troisième génération sont en phase de développement. Ils sont issus de microalgues qui convertissent le CO_2 en lipides. Les lipides sont transformables en biocarburant (Vernier, 2012, p.96).

Enfin le dernier carburant issu de la biomasse est le biogaz. En l'absence d'oxygène, les produits biologiques fermentent et dégagent du gaz inflammable surtout constitué de méthane (Quaschning, 2011, p.341). La photographie 3 montre la centrale à gaz de Söhnergy à Schwaigern en Allemagne. Elle a une puissance de 1 MW et produit de l'électricité et de la chaleur à partir de maïs ensilage et de paille de seigle. Elle alimente environ 1600 ménages en électricité et 300 en chaleur.

Photographie 3 : La centrale électrique à biomasse de Söhnergy à Schwaigern en Allemagne.

Source : Authier Felix, 2012.

[1] Cette critique peut se justifier à grande échelle, mais à petite échelle les problèmes alimentaires mondiaux s'expliquent en grande partie par la gestion boursière des prix des ressources alimentaires.

Tous ces carburants peuvent être utilisés pour la production d'électricité dans des centrales utilisant les carburants conventionnels. Le plus souvent ces carburants sont incorporés dans les carburants d'origine pétrolière[1]. Dans le cas des carburants liquides, « la fabrication des biocarburants passe d'abord par l'obtention de deux produits de base[2] : d'une part l'éthanol (alcool) qui sera incorporé dans l'essence […] d'autre part, les huiles végétales qui seront incorporées dans le gazole… » (Hladik, 2011, p.130). En 2009, environ 75 milliards de litres de bioéthanol ont été produits. Le Brésil et les Etats-Unis à eux seuls représentent 90% de cette production (Hladik, 2011, p.150). Les coûts de production en 2009 varient entre 0,40€ et 0,65€ le litre pour l'éthanol et entre 0,70€ et 0,90€ le litre pour le biodiesel. Le bioéthanol est donc d'un point de vue économique plus intéressant[3].

La biomasse présente l'avantage de ne pas être directement dépendante des aléas climatiques. La production d'électricité est également plus flexible et peut facilement s'adapter aux variations des besoins énergétiques. Toutefois cette indépendance est à relativiser car en fonction du climat les récoltes peuvent fluctuer d'une année à l'autre. Les déchets eux ne sont pas variables. Un autre avantage de la biomasse est que son utilisation dégage moins de gaz à effet de serre que celle des carburants conventionnels. En outre sa transformation consomme moins d'énergie fossile que la transformation du pétrole brut[4] (Vernier, 2012, p.89). Notons que du fait de la dépendance de la biomasse des produits agricoles, toute augmentation du prix du pétrole diminue la rentabilité de la transformation de la biomasse – à cause de l'augmentation des prix des matières premières agricoles[5].

Les inconvénients de la biomasse sont dans un premier temps spatiaux. En effet la production de biomasse entre en concurrence avec les cultures alimentaires, ce qui peut être à l'origine d'une montée des prix des produits alimentaires de base à échelle mondiale et de famines (Quaschning, 2011, p.342). De plus l'attractivité économique des « cultures énergétiques » entraîne un phénomène de déforestation[6] en Amazonie mais aussi en Asie du Sud-est (Vernier, 2012, p.94). Enfin de nombreuses critiques mettent en avant la pollution engendrée par la biomasse. La technique de la combustion par exemple entraîne une diffusion de particules fines de moins de deux microns qui sont nocives pour l'homme (Vernier, 2012, p.81). D'autres pollutions comme la libération des protoxydes

[1] Il est à noter que l'invention des biocarburants n'est pas récente. Dès 1937 un brevet sur le biodiesel a été déposé par le Belge G. Chavanne (Quaschning, 2011, p.338).

[2] Les plantes contenant du sucre comme les betteraves ou la canne à sucre servent à la production d'éthanol. Les huiles végétales sont obtenus à partir du pressage et du raffinage des graines des plantes oléagineurses comme le tournesol, le jatropha, le karanj, le colza.

[3] Le coût de production du carburant à base d'énergies conventionnelles était en 2010 de 0,45€ par litres (Vernier, 2012, p.93).

[4] Il est à noter qu'au niveau de la pollution atmosphérique locale, les biocarburants ne polluent pas moins que les carburants conventionnels (Vernier, 2012, p.90).

[5] Ceci concerne surtout les combustibles de première génération

[6] Et tous les problèmes qui en découlent : libération de carbone, érosion, appauvrissement des sols, disparition d'espèces animales et végétales…

d'azote[1] ou du carbone stockés dans la terre sont également critiqués. Au niveau de la production d'électricité le principal intérêt de la biomasse est par conséquent d'être complémentaire aux énergies qui dépendent du climat comme l'éolien et le solaire.

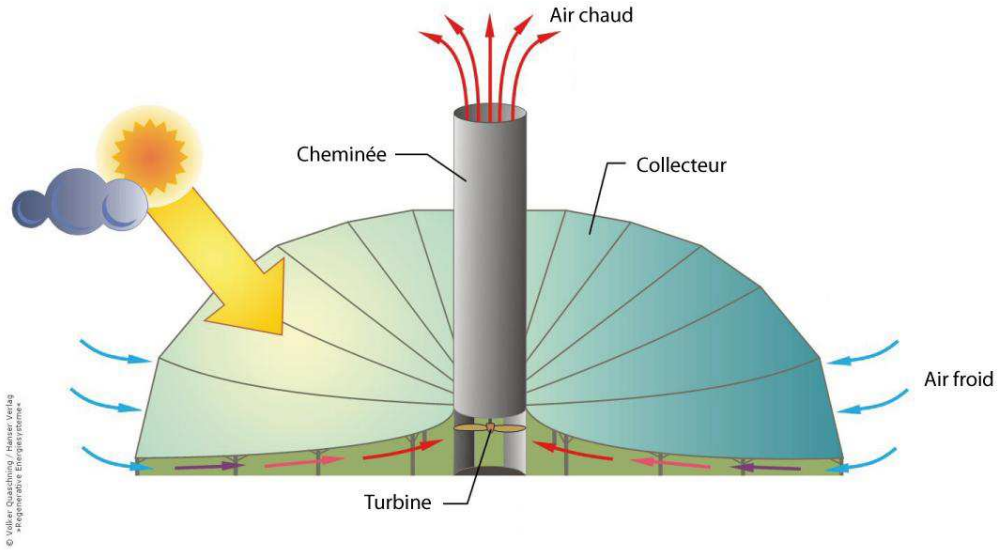
1.3.4. L'énergie solaire directe

Il est possible de classer la production directe d'électricité à partir d'énergie solaire selon trois grandes techniques : le réchauffement de l'air, le réchauffement d'un liquide et la transformation directe du rayonnement en électricité.

Le réchauffement de l'air

Le réchauffement de l'air correspond aux cheminées solaires (figure 3). L'air est réchauffé dans un collecteur en matériau transparent comme des plaques de verre ou de plastique. Cet air chaud monte[2] alors dans une tour et active des turbines. Ces turbines sont reliées à un générateur électrique qui produit de l'électricité (Quaschning, 2011, p.131). Leur principal avantage est de continuer à fonctionner la nuit grâce à la chaleur stockée dans le sol. « Le premier inventeur est le colonel Isidoro Cabanyes qui publia en 1903 un modèle de tour solaire dans la revue *La Energia eléctrica* » (Hladik, 2011, p.393). Cette technique est donc ancienne mais à cause de problèmes techniques comme la hauteur des cheminées, ces centrales ne se développent que lentement. Toutefois des projets existent. À la fin des années 1980 une centrale d'une puissance nominale de 50 kWc a existé en Espagne à Manzanares.

Figure 3 : Le principe des cheminées solaires



Source : Quaschning, 2011, modifié par Authier Felix, 2012.

[1] À cause des engrais
[2] L'air chaud est plus léger que l'air froid.

À la suite d'une tempête elle a néanmoins dû être démontée (Quaschning, 2011, p.132). En Australie par exemple le projet d'une centrale de 200 MWc avec une cheminée de 1000 mètres de haut et 180 de large est en étude (Quaschning, 2011, p.132).

Le réchauffement d'un liquide caloporteur

Le réchauffement d'un fluide caloporteur se fait par la concentration de l'énergie solaire. La concentration de l'énergie solaire est une technique utilisée dès l'antiquité grecque pour allumer la flamme olympique et à partir du XV^{ème} siècle dans le cadre de la construction de serres horticoles (Hladik, 2011, p.35). En 1906 la production d'énergie électrique à partir de la concentration du rayonnement solaire émerge aux Etats-Unis (Quaschning, 2011, p.151). Mais ce n'est que dans les années 1980 à la suite des chocs pétroliers que la technique se développe. Dans les années 1990 la faiblesse des prix des énergies fossiles a entrainé à nouveau l'arrêt du développement de cette technique. À partir du milieu des années 2000 l'intérêt pour ces centrales réapparaît en Espagne et aux Etats-Unis (Vernier, 2012, p.21).

Afin de produire de l'électricité, des températures très élevées sont nécessaires. Il faut donc concentrer l'énergie solaire grâce à des concentrateurs qui renvoient le rayonnement solaire sur un récepteur (Hladik, 2011, p.227). En fonction du type de centrale le récepteur peut être un tuyau (photographie 4) ou un point (photographies 5 et 6) et les températures obtenues varient entre 500 °C et 4000 °C (Quaschning, 2011).

Photographie 4 : La centrale solaire thermique du centre de recherche PSA près de Almeria en Espagne; exemple d'une concentration linéaire

Source : Volker Quaschning, 2012.

Sur la photographie 4, au premier plan, nous pouvons voir les canalisations qui permettent l'acheminent du fluide caloporteur vers les concentrateurs. La transformation de l'énergie thermique (fluide caloporteur) se fait ensuite sur le principe de la majorité des centrales : conversion de l'énergie thermique en énergie mécanique (turbine) qui est à son tour convertie an énergie électrique (générateur). Il est également possible de stocker une partie de la chaleur dans un accumulateur thermique afin de l'utiliser durant la nuit, les périodes sans soleil et en cas de besoins énergétiques importants.

Photographie 5 : La tour solaire thermique du centre de recherche PSA près de Almeria en Espagne; exemple d'une concentration en un point

Source : Volker Quaschning, 2012.

Les rendements[1] de ces centrales atteignent aujourd'hui entre 15 et 20% ce qui en fait des alternatives intéressantes aux centrales conventionnelles qui ont des rendements d'environ 35% (Vernier, 2012, p.20). Le prix de la production d'électricité de ces centrales est en moyenne de 15 centimes d'euros le kWh, ce qui est encore élevé. Mais la recherche dans ce domaine qui n'a repris que récemment (milieu des années 2000) devrait amener à des améliorations de ces rendements et une baisse des prix de production. La recherche est aujourd'hui encouragée par l'Organisation de coopération et de développement économiques, OCDE, et la banque mondiale (Quaschning, 2011, p.154 ; Vernier, 2012, p.21). D'après Vernier la puissance totale des centrales solaires thermiques installées dans le monde en 2010 est d'environ 1200 MW, dont plus de 90%

[1] Le rendement correspond au rapport entre l'énergie électrique obtenue et l'énergie primaire (renouvelable) utilisée.

en Espagne et aux USA (2012, p.21). Elles produisent environ 1 TWh par an. Ces centrales sont donc encore en pleine émergence

Photographie 6 : La centrale solaire thermique du centre de recherche PSA près de Almeria en Espagne; exemple de concentration en un point

Source : Volker Quaschning, 2012.

.

Comme le montre Vernier (2010, p.22), lors de la construction de ces centrales thermiques plusieurs conditions sont à remplir. En effet ces centrales sont « gourmandes » d'espace. Il faut en moyenne 2 hectares par MW. De plus elles nécessitent la proximité d'un accès à l'eau, nécessaire à la production de vapeur et au fonctionnement de la turbine. Enfin la proximité d'une zone de consommation est un avantage dans la mesure où il existe des pertes d'énergie électrique lors de son transport. Comme nous l'avons vu plus haut, le problème de la coïncidence entre moment de production et moment de consommation peut être résolu grâce à des accumulateurs de chaleur. Il faut donc des étendues importantes, ensoleillés à proximité de zones urbaines et disposant d'un accès à l'eau. Le potentiel de ces centrales est par conséquent limité.

La transformation directe du rayonnement en électricité

La transformation de l'énergie solaire en énergie électrique sans conversion intermédiaire correspond au photovoltaïque – du grec *photós* qui signifie lumière et du physicien Volta (1745-1827). « L'effet photovoltaïque a été découvert en 1839 par le physicien français Antoine Becquerel[1] » (Hladik, 2011, p.260). À la suite d'un processus physique complexe le contact entre les particules de lumières et le matériau semi-conducteur « … entraîne un mouvement des électrons des atomes de ces matériaux. Or, le courant électrique n'est rien d'autre qu'un mouvement d'électrons » (Vernier, 2012, p.23). La transformation du la radiation se fait donc dans ce cas sans intermédiaire. Toutefois ce n'est qu'en 1954 que cet effet est utilisé par des chercheurs américains – Chapin, Pearson et Prince - pour construire des cellules photovoltaïques (Quaschning, 2011, p.165).

Une cellule photovoltaïque est constituée d'une fine couche d'un matériau semi-conducteur, majoritairement de la silice. Le silicium est une matière abondante ; c'est après l'oxygène l'élément le plus répandu sur terre (Hladik, 2011, p.267). D'autres matériaux semi-conducteurs sont utilisés ou étudiés mais ils posent des problèmes de fragilités, de rendements, d'abondances des ressources et de pollution. Aujourd'hui la recherche se concentre sur la création de nouveaux matériaux semi-conducteurs – à partir de matière organique (végétale) par exemple – et « … l'augmentation des rendements de conversion, l'augmentation de la durée de vie […] et la réduction des prix de fabrication » (Hladik, 2011, p.259). Un exemple de domaine de recherche correspond à la concentration des rayons solaires à l'aide de matériaux qui agissent comme une loupe (Hladik, 2011, p.294-295).

Les cellules sont une pièce essentielle d'une centrale photovoltaïque électrique. En effet les cellules – qui ont une puissance unitaire d'environ 1 W – sont connectées entre elles pour former un module PV. Un module a en moyenne une puissance de 50 Wc et est constitué de 32 à 40 cellules (Quaschning, 2011, p.195). Ces modules sont assemblés en fonction de la puissance finale désirée et de l'espace disponible. L'ensemble des modules forme le générateur. Avec l'onduleur ou le régulateur de charge de la batterie[2], les différents compteurs et les accessoires de gestion et de surveillance de la production, les générateurs forment les autres éléments d'un système photovoltaïque. Les autres éléments d'un système PV sont approfondis dans le chapitre 3 (figure 11).

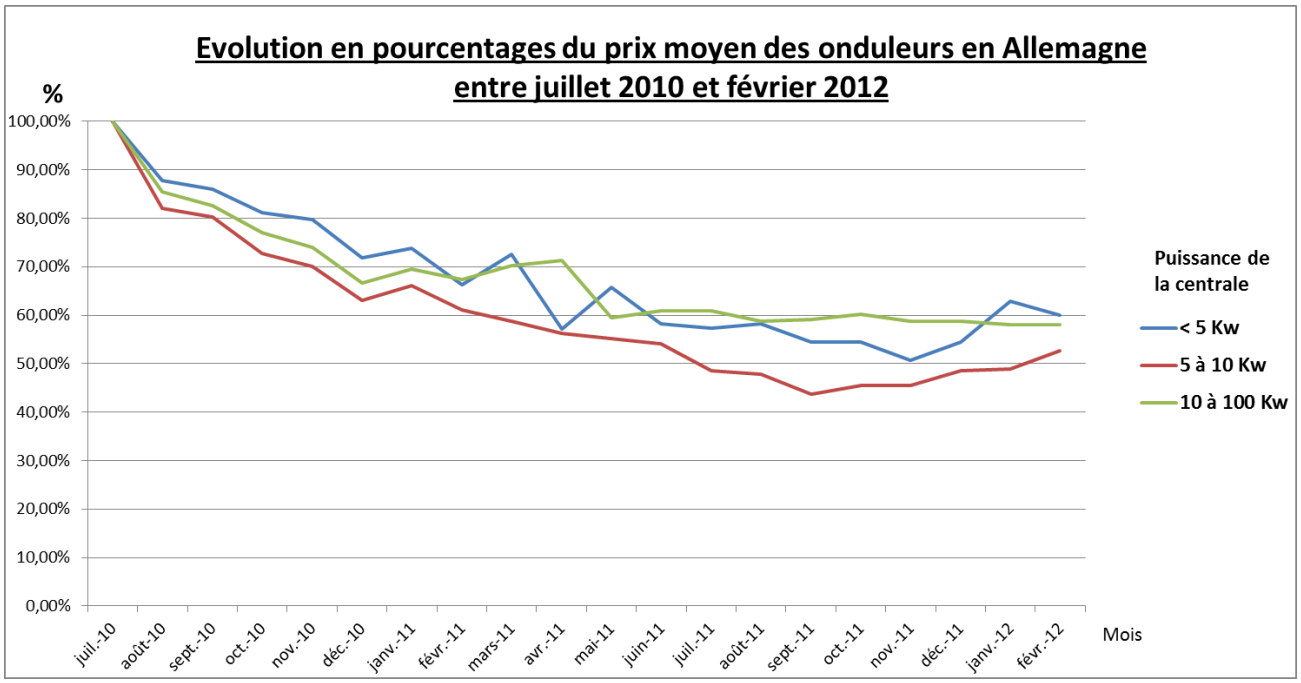
Il existe plusieurs grands types de systèmes photovoltaïques : les systèmes insulaires et les systèmes raccordés au réseau. Un système insulaire correspond à une installation qui n'est pas raccordée au réseau électrique des fournisseurs. Il peut

[1] Né en 1788, mort en 1878

[2] En fonction du système PV un régulateur de charge ou de décharge de batterie est nécessaire.

alimenter d'un simple appareil comme une calculatrice à un village éloigné et isolé. À cause du coût important de la technologie, ces systèmes représentaient 95% des installations PV jusqu'à la fin des années 1980 (Vernier, p.30). Ils ne servent alors qu'à alimenter des petits appareils de faible puissance. Une exception est l'utilisation du PV dans les projets aérospatiaux – satellites – en raison d'importants moyens financiers mis à disposition par les gouvernements dans le cadre de la guerre froide (Hladik, 2011, p.261). Aujourd'hui ces systèmes sont minoritaires[1] car le coût de production de l'électricité qui varie entre un et deux euros le kWh reste élevé (Vernier, 2012, p.29). Ils servent – en combinaison avec une éolienne et une batterie – à alimenter des appareils électriques non rattachés au réseau comme des horodateurs, de l'éclairage, des radars ou des stations météorologiques. Les systèmes reliés au réseau représentent en 2012 aujourd'hui plus de 90% des applications du PV dans le monde. L'électricité produite peut être injectée dans les réseaux publics et doit dans ce cas avoir des caractéristiques (tension, courant) proches de l'électricité du réseau.

Figure 4 : L'évolution du prix des onduleurs en Allemagne entre 2010 et 2012



Source : Authier Felix, 2012

Économiquement une baisse des prix importante des centrales photovoltaïque est observable. En Allemagne le prix pour une centrale de moins de 100 kWc est passé de 10 000 €/kWc au début des années 1990 à 2500 €/kWc[2] en 2011. Pour une centrale de plus d'un MWc les prix en 2011 se situent à environ 2000€/kWc (Quaschning, 2011,

[1] Sauf dans des pays comme l'Australie où il existe de nombreuses habitations isolées.
[2] En comptant tous les éléments de la centrale et le montage

p.362). Ce qui représente une diminution de plus de 70%. Cela s'explique d'une part par des progrès technologiques (diminution des quantités de matière utilisée, augmentation des rendements[1]), de mesures politiques spécifiques[2] et un développement des marchés (économies d'échelles grâce à l'augmentation des capacités mondiales de production, entrée sur les marchés des producteurs asiatiques. Le prix des autres composants des centrales PV à également diminué. Le prix moyen des onduleurs par exemple a chuté de près des 40% en Allemagne 2010 et 2012 (figure 4). D'après des calculs de KACO new energy une centrale photovoltaïque est, en 2012, remboursée après environ 10 ans.

Cette baisse des prix a été un facteur important de l'augmentation rapide du nombre d'installations photovoltaïques à partir des années 2000 (figure 5). Dans le monde, en 2012, la puissance cumulée totale installée est de 67,4 GW ce qui représente un taux de croissance de plus de 6000 % par rapport à 2000 et de 44 830 % par rapport à 1992. Il est à noter qu'en 2010, cela représente moins d'un 1% de la production d'énergie électrique mondiale (BP, 2011).

Figure 5 : Évolution en GWc de la puissance photovoltaïque cumulée installée dans le monde entre 1992 et 2011

Année	1992	1995	1998	2000	2002	2004	2006	2008	2009	2010	2011
GWc installés	0,15	0,34	0,67	1,10	1,94	3,70	6,85	15,6	22,9	39	67,4

Source : Quaschning 2011, Epia 2012

Les développements technologiques ont également permis la croissance de la taille des centrales qui atteignent aujourd'hui plusieurs centaines de MWc. La centrale de Toul en France par exemple, a une puissance de 115 MWc (Vernier, 2012, p.32). Les installations photovoltaïques présentent l'inconvénient de nécessiter beaucoup d'espace (photographie 7). Comme l'indique Vernier (2012, p.32) il faut « … 1 à 5 hectares de terrain par mégawatt installé ». Toutefois contrairement à l'éolien ou au solaire thermique, le photovoltaïque est plus modulable. Ainsi les toitures ou les murs peuvent être des supports pour les installations PV. En outre la production d'électricité PV, à cause de la difficulté de stockage de cette énergie, présente l'inconvénient de ne pas coïncider avec les pics de consommation (hiver et fin de journées). Des solutions comme les batteries

[1] Jusqu'à 40% en laboratoires et 20 % en conditions « réelles » (Quaschning, 2011). Les rendements du photovoltaïque entrent donc en concurrence avec ceux des centrales thermiques qui sont de 35%.

[2] Les fournisseurs d'électricité sont par exemple obligés d'acheter l'électricité produite à un tarif fixé par l'État. L'exemple des mesures politiques mis en œuvre en Allemagne est développé dans le troisième chapitre. Il a été à la base de nombreuses autres mesures dans d'autres pays.

existent mais elles sont (souvent) encore trop coûteuses. Une autre critique fréquente est celle du coût énergétique de la production et de la fin de vie des différents éléments des systèmes PV. Grâce aux progrès technologiques ces questions comme le recyclage du silicium sont en cours de résolutions (Quaschning, 2011).

Photographie 7 : La centrale photovoltaïque de Waldpolenz en Allemagne

Source : Juwi, 2012

Conclusion

La conversion d'énergie renouvelable en électricité est donc encore récente et n'a pas (toujours) atteint sa maturité économique et technologique ; de nombreuses pistes de recherches existent encore. Ces recherches permettront à moyen terme d'augmenter les rendements, de baisser les prix et de coordonner les périodes de production et de consommation. Le problème essentiel aujourd'hui réside dans la difficulté de stocker l'énergie électrique. En effet, les heures de production des énergies renouvelables ne concordent pas toujours avec les heures de consommation. C'est pourquoi les énergies renouvelables sont à considérer dans leur ensemble. Leur complémentarité permet de

limiter cet inconvénient. Mais des solutions « techniques » comme l'utilisation des voitures électriques et l'utilisation de l'hydrogène à des fins de stockage se développent[1].

Il est à noter qu'il ne faut pas confondre énergies renouvelables et énergies inoffensives – ou non polluantes – pour l'environnement et le climat. Comme il a été décrit dans la partie précédente la production et l'utilisation de ces énergies n'est pas sans effet sur l'environnement. De plus le développement des énergies renouvelables ne peut se faire sans les énergies fossiles (transport, matériaux de construction…). Toutefois l'utilisation des énergies renouvelables a des effets beaucoup plus faibles que ceux engendrés par l'exploitation et l'utilisation des énergies conventionnelles. Le principal intérêt des énergies renouvelables est leur caractère inépuisable à échelle humaine.

En 2010 la production d'électricité renouvelable a atteint 20% du total de l'énergie électrique produite dans le monde. L'hydraulique en représentait 86% (Observ'ER, 2011). Comme nous avons pu le voir, l'utilisation des énergies renouvelables est le fait d'une dizaine de pays dans lesquels l'Allemagne joue un rôle important.

[1] L'énergie produite en dehors des heures de consommation recharge la batterie de la voiture. La nuit lorsque la voiture n'est pas utilisée, le courant de la batterie est restitué dans les réseaux publics.

2. L’Allemagne, un pays précurseur dans le domaine des énergies renouvelables

2.1. Les vicissitudes des énergies renouvelables en Allemagne

2.1.1. L'émergence de l'idée des énergies renouvelables dans les années 1970

Les énergies renouvelables (ré)émergent en Allemagne à partir des années 1970. « Au début ce processus n'est pas basé sur des inventions techniques mais sur des idées et des utopies qui se réfèrent à la réactivation et la réinterprétation de techniques connues depuis longtemps[1] » (Mautz & *alii*, 2008, p.17). En effet, comme nous l'avons vu précédemment les énergies renouvelables sont utilisées dès le début du XX^{ème} siècle pour la production d'électricité. Mais en raison du faible prix des énergies conventionnelles, ces techniques ne se sont pas développées et ont presque disparu (Mautz & alii, 2008, p.17). Cette réémergence se limite et s'inscrit dans un mouvement général de protestation – dans lequel l'écologie est un des thèmes de contestation – qui apparaît dans les années 1960. Le thème des énergies renouvelables se développe à l'intérieur de ce mouvement à partir du milieu des années 1970 (Mautz & *alii*, 2008, p.40). Le mouvement écologique est composé d'individus d'origines différentes comme des agriculteurs, des étudiants, des scientifiques mais aussi des industriels[2] qui s'opposent à l'utilisation de l'énergie nucléaire et la construction de projets de grande envergure[3] (Radkau, 2011). Pour chacun de ces acteurs les enjeux sont différents. Ainsi pour les étudiants les raisons sont écologiques mais il s'agit aussi et surtout d'une opposition au système capitaliste, centralisé, tandis que les agriculteurs s'opposent à l'implantation de grands projets industriels sur « leurs territoires » (Radkau, 2011, p.9-10). Ce n'est qu'à partir des années 1980 que ce mouvement se politise avec la création du ministère de l'environnement, du parti écologique allemand – les *Grüne*[4] – et la publication d'un rapport qui met en avant la nécessité de la diversification énergétique et les limites de l'énergie nucléaire (Mautz & *alii*, 2008, p.43 ; Marhold, Lallemand, 2009, p.111). Ces années sont marquées par le passage du caractère utopique des énergies renouvelables vers leurs

[1] *„Am Anfang dieses Prozesses stehen keine technischen Erfindungen, sondern Ideen und Utopien, die sich auf die Reaktivierung und Umdeutung längst bekannter Techniken beziehen"* (Mautz & alii, 2008, p.17).

[2] Heinrich Mandel, membre du comité d'administration de la *Rhein Westfälisches Elektrizitätswerk* (centrales électriques de Rhénanie Palatinat), l'un des plus grands conglomérats allemands du secteur énergétique, a été l'un des premiers à obtenir l'arrêt d'un projet d'une centrale électrique nucléaire près de Mannheim. Paradoxalement, c'est un des plus importants porte-parole en faveur du nucléaire qui a montré qu'il était possible de lutter contre le nucléaire (Radkau, 2011, p.10).

[3] Il est à noter qu'il existe également « un contre mouvement » pro nucléaire et pour les énergies fossiles qui dénonce les contestations écologiques. Celui-ci est surtout composé de syndicats industriels et d'associations patronales (Mautz & alii, 2008, p.40).

[4] Les verts

premières mises en application. Mautz, Byzio et Rosenbaum (2008) distinguent quatre acteurs importants durant ce processus :

- Le mouvement de protestation ou alternatif. Cet acteur a permis de médiatiser et de politiser la question des énergies renouvelables par ses protestations. Les énergies renouvelables s'inscrivent dans les idées de décentralisation, d'indépendance et de changement de rapport de pouvoirs mis en avant par ce mouvement. C'est-à-dire que les énergies renouvelables permettraient d'être indépendant énergétiquement (Mautz & *alii*, 2008, p.34).

- Les organisations non gouvernementales. Ces organisations comme le *Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland*[1], entraînent l'institutionnalisation de la question des énergies renouvelables. Leur influence est à relativiser mais s'accroît car elles bénéficient du soutien de la pression citoyenne en faveur de l'environnement. De par leur activité dans l'espace politique, ces organisations permettent l'entrée du thème en politique.

- L'État. À la suite des chocs pétroliers du début des années 1970 et 1980, le gouvernement Allemand a encouragé financièrement la recherche dans les énergies. Dans un premier temps ces encouragements se sont focalisés sur les énergies conventionnelles, en particulier le nucléaire. Sous la pression des mouvements alternatifs, mais aussi à la suite de résultats d'une enquête d'une commission gouvernementale sur la politique énergétique du futur, l'État allemand finance également la recherche dans le domaine des énergies renouvelables. Ainsi durant la décennie 1970, le financement de l'État est passé de 20 à 300 millions de Marks allemands (Mautz & *alii*, 2008, p.43).

- Les pionniers. Comme il a été décrit précédemment, les énergies renouvelables sont dans les années 1970 encore surtout un discours. Toutefois il existe des initiatives de mise en pratique de ces énergies. En Bavière et Basse-Saxe, des agriculteurs coopèrent avec des universités et produisent du biogaz. Ils sont soutenus par l'État fédéral de Bavière (Mautz & *alii*, 2008, p.44). Il existe aussi de nombreuses initiatives individuelles de bricoleurs qui « …fabriquaient pour eux-mêmes, mais aussi pour quelques clients isolés, des installations de production d'électricité… » (Trittin, 2006, p.118). Ces pionniers se distinguent du mouvement alternatif car ils ne sont pas utopistes mais recherchent un profit économique. Il est à noter que, dans le milieu des mouvements alternatifs, les énergies renouvelables sont encore majoritairement à l'état du discours.

[1] Ou BUND, c'est-à-dire la fédération allemande pour l'environnement et la protection de la nature. Il a été créé en 1975.

Les énergies renouvelables dans les années 1970 sont donc encore un concept qui se développe dans certains groupes isolés de la société. Au cours de cette période de nouveaux acteurs apparaissent et la question énergétique prend de l'importance. Mais ce n'est qu'à partir de la fin des années 1980 que les applications dans le domaine de la production d'électricité se concrétisent. Il est à noter que :

« Dans les années 1980, plus de deux tiers des Allemands refusaient la poursuite de l'exploitation de l'énergie nucléaire tandis que celle du charbon était de plus en plus discréditée de par l'augmentation des subventions et de la pollution atmosphérique – rendue visible par le dépérissement des forêts » (Trittin, 2006, p.119).

Le contexte est donc favorable au développement des énergies renouvelables

2.1.2. La concrétisation de la production « d'électricité renouvelable » à partir de seconde moitié des années 1980 en Allemagne

À partir de la seconde moitié des années 1980, l'utilisation de la production d'électricité à partir des énergies renouvelables se concrétise. Elle passe alors de la phase des idées à son application pratique (Mautz & alii, 2008, p.63). L'accident nucléaire de Tchernobyl en 1986 et l'augmentation du prix des énergies fossiles en sont les causes principales (Quaschning, 2011). Cette période, qui s'arrête à la seconde moitié des années 1990, est caractérisée par une augmentation du rôle de l'État et une évolution du système de production d'électricité.

Comme nous l'avons vu précédemment, l'État a dès le début des années 1980 encouragé le développement des énergies renouvelables, en particulier de l'énergie éolienne. Au début, ces encouragements reposent sur le système de production traditionnel de l'électricité. Ce système est caractérisé par sa nature centralisée, une logique de *Topdown et* une domination des grands *Konzern*[1] ; c'est-à-dire du haut vers le bas. Le marché de l'électricité est alors dominé par quelques consortiums qui produisent de l'électricité dans de grandes centrales électriques et qui la distribuent aux consommateurs. L'État a donc encouragé la construction de « grandes centrales électriques renouvelables » en négligeant la recherche (Mautz & alii, 2008, p.50-51). Or, ces centrales d'une grande taille ne pouvaient être financées que par les grandes entreprises qui n'avaient que peu d'intérêt dans le développement des énergies renouvelables. Ainsi les entreprises ne cherchent pas à innover dans ce domaine. De plus, la technologie n'a pas atteint sa maturité technologique et économique (Mautz & alii, 2008, p.50-51). Ces premières tentatives d'encouragements sont donc un échec – comme l'illustre l'abandon du projet GROWIAN en 1987.

[1] Traduit par consortium

À partir du début des années 1990, les projets du *1000 Dächer Programm* et du *250 MW Programm*[1] visent à inciter à l'installation de « systèmes électriques renouvelables » (Quaschning, 2011). Parallèlement l'État allemand a encouragé avec le *Stomeinspeisungsgesetz*[2]*,* qui entre en vigueur le 1 janvier 1991, la production d'électricité dans le cadre d'une logique horizontale et décentralisée. Ce sont donc les petites installations individuelles qui sont favorisées. Comme l'indiquent Mautz, Byzio et Rosenbaum (2008, p.82), le nouveau système de financement profite d'un contexte social – issu du mouvement alternatif des années 1960-1970 – favorable à la décentralisation et à l'autonomie. Sans ce contexte, les encouragements n'auraient pas été un succès. Différents types de financement sont créés. Le premier correspond à une aide à la construction des installations et le second à la mise en place d'un tarif de rachat de l'électricité produite. « La loi impose aux opérateurs d'acheter cette énergie issue d'installations décentralisées à un taux supérieur au prix d'achat moyen de l'électricité produite » (Debourdeau, 2011, p.95). Le tarif d'achat est indexé au prix de vente de l'électricité aux particuliers. La construction de centrales photovoltaïque est financée à près de 70% par l'État (Hoffmann, 2008). Le problème de ces financements est de ne pas garantir un prix fixe de la rente, ce qui ne favorise pas l'investissement. Il est à noter que paradoxalement, le principe d'insertion de l'électricité produite dans le réseau public s'oppose au principe de décentralisation du mouvement alternatif. En effet, ce principe met en avant une indépendance et une autosuffisance des individus ou groupes d'individus (Mautz & alii, 2008, p.34-35). L'électricité produite devrait selon ce principe être consommée par les producteurs eux-mêmes.

Malgré leurs limites, les encouragements ont permis le développement de petites centrales et par conséquent la transformation du système de production électrique allemand. De nouveaux acteurs apparaissent dans la production d'électricité, le système se décentralise et le monopole des *konzerns* est remis en cause. Ces nouveaux acteurs sont soit des producteurs individuels, soit des associations de personnes qui se réunissent pour diminuer le risque de l'investissement. Mais comme l'indiquent Mautz, Byzio et Rosenbaum (2008, p.60), les agriculteurs jouent aussi un rôle majeur, ceux-ci disposant de terres et étant motivés par le revenu supplémentaire qu'apporte la production d'électricité. Il est à noter que les grands opérateurs électriques sont également des acteurs importants dans la mesure où ils essaient de limiter le développement de ce système décentralisé. Ainsi la part d'énergies renouvelables dans la fourniture totale d'électricité est, dans la loi de 1990, plafonné à 5% (Debourdeau, 2011, p.108).

[1] Respectivement Programme des 1000 toits pour le photovoltaïque et programme des 250 MW pour l'éolien.

[2] Loi d'alimentation du réseau électrique

Les énergies renouvelables se donc sont développées rapidement en Allemagne, ce qui a permis l'essor d'un secteur spécialisé dans les énergies renouvelables (Mautz & alii, 2008, p.71). Il est intéressant d'observer que ce système décentralisé a engendré la création d'un réseau de diffusion. Ce réseau a donné lieu à une transmission des connaissances « horizontale » et diffuse. Cette diffusion est à la base d'innovations[1] qui proviennent donc en majorité de propriétaires d'installations produisant de l'énergie électrique à partir de sources renouvelables et non des *konzerns* (Mautz & alii, 2008, p.65-66). La production et l'innovation dans le secteur des énergies renouvelables ne s'inscrivent pas, en ce sens, dans une logique de domination verticale.

Grâce à un contexte social favorable aux énergies renouvelables, des financements de l'État et un progrès technique rapide, l'Allemagne est devenue, au milieu des années 1990, un des chefs de file des énergies renouvelables. Ainsi entre 1990 et 1999, le nombre de centrales solaires est passé de 548 à 7875 et celui des centrales à biogaz de 100 à 850. Il est à noter que malgré cette augmentation importante, la part des énergies renouvelables dans la production d'électricité en Allemagne n'est que de 1,8% en 1999 (Mautz & alii, 2008, p.82). C'est également dans cette période que les dernières centrales nucléaires sont construites en Allemagne et que les derniers projets sont interrompus (Deshaies, 2006, p.60). Une autre évolution importante de cette période est la « baisse des coûts de production induite par la libéralisation du marché de l'électricité en 1998… » (Debourdeau, 2011, p.107). Cette baisse diminue l'attractivité de la production d'électricité à partir des énergies renouvelables en raison de leur indexation sur les prix de l'électricité. Ce n'est qu'à partir du début du XXI^{ème} siècle qu'une nouvelle extension des énergies renouvelables est observable.

2.1.3. Energie et environnement au début du XXI^{ème} siècle

À la fin du XX^{ème} siècle, un nouveau contexte international s'est mis en place sur le plan environnemental. Comme l'illustrent le sommet de Johannesburg en 2002 et le protocole de Kyoto en 1997, les thèmes de développement durable et de changement climatique sont devenus des thèmes majeurs. Dans ce contexte l'union européenne a décidé de réduire ces émissions de gaz à effet de serre de 20% en 2020 par rapport à 1990 (Fischer, 2011, p.19)[2]. L'Allemagne a décidé de les réduire de 35% sur la même période et prévoit de les réduire de 80% sur la période 1990/2050 (Bruns *& alii,* 2009).Une conséquence directe de ce choix est la perte d'intérêt des centrales électriques

[1] Le développement des énergies renouvelables s'oppose en ce sens à celui des énergies conventionnelles, dans lequel la diffusion des innovations ne se fait que du « haut vers le bas » et n'est pas diffuse.

[2] Notons que l'union européenne n'a pas de réel pouvoir de sanction dans ce domaine. Le seul mécanisme instauré est économique et consiste dans la mise en place d'un système de droits d'émission de CO_2. Ce mécanisme est en place depuis 2005.

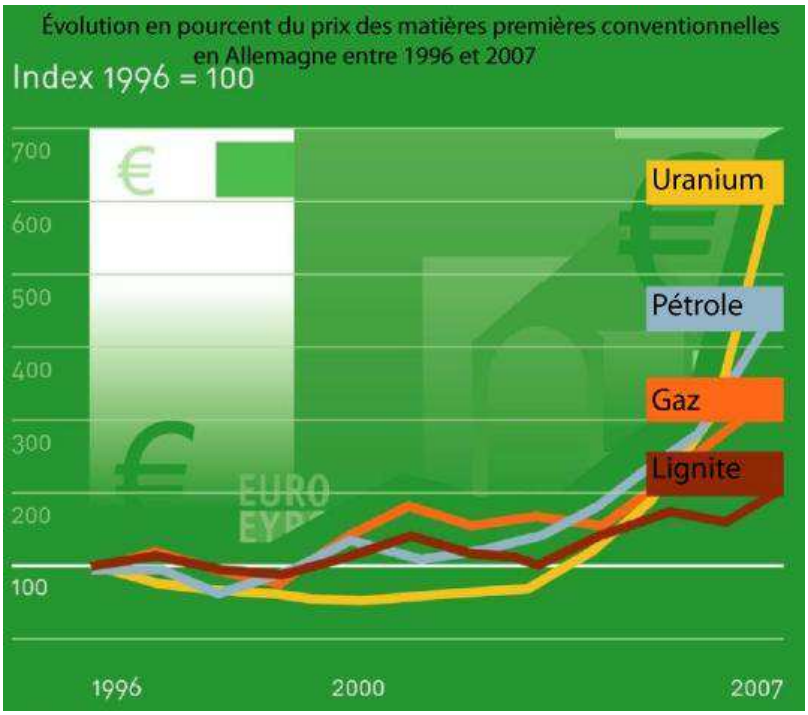
qui fonctionnent à charbon (lignite et Houille) au profit des centrales à gaz (Fischer, 2009, p.34).

Dans ce contexte de mise en avant des questions environnementales, le gouvernement (coalition entre la *Sozial demokratische Partei*[1]*, SPD,* et le parti écologiste allemand) de Gerhard Schröder (1944-) annonce le tournant énergétique ou *energiewende* en 2002, à savoir l'arrêt progressif de la production d'électricité nucléaire jusqu'en 2030 (Deshaies, 2006, p.61). Il est intéressant de préciser que le gouvernement d'Angela Merkel (1954-) a remis en cause cette sortie du nucléaire en 2010 et a décidé du rallongement de la durée de vie des centrales nucléaires. À la suite de l'accident nucléaire de Fukushima en mars 2011 ce même gouvernement annonce à nouveau la *energiewende* en juin 2011 (Fischer, 2011, p.16). Le calendrier de ce « nouveau » tournant écologique est encore plus serré ; il prévoit l'arrêt des dernières centrales nucléaires en 2025 (BMU, 2012b). Or d'après *Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie*[2] (2010) la production d'électricité à partir d'énergie nucléaire représente 30% de la production totale du pays. Cette sortie du nucléaire implique le recours à d'autres énergies comme le charbon, le gaz ou les énergies renouvelables pour produire de l'électricité. Or, comme nous l'avons vu précédemment, l'Allemagne s'est aussi engagée à réduire ses émissions de CO_2. L'objectif principal du tournant énergétique est d'augmenter l'efficience énergétique et de développer la production d'électricité à partir d'énergies renouvelables ; l'utilisation croissante des énergies fossiles ne serait qu'une période de transition (BMU, 2012b).

Au niveau énergétique, l'Allemagne ne possède que peu d'énergies fossiles sur son territoire. Une des conséquences des mesures environnementales présentées plus haut est donc que l'Allemagne est énergétiquement de plus en plus dépendante de ses importations. D'après le *Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie* (2010), elle importe 97% de sa consommation de pétrole et 84% de sa consommation de gaz. L'importance de la Russie pour l'Allemagne apparait ici. C'est en effet le premier partenaire énergétique de l'Allemagne : 40% des importations de gaz et 30% des importations de pétrole proviennent de Russie (BMWI, 2010). La réalisation d'un Gazoduc reliant directement ces deux Etats est symbolique de cette interdépendance. Afin d'assurer sa sécurité énergétique, l'Allemagne cherche à diversifier ses importations mais aussi ses sources d'énergies (Bundesakademie für Sicherheitspolitik, 2008). L'utilisation du lignite serait une solution car cette ressource est présente en Allemagne. Il se pose alors le problème de l'émission de gaz à effet de serre. Sur le plan énergétique, le début des années 2000 est également marqué par une augmentation du prix des matières premières fossiles, ce qui rend les énergies renouvelables plus intéressantes (figure 6).

[1] Parti social-démocrate allemand
[2] Le ministère fédéral de l'Économie et de la Technologie

Figure 6 : L'évolution du prix des matières premières conventionnelles en Allemagne entre 1996 et 2007



Source : Agentur für Erneuerbare Energien, 2010, traduit par Authier Felix, 2012

Au début du XXI^{ème} siècle, l'Allemagne cherche donc à concilier une politique énergétique et une politique environnementale. Cette conciliation repose sur l'augmentation de l'efficacité énergétique mais surtout sur le développement des énergies renouvelables. La loi sur les énergies renouvelables, *Erneuerbare-Energien-Gesetzes* (EEG), vise à renforcer l'attractivité de ces énergies.

La loi sur les énergies renouvelables

Le 1er avril 2000 la EEG entre en vigueur. « Les révisions successives de la loi EEG, sous l'impulsion de l'UE notamment, contribuent à affiner cet instrument » (Debourdeau, 2011, p.109). Le dernier amendement concernant cette loi est en cours d'adoption en mai 2012. Malgré la décision de la révision le 29 mars 2012 par le parlement allemand, le conseil fédéral, *Bundesrat,* a provoqué, le 11 mai 2012, la réunion d'une commission mixte paritaire afin de contester l'amendement proposé (BMU, 2012c).

À la différence de la loi de 1990, les objectifs environnementaux sont inscrits dans la loi (Mautz & alii, 2008, p.89-90). Un des objectifs est d'atteindre une part de 35% d'électricité renouvelable dans la production totale d'énergie électrique du pays en 2020 (Bruns & *alii*, 2010). La EEG permet de rendre l'investissement dans les énergies renouvelables plus attractif. En effet, les tarifs de rachats sont augmentés et garantis à un

taux fixe pendant 20 ans. De ce fait l'investissement est plus sûr. Cette loi introduit également une distinction entre les niveaux de développement des différentes technologies, la localisation et la taille des installations (Mautz & *alii,* 2008, p.84 ; Debourdeau, 2011, p.108). Ainsi le tarif de rachat de « l'électricité éolienne » est inférieur à celui du photovoltaïque. Le tarif de rachat des installations PV sur toiture est supérieur à celui des installations au sol. Afin de stimuler l'innovation et par conséquent la baisse des prix des centrales « électriques renouvelables », le tarif de rachat diminue dans le temps[1] (Mautz & alii, 2008, p.90). L'électricité produite par une installation mise en service en 2004 est rachetée à un prix plus élevé que celle produite par une installation mise en service en 2006. Pour garantir l'attractivité des énergies renouvelables l'efficacité des techniques doit être continuellement améliorée et le prix des installations doit diminuer.

D'après l'agence des énergies renouvelables[2] (2010), les opérateurs sont obligés d'adapter les réseaux électriques aux caractéristiques de la production d'électricité à partir des énergies renouvelables (variations importantes, système décentralisé…). Les coûts financiers de l'adaptation et de l'extension du réseau leur reviennent. Ils sont également obligés de donner la priorité à l'insertion dans le réseau de l'électricité en provenance d'énergies renouvelables (Agentur für Erneuerbare Energien, 2010 ; Mautz & *alii*, 2008, p.121).

Les résultats de la loi sur les énergies renouvelables

Comme l'indiquent Mautz, Byzio et Rosenbaum (2008, p.93), la EEG a entraîné un élargissement du spectre des acteurs. Ainsi de nouveaux producteurs apparaissent : il s'agit d'acteurs qui auparavant ne pouvaient se financer un système de production mais aussi de grands *konzerne* qui investissent dans de grandes centrales éoliennes par exemple[3]. Inversement les agriculteurs qui étaient un des acteurs principaux de l'éolien se détournent de cette énergie (Mautz & alii, 2008, p.90). Les nouveaux acteurs sont également des prestataires de services (conseils financiers, techniques, investisseurs, surveillance, gestion…) et des fabricants spécialisés dans les énergies solaires comme KACO new energy.

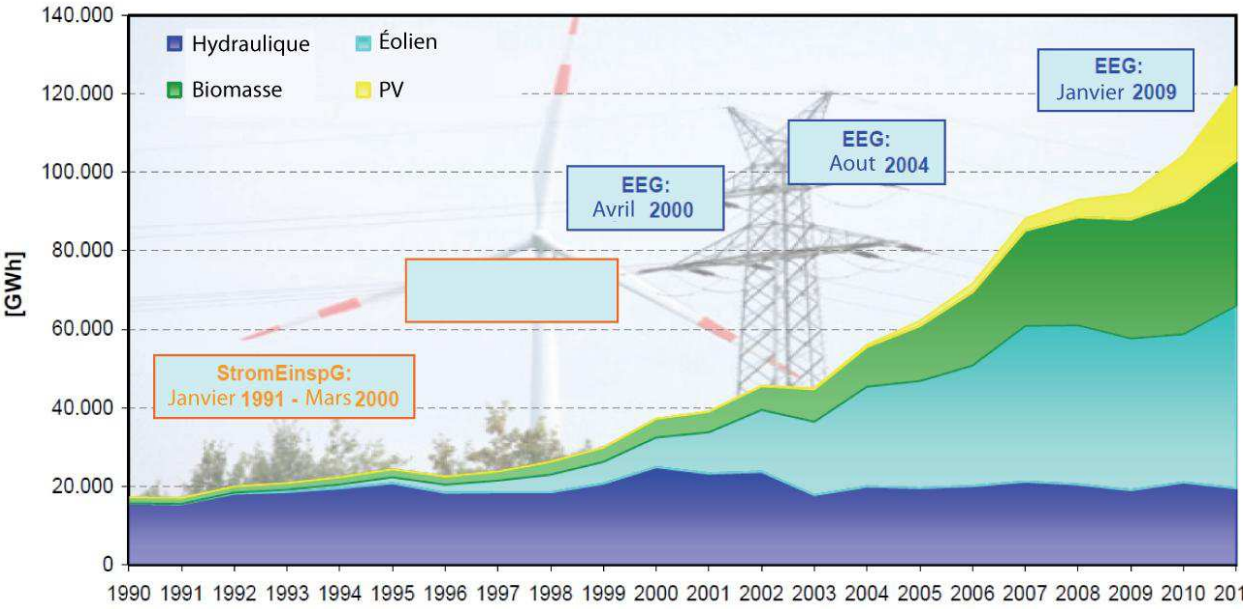
La EEG a entraîné une croissance importante des énergies renouvelables entre 2000 et 2010 (Figure 7). Ainsi la part totale d'énergie renouvelable dans la production d'électricité en Allemagne est en 2012 de 20% (BMU, 2012a).

[1] Dans les premières versions de la loi la dégression est annuelle. À la suite d'amendements ultérieurs ces dégressions se font en fonction de la puissance installée sur une période donnée.

[2] *Agentur für Erneuerbare Energien*

[3] Le Konzen Eon par exemple participe à cinq projets d'éolien marin d'une puissance de plus de 1500 MW (Lönker, 2007, cité par Mautz & alii, 2008, p.86).

Figure 7 : Contribution des énergies renouvelables à la mise à disposition d'électricité en Allemagne entre 1990 et 2011



Source : BMU, 2012a, modifié par Authier Felix, 2012.

Ce développement rapide a entraîné l'émergence d'une opposition aux énergies renouvelables. D'une part, celle-ci est due à une centralisation de la production d'électricité (en particulier solaire et éolienne) et par conséquent la réapparition d'une logique verticale dans la production d'électricité énergie. L'intérêt croissant des *konzerns* pour les centrales éoliennes *offshores*[1] et la concentration de la production éolienne dans le nord de l'Allemagne illustrent cette centralisation (Mautz & alii, 2008, p.102).

Cette opposition s'explique également par les caractéristiques des énergies renouvelables qui ont un faible rendement énergétique au mètre carré et qui prennent donc beaucoup de place. Majoritairement les conflits opposent des intérêts locaux à ceux des grands *konzerns* et ont une dimension spatiale : problème de concurrence entre production d'énergie et agriculture, protection de l'environnement, protection des oiseaux… La protection d'un territoire (écosystèmes, paysages) est souvent un enjeu principal de ces conflits (Mautz & alii, 2008, p.112-114). Deux échelles de la protection environnementale s'affrontent donc.

Une autre opposition vient des *konzerns* dont le monopole est remis en cause et qui doivent s'adapter aux caractéristiques – fluctuations, décentralisation – de la production d'électricité renouvelable (livre vert, p.103). Ils reprochent aussi aux énergies renouvelables de ne pas avoir atteint leur maturité technologique et économique.

[1] Au large

Le développement des énergies renouvelables en Allemagne est donc précoce. Il débute dès les années 1970, mais ce n'est qu'à partir du XXI^{ème} siècle qu'il y a un réel développement de ces énergies. Ce développement récent s'inscrit dans un contexte international de prise de conscience environnemental dans lequel l'Allemagne a joué un rôle important. Ainsi son modèle d'encouragement a servi d'exemple dans de nombreux pays (Deboudeau, 2011, p.110). L'énergie photovoltaïque est une des énergies renouvelables en Allemagne qui a le plus profité de la EEG depuis le début des années 2000. L'évolution des encouragements dont cette filière a profité sera présentée dans la partie suivante.

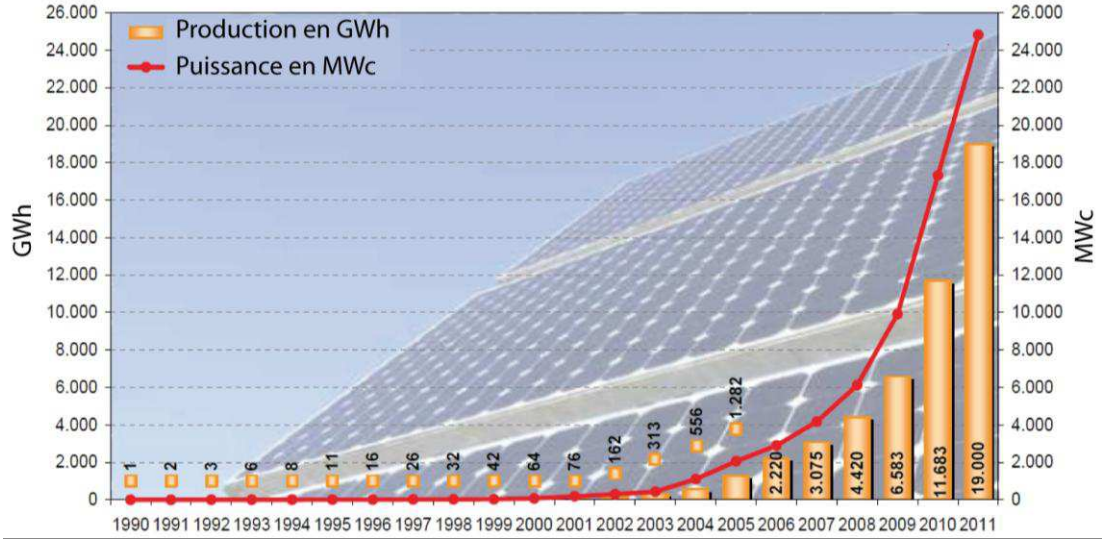
2.2. Le photovoltaïque en Allemagne

2.2.1. Une croissance rapide du photovoltaïque en Allemagne

Aspect énergétiques

Le secteur photovoltaïque en Allemagne connaît depuis les années 2000 une croissance importante. La puissance cumulée installée est passée de 76 MWc en 2000 à 24 820 MWc à la fin de l'année 2011, soit une augmentation de près de 32 558 % (figure 8).

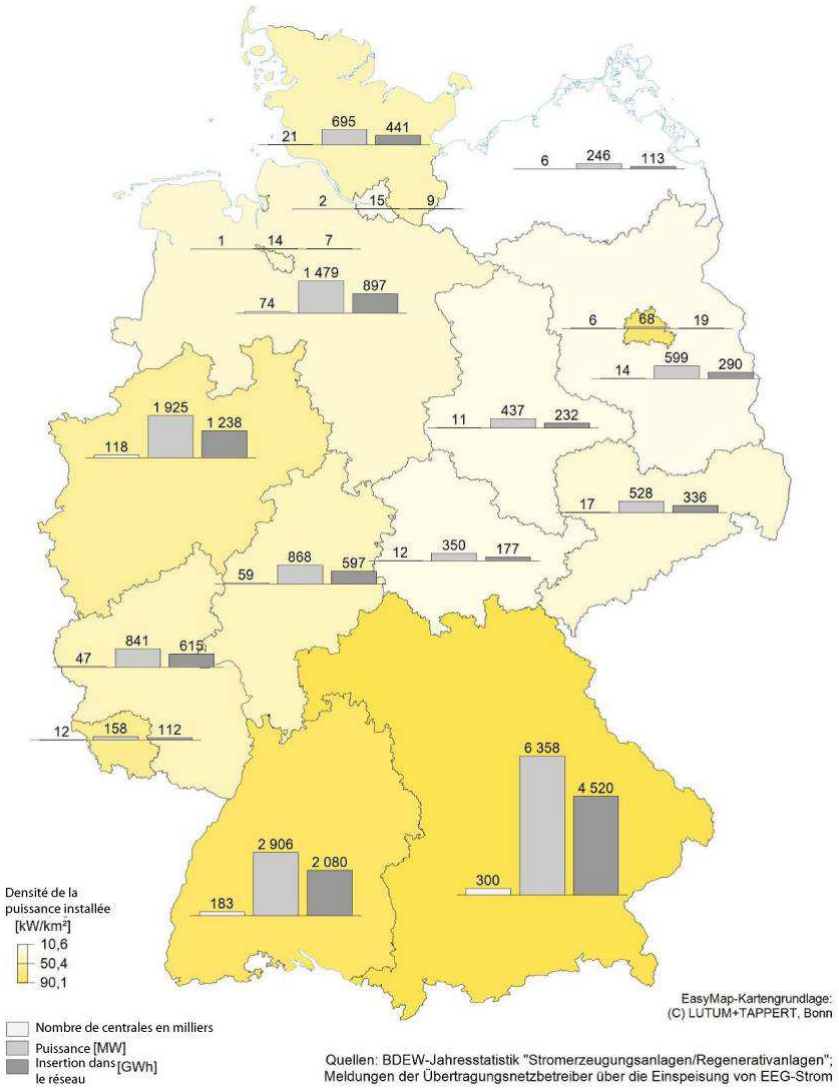
Figure 8 : Développement de la puissance cumulée installée et de la production photovoltaïque en Allemagne entre 1990 et 2011



Source : BMU, 2012a, traduit par Authier Felix, 2012.

D'après le ministère de l'environnement allemand[1] cette croissance est de 4 136 566,7 % par rapport à 1990 (BMU, 2012a). Toutefois ces données cachent des disparités régionales (carte 1). Dans les Länder de l'ancienne République démocratique Allemande, par exemple, la puissance installée est moins importante (Knoll, 2010). Elle représente environ 37% de la puissance cumulée installée dans le monde.

Carte 1 : La densité de la puissance PV installée en Allemagne en 2011



Source: *Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft, (2012)*, modifié par Authier Felix, 2012.

Durant l'année 2011, l'objectif de l'État Allemand était d'installer 3500 MWc supplémentaire ; 7500 MWc ont finalement été installés. L'objectif a donc largement été dépassé. Cette puissance a permis de produire en moyenne 3,8% (19 000 GWh) de la

[1] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, BMU, traduit par ministère de l'environnement, de la protection de la nature et de la sécurité nucléaire.

consommation d'électricité annuelle en 2011. Les jours de fort ensoleillement, cette production s'est élevée à 20% de la production (Wirth, 2012). En terme de « production » d'électricité renouvelable, l'énergie PV (15,6%) est la quatrième source d'énergie du pays après l'hydraulique (16%), la biomasse (30%) et l'éolien (38,1%). L'énergie PV en Allemagne est donc une énergie qui se développe rapidement.

Aspects économiques et financiers

Comme l'indique Wirth, le prix de l'électricité PV n'est pas encore concurrentiel (2012, p.5). En effet, lors du calcul de ce prix il faut inclure différentes variables : l'investissement de base, les conditions de financements (prêts, rente), le prix de fonctionnement, le taux d'ensoleillement et la durée de vie de la centrale. Toutefois, en raison du progrès technologiques, de l'augmentation des capacités de productions, des différentes subventions et de la taxation du carbone (protocole de Kyoto, mesures de l'union européenne), le prix de l'électricité PV a atteint en Allemagne en 2011 un prix proche du prix de l'électricité issue des énergies conventionnelles[1] (Wirth, 2012, p.6). L'installation de nouvelles centrales PV en 2011 représente un investissement de plus de 15 milliards d'euros en Allemagne (Böhme, Dürrschmidt, 2012). C'est donc un secteur important en Allemagne.

En termes d'emplois, le secteur du PV occupe en Allemagne environ 110 900 personnes (O'Sullivan & *alii,* 2012). Cela représente une croissance d'environ 350% par rapport à 2004 (25 100 employés). Cette croissance ralentit aujourd'hui. Entre 2010 et 2011, la croissance de l'emploi dans le secteur PV est de 4%. L'année 2011 est en effet marquée par des faillites, des licenciements ou des mauvais résultats des entreprises du secteur PV. Ce sont les fabricants de modules et de cellules PV qui sont le plus touchés par ces difficultés. Ceci est majoritairement dû à de mauvais choix, à des modèles de développement non durables (O'Sullivan & *alii,* 2012), mais aussi à l'émergence d'une concurrence asiatique (Eurobserv'ER, 2012, p.10). Ces difficultés des entreprises PV se poursuivent en 2012 en Allemagne. L'entreprise Q-Cells par exemple a déposé le bilan en avril 2012 (Eurobserv'ER, 2012, p.11).

En Allemagne, le photovoltaïque correspond donc à une source d'énergie renouvelable qui se développe rapidement. Cela lui a permis d'être le premier pays en termes de production d'électricité photovoltaïque mais également d'être chef de file dans l'exportation et la production de systèmes PV[2]. Ceci peut paraitre paradoxal dans la mesure où ce pays ne présente pas des taux d'ensoleillement élevés (Quaschning, 2011, p.59). Des mesures politiques ont favorisé ce développement.

[1] Environ 24 centimes d'euro le kWh
[2] Il est à noter que dans les modules proviennent en 2012 majoritairement de Chine

2.2.2. La loi sur les énergies renouvelables et le photovoltaïque en Allemagne en 2012

Comme nous l'avons vu précédemment, dès le début des années 1990 l'énergie solaire a été favorisée en Allemagne. Les premières mesures s'inscrivent dans le programme des 1000 toits[1] (subvention allant jusqu'à 70% du prix total d'une centrale PV) et dans la loi de 1991 qui instaure le tarif de rachat. Le programme des 1000 toits s'arrête en 1995 et est suivi du programme des 100 000 toits qui entre en vigueur en 2000 (Hoffmann, 2008). Ce programme permet aux particuliers d'obtenir des crédits à faible taux d'intérêts[2] (BMU, 2003). Il est prévu que celui-ci s'arrête lorsque la puissance installée a atteint 300 MWc. Ce seuil est atteint en Juin 2003 (BMU, 2003). L'amendement de la EEG en 2004 permet de compenser la fin de ce programme car les tarifs de rachats sont augmentés[3]. À partir de cette date, les tarifs de rachats diminuent annuellement puis deux fois par an à partir de 2010 (figure).

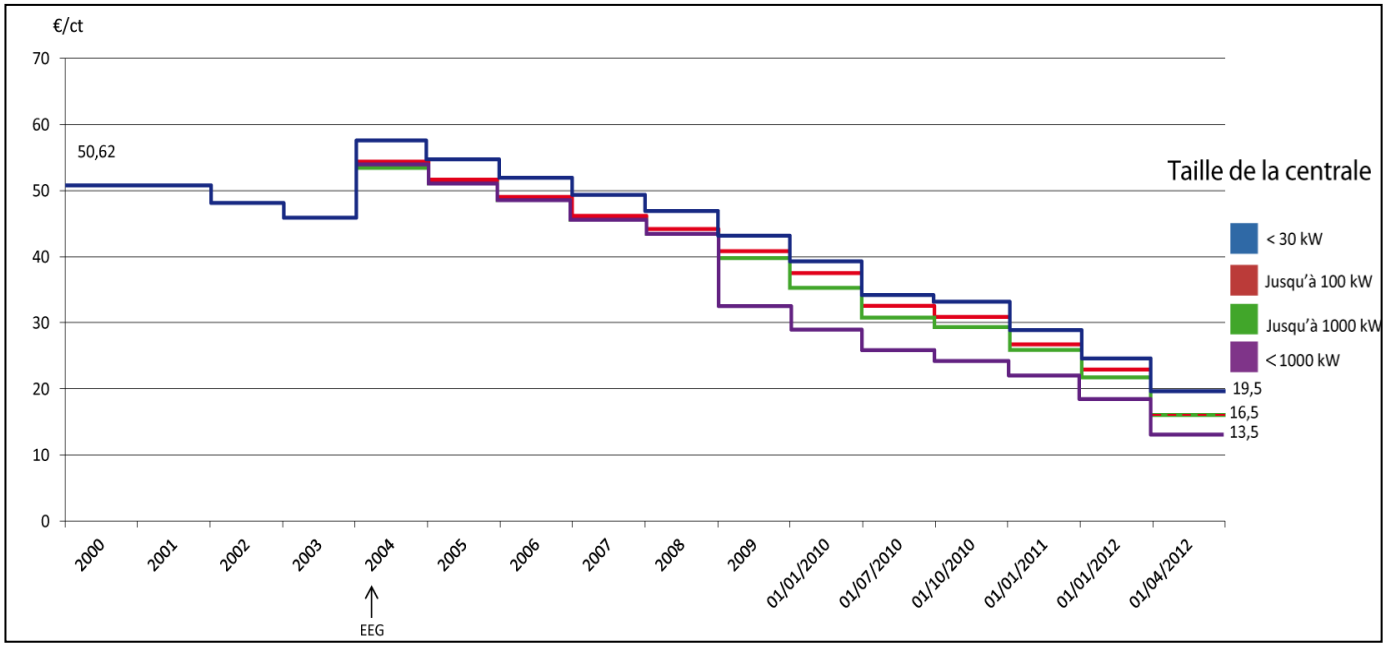
En février 2012, un nouvel amendement de la loi pour les énergies renouvelables est annoncé pour le 1er Avril 2012 par les ministres de l'environnement et de l'économie. Mais comme nous l'avons précisé plus haut, le conseil fédéral a contesté cet amendement en mai 2012. Une décision finale n'est pas encore prise. D'après le BMU (2012d) les principales modifications de la loi sont :

- Une nouvelle dégression des tarifs de rachats qui diminuent en moyenne de plus de 20% par rapport à janvier 2012 (figure 9).
- Les tarifs de rachats baissent au minimum de 1% par mois. En fonction de la puissance installée, le taux de dégression est adapté tous les trois mois.
- Les centrales de plus de 10 MWc ne sont plus éligibles au tarif de rachat.
- Les centrales PV dans les parcs naturels et les friches (industrielles et militaires) ne perçoivent plus de tarif de rachat.
- La part rémunérée de la production totale est réduite : pour les centrales de moins de 10 kWh, il n'y a plus que 80% de la production qui est rémunérée, pour les centrales de 10 à 1000 kW 90% sont rémunérés. Les centrales de plus de 1 MW et de moins de 10 MW sont rémunérées à 100%. Cette électricité non rémunérée peut être consommée dans son réseau personnel ou vendue sur le marché de l'électricité.
- La prime pour la consommation personnelle est supprimée.
- Les installations sur les bâtiments non résidentiels comme les granges, les garages sont rémunérées au taux des centrales de plus de 1000 kWh.

[1] *1000 Dächer Programm.*
[2] À la fin du programme, ces taux de crédit étaient de 1,91%.
[3] De 45,7 centimes d'euros à 57,4 centimes d'euros le kWh pour les petites centrales de moins de 30 kWc par exemple.

- La puissance des installations prévues pour l'année 2012 est limitée à 3500 MWc. Cette prévision est dégressive les années suivantes.
- Les possibilités de stockages sont favorisées.

Figure 9 : L'évolution du tarif de rachat selon la EEG en Allemagne entre 2000 et 2012



Source : Document interne KACO new energy, Authier Felix, 2012.

Cet amendement déclenche un mouvement de protestation de la part de l'industrie photovoltaïque. Les industriels du secteur reprochent[1] au gouvernement de nuire à leur industrie. La baisse des tarifs de rachat rendrait le PV inintéressant pour les particuliers, la rentabilité et la sécurité de l'investissement n'étant plus assurées. De plus la baisse serait par ailleurs trop élevée et trop précoce. Ils interprètent la suppression de la prime à l'autoconsommation et l'obligation de vendre ou consommer une partie de l'électricité produite comme le résultat du lobbysme de l'industrie énergétique, les centrales de grande taille n'étant pas concernées par la mesure. Il est à noter que ces grandes centrales sont majoritairement construites par les *konzerns* qui possèdent les moyens financiers pour de telles installations. L'industrie du PV critique aussi le rapprochement des intervalles entre les différentes modifications. Ce rapprochement ne leur permet pas de s'adapter efficacement et d'innover. Les difficultés rencontrées par le secteur depuis le début de l'année 2011 (licenciements, faillites…) reposeraient sur les changements, les amendements récents de la loi.

[1] Ces critiques ont été recueillies lors de discussions avec le personnel de KACO new energy durant la préparation des manifestations. Il existe de nombreuses sources sur internet à ce sujet, mais nous avons voulu nous servir des informations recueillies dans l'entreprise car elles correspondent aux évènements contemporains à mon stage.

La position du gouvernement est différente. Dans un communiqué du 18 avril 2012, le ministre de l'environnement, Norbert Röttgen affirme que les difficultés de l'industrie allemande sont surtout dues à une (sur)capacité de production des entreprises. En 2011, la capacité de production des entreprises était de 70 GW tandis que les ventes se sont élevées à 27 GW (BMU, 2012e). La poursuite d'un tarif de rachat élevé entraînerait une offre supérieure à la demande. Cette supériorité aurait pour conséquence d'après le ministre une baisse de prix au détriment des entreprises et des consommateurs. Il réaffirme également l'importance de la dégression pour l'innovation et la recherche (BMU, 2012e).

Conclusion

Grâce à des mécanismes de financement qui profitent d'un contexte social favorable, les énergies renouvelables se sont développées précocement et rapidement en Allemagne. Ce développement est quantitatif mais aussi qualitatif – c'est-à-dire que les technologies se sont améliorées. La EEG est donc une réussite.

En 2012, les énergies renouvelables participent de façon non négligeable à la production d'électricité et sont un axe important du tournant énergétique engagé par l'Allemagne. Comme nous avons pu le voir, ces énergies sont au carrefour entre l'économie et l'écologie. Ces énergies représentent donc un enjeu important pour de nombreux acteurs.

Leur prise en compte dans des démarches de développement durable est uniquement valable si les projets prennent en compte les sociétés locales. C'est-à-dire que celles-ci sont consultées et qu'elles profitent à court terme mais aussi à long terme de l'exploitation de ces ressources d'énergies. Ainsi les évolutions récentes ont entraîné l'émergence de conflits à différentes échelles[1] autour de ces énergies. Un exemple de conflit est l'opposition entre la protection de la nature qui est un enjeu local et le changement climatique qui est un enjeu international. Il est à noter que ce conflit entre le local et le global peut opposer des acteurs dont l'idée de départ – la protection de l'environnement – est la même. Afin d'anticiper les évolutions du marché et de la législation, les entreprises allemandes développent des stratégies que nous présenterons dans la partie suivante.

[1] Les différentes échelles sont liées et un conflit ne peut pas s'observer à une seule échelle.

3. Présentation de l’entreprise KACO new energy GmbH

Comme nous l'avons vu précédemment, le secteur du photovoltaïque en Allemagne connaît depuis les années 2000 un essor important. Les sources sont de ce fait le site internet de l'entreprise[1], la formation à laquelle j'ai participé lors de mon stage ainsi que les échanges avec les *produktmanagers*.

3.1. Un ancrage ancien pour une entreprise jeune et dynamique.

3.1.1. L'histoire de l'entreprise

L'entreprise KACO new energy est une société à responsabilité limitée dirigée par Ralf Hofmann. Ses origines remontent au début du XX^{ème} siècle. En 1914 la *Kupfer-Asbet Company* – KACO – est créé par Gustav Bach à Heilbronn dans le Baden Württemberg. L'entreprise est alors spécialisée dans la production industrielle de joints de culasse, de joints de bride et de joints toriques. Ils sont majoritairement utilisés dans l'industrie automobile. A partir de 1927, KACO diversifie ses activités par la fabrication de matériel électrotechnique. Dès les années 1940 l'entreprise produit des onduleurs qui comme les joints sont utilisés dans l'industrie automobile. Ils servent à alimenter les autoradios en courant alternatif. Avec la croissance de la production de matériel électrotechnique une section autonome est créée au sein de la société KACO dès 1946. Il est à noter que dans les années 1950 KACO est devenu l'un des leaders mondiaux dans la fabrication de hacheurs électromécaniques ou convertisseurs continu/continu - prédécesseurs des onduleurs actuels.

À partir du milieu des années 1990, la section électrotechnique de l'entreprise s'intéresse au secteur des énergies renouvelables et commence à fabriquer des onduleurs pour le photovoltaïque. Toutefois ce n'est pas encore son activité principale. En 1998, Ralf Hofmann alors à la tête de la section électrotechnique se sépare de KACO et fonde la *KACO Gerätetechnik* GmbH. Cette nouvelle entreprise est constituée de dix employés. Dès lors la société se spécialise dans le photovoltaïque mais continue sa production de matériel électrotechnique pour l'industrie. L'entreprise connaît dès le début des années 2000 une croissance rapide. En 2003, l'entreprise déménage dans de nouveaux bâtiments et s'installe à Neckarsulm, à proximité de Heilbronn. A partir de la seconde moitié des années 2000, l'entreprise commence à s'étendre internationalement. Son développement se poursuit en 2009 avec le changement de nom de la société[2] et la diversification de ses activités. KACO *Gerätetechnik GmbH* est rebaptisé en KACO new energy *GmbH* et des produits à destination du secteur de la mobilité et des transports

[1] http://kaco-newenergy.de/de/site/index.xml

[2] La présence de l'anglais dans le nouveau nom atteste de la volonté d'une extension internationale de l'entreprise.

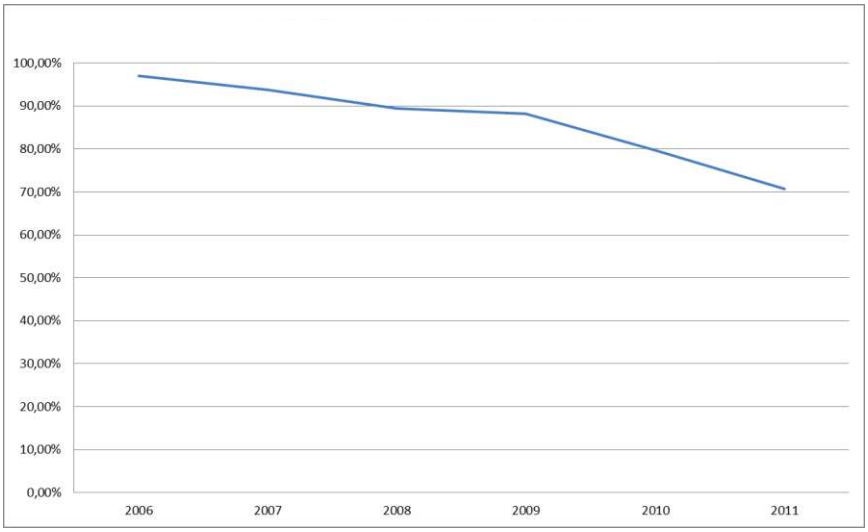
(ferroviaire) sont développés. En 2012, l'entreprise occupe plus de 500 personnes à Neckarsulm et plus de 400 à l'étranger.

La croissance de l'entreprise est également perceptible au niveau de l'augmentation de la capacité de production. Celle-ci est passée de 120 mégawatt en 2005 à dix gigawatt en 2012. Ce qui lui permet d'être le troisième producteur mondial (Enkhardt, 2011, p.40). Afin de commercialiser et de vendre leurs produits, plusieurs succursales ont été fondées :

- La société *Solarstrom Schwaben*[1] est spécialisée dans le conseil, la planification, le financement et l'installation de systèmes photovoltaïques équipés d'onduleurs KACO. Cette société est active dans toute l'Allemagne.
- La société Soleos couvre le même domaine que la *Solarstrom Schwaben* mais à échelle européenne.
- D'autres filiales existent pour couvrir les marchés asiatiques et américains.

L'évolution du chiffre d'affaires de l'entreprise atteste de ce développement important. Entre 1998 et 2011, le chiffre d'affaires est passé de 1,16 millions d'euros à plus de 400 millions d'euros en 2010, ce qui correspond à une croissance de plus de 88,5%. Jusqu'en 2010 les ventes allemandes représentent plus de 80% de ce chiffre d'affaires. Il est à noter que le marché allemand se concentre au sud et à l'ouest du pays. A l'image de nombreux indicateurs sociaux[2], il y a donc une inégalité entre l'ancienne République Démocratique Allemande et le reste du pays. L'ouverture à l'international de l'entreprise a permis de diversifier le chiffre d'affaires (Figure 10).

Figure 10 : La part allemande dans le chiffre d'affaires de KACO new energy



Source : Authier Felix, 2012.

[1] Electricité solaire souabe

[2] D'après l'institut de statistiques allemand, Destatis, le taux de chômage par exemple est supérieur dans les régions de l'ancienne république démocratique allemande (2011).

Ainsi la part allemande de celui-ci est passée de 97% en 2006 à 71% en 2011. Une autre cause de cette diminution serait d'après les dirigeants de l'entreprise l'évolution de la politique énergétique et écologique allemande.

L'entreprise KACO new energy est donc une entreprise jeune qui connaît une forte croissance depuis le milieu des années 2000. Elle a en particulier bénéficié de la croissance du marché allemand. Dans une perspective de ralentissement de la croissance du marché européen[1] et de développement international, l'entreprise a fondé des filiales sur les autres continents.

3.1.2. La localisation de KACO new energy

Le siège social de l'entreprise KACO new energy est situé à Neckarsulm dans le Bade-Wurtemberg en Allemagne. Sa localisation en Allemagne peut s'expliquer par la position de la société allemande face à l'écologie à partir des années 1960[2]. Mais ceci s'explique également par les spécificités de l'économie du pays et en particulier par le rôle important de l'industrie en Allemagne. En effet le système allemand repose sur une industrie caractérisée « par la coexistence de grandes entreprises et d'une multitude de PME » (Lambin dans Pirotte, 2003, p.85). Les grands groupes, les *konzerns,* sont spécialisés dans les biens à forte valeur ajoutée : automobile, chimie, pharmacie, agronomie…Les petites et moyennes entreprises constituent un réseau d'entreprises familiales très spécialisées et dynamiques. KACO new energy peut être considéré comme un exemple de ces PME. Cette industrie se situe surtout dans le sud et l'ouest de l'Allemagne.

La localisation du siège social de l'entreprise dans le Bade-Wurtemberg s'explique surtout par son origine. Comme indiqué précédemment, KACO new energy est issue de l'entreprise KACO spécialisée dans la fabrication de produits à destination de l'industrie automobile. Cette industrie représente une part importante de l'industrie du *Baden-Württemberg*. Dans ce *Land,* Mercedes-Benz (Stuttgart, Mannheim), Audi (Neckarsulm) et Porsche (Stuttgart) ont des usines. Le pôle de production des modèles haut de gamme du constructeur automobile Audi est situé à proximité du siège social de Kaco new energy (photographie 8). La localisation de KACO est donc liée à la proximité des sites de production automobile (réduction des coûts de transports…). D'autre part, cette région a une tradition industrielle ancienne et dispose donc d'un réseau d'entreprise, d'un milieu d'innovation conséquent ainsi que d'une main d'œuvre qualifiée[3]. Ce milieu d'innovation

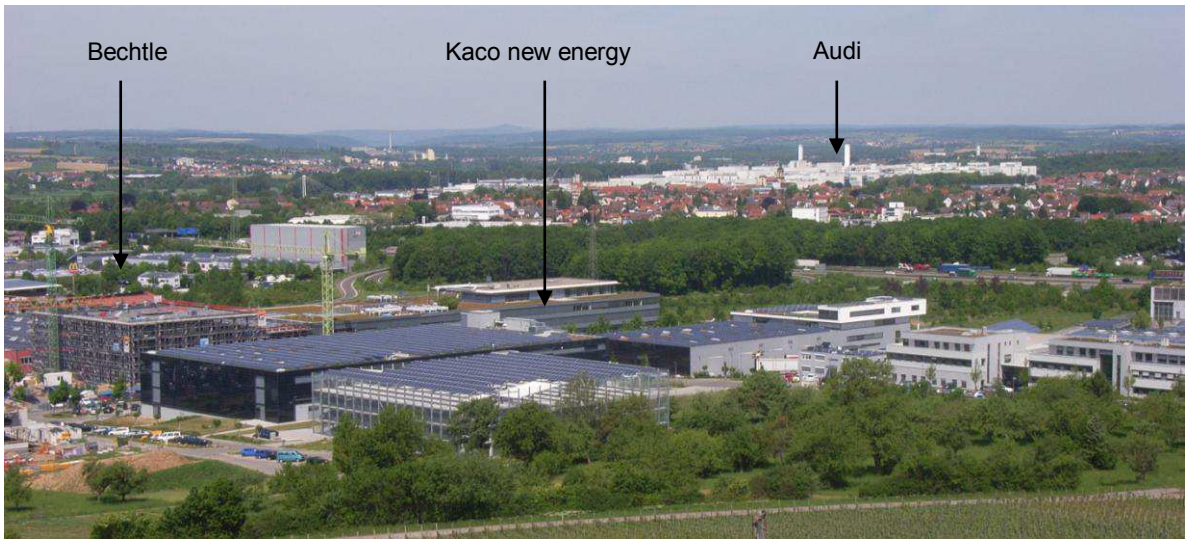
[1] L'entreprise se base surtout sur des études de marchés proposés par des services de marketing comme iSuppli ou des banques comme Sarasin. Un exemple d'étude est : Fawer Matthias, (2011), *Solarwirtschaft : Hartes Marktumfeld – Kampf um die Spitzenplätze,* Basel, Sarasin, 50p.

[2] Pour plus d'informations se reporter au chapitre 1 partie 3.

[3] Un système éducatif en lien avec les entreprises permet la formation de cette main d'œuvre. La *Duale Hochschule Baden Wurtemberg* – Université de Formation Duale du Bade-Würtemberg – en un élément important.

permet une densité d'acteurs économiques qui partagent « une identité régionale » (Peter Sedlacek dans Gebhardt, 2007, p.674). Il permet aussi des échanges sur le plan personnel et informel (Peter Sedlacek dans Gebhardt, 2007, p.674). Ceci favorise le partage du savoir et par conséquent l'innovation des entreprises[1]. A titre d'exemple notons l'élargissement de la direction de l'entreprise en 2011(KACO, 2011). Ralf Klenk créateur et Président-directeur général, PDG, de l'entreprise voisine Bechtle[2] rejoint KACO new energy. Comme nous pouvons le voir au premier plan de la photographie 8, cet élargissement de la direction résulte donc de la proximité géographique des deux entreprises. Il a permis à KACO d'optimiser son organisation. En effet, Bechtle est spécialisé dans la fourniture de services informatiques. Ralf Klenk soutient le développement de l'organisation interne de KACO dans le domaine de la « coordination entre la communication interne et la gestion des données » (KACO, 2011, p.1).

Photographie 8 : Le siège social de KACO new energy à Neckarsulm en 2012



Source : Authier Felix, 2012.

Enfin la présence du siège social à Neckarsulm s'explique par l'origine de l'entreprise : la *Kupfer-Asbet Company* est en effet originaire de Heilbronn, une ville voisine de Neckarsulm. Les autres facteurs de la présence à Heilbronn de KACO new energy sont l'origine et la personnalité de son fondateur Ralf Hoffman. Au siège social s'ajoutent quatre sites à proximité immédiate inaugurés entre 2005 et 2011. Cette proximité permet de bénéficier des caractéristiques de la région (main d'œuvre qualifié, milieu d'innovation, réseau d'entreprises) mais aussi de réduire les coûts de transports. De plus, la communication entre les sites est plus rapide. Un problème peut directement être analysé du fait du regroupement de la recherche et développement (R&D) et de la

[1] Donc la croissance.
[2] Bechtle est spécialisé dans la fourniture de services informatiques.

production. En 2005, un second centre de R & D est ouvert à Kassel dans le *Land* de la Hesse. Cette localisation[1] est à mettre en parallèle avec l'existence d'une université et d'instituts spécialisés[2] dans les énergies renouvelables mais aussi d'une représentation de l'Agence fédérale des réseaux, la *Bundesnetzagentur,* institution importante de la politique énergétique allemande.

Sur le plan international deux types d'implantations sont à distinguer :

- Les sites de productions, de R & D et les filiales (carte 2). Il existe 2 sites de production à l'étranger. Le premier se trouve à Séoul en Corée du Sud. Le centre de R & D a été ouvert en 2007 tandis que l'usine a été ouverte en 2009. L'usine nord-coréenne est spécialisée dans la production de la série des Powadors XP. Ce développement vise à étendre la présence de KACO new energy sur le marché asiatique et australien. La localisation en Corée du Sud est due à la rencontre d'un producteur d'onduleurs coréen. Ceci a facilité le transfert de connaissances et l'organisation de la nouvelle usine. La seconde usine se trouve à London dans l'Ontario au Canada (ouverte en 2011 et agrandie en 2012). Ce site de production permet à l'usine de couvrir le marché américain[3] et de répondre plus rapidement et spécifiquement aux évolutions de celui-ci. En outre, l'implantation au Canada permet de profiter de la législation canadienne – *local content rules* – qui favorise les productions locales. Comme l'indique un communiqué de presse du 16 décembre 2010, « les investissements effectués en Amérique du Nord s'inscrivent dans le cadre de l'orientation internationale accrue de l'entreprise » (KACO, 2010).
- Les services commerciaux qui ont pour objectif de conquérir de nouveaux marchés nationaux (carte 2). Il en existe en France (2010), en Espagne (2010), en Italie (2010), en Grèce (2008), en Israël (2010) et en Chine (2009). L'implantation en Israël peut sembler paradoxale car la surface du pays est petite. Ici aussi « le relationnel » a joué un rôle majeur. D'autres services commerciaux existent[4] mais ils ne sont pas directement gérés par KACO new energy. Ce sont des entreprises locales qui s'occupent de la commercialisation des produits. Une implantation à l'étranger permet de mieux connaître les marchés locaux, mais aussi de mieux s'y adapter. En effet, les exigences des marchés varient d'un pays à l'autre.

[1] Notons que SMA le principal concurrent de KACO new energy y est également localisé.

[2] Comme par exemple le *Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik*, l'institut Frauhofer pour l'énergie éolienne et les technologies de systèmes énergétiques.

[3] Les usines sont spécialisées dans la production des séries Blueplanet et XP mais aussi des *onduleurs modulaires.* Ce type d'onduleur est à la mode sur le marché américain. Ce sont des onduleurs qui sont spécifiques à un module, ce qui permet d'avoir moins de perte d'énergie à cause de la faible distance entre module et onduleur photovoltaïque. Traditionnellement un onduleur transforme le courant qu'il reçoit de plusieurs modules à la fois.

[4] Afrique du Sud, Inde ; Australie, Turquie, Malaisie…

Carte 2 : Les emplacements de KACO new energy dans le monde

Source : Document interne KACO, 2012.

Les filiales facilitent également l'adaptation aux législations et normes nationales. Celles-ci évoluent rapidement et demandent une réactivité importante. Le choix des pays provient d'une part des caractéristiques climatiques des pays (ensoleillement important) et d'autre part de la politique environnementale et énergétique des gouvernements en place. Ainsi la France, l'Italie et l'Espagne ont une politique qui oblige les entreprises énergétiques à racheter l'électricité produite par les centrales photovoltaïques. Il est à noter que ces politiques privilégiant le photovoltaïque ont connu un succès important mais sont actuellement en recul en Europe. Le prix de rachat de l'électricité, par exemple, diminue ou est supprimé.

Grâce à un contexte politique et économique favorable, KACO new energy connaît depuis la seconde moitié des années 2000 une évolution rapide. Celle-ci est perceptible dans la croissance de ses capacités de productions et dans son développement international. Pour pouvoir s'adapter à un tel développement l'entreprise doit se restructurer et adapte ses produits aux différents marchés.

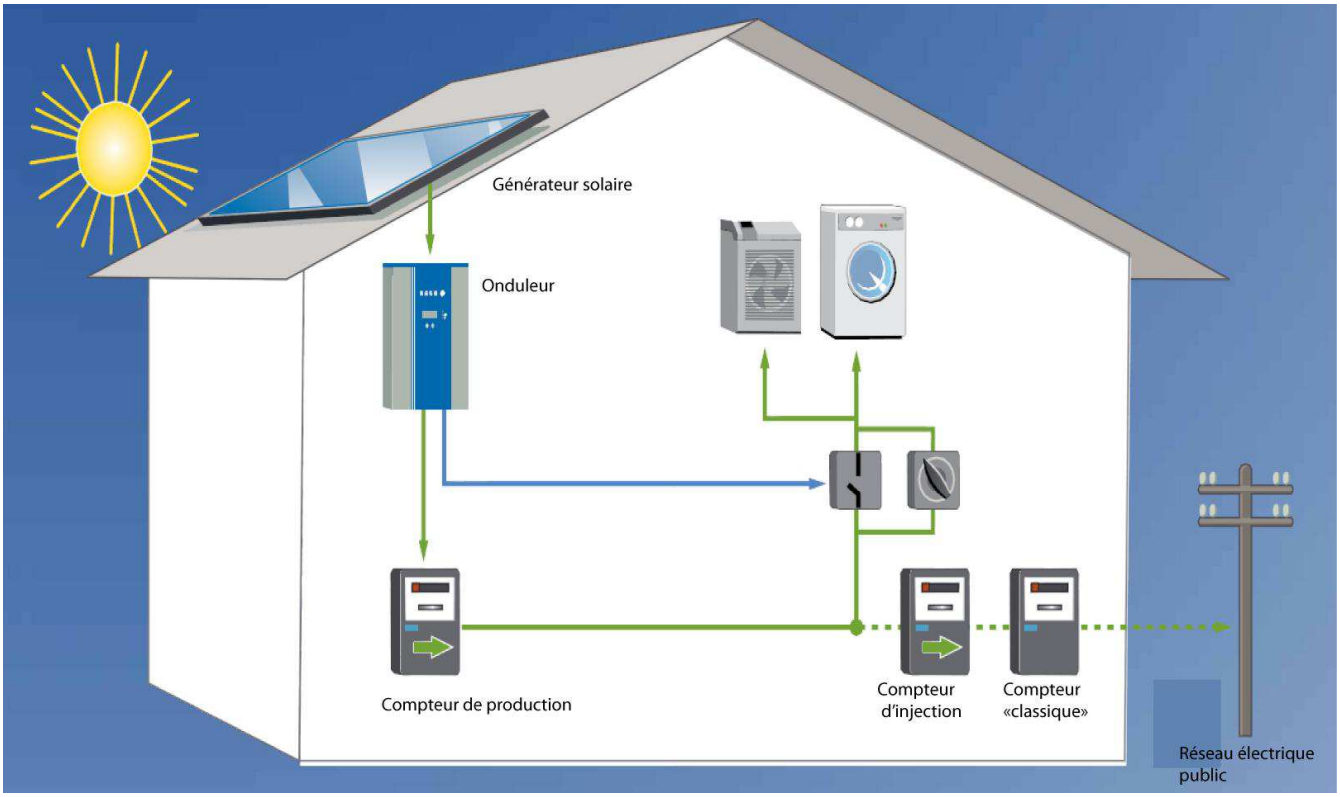
3.2. La production de KACO new energy

3.2.1. Les onduleurs ; présentation d'un composant essentiel d'un système photovoltaïque

Comme nous l'avons vu précédemment il existe plusieurs types de systèmes photovoltaïques : les systèmes isolés et les systèmes raccordés. Dans le présent travail nous nous concentrerons sur les systèmes raccordés à un réseau électrique.

Une centrale photovoltaïque est constituée d'un générateur, c'est-à-dire de modules, d'un onduleur et de compteurs (figure 11). Le générateur permet la production d'électricité[1]. En outre deux compteurs supplémentaires sont nécessaires. Le premier correspond à celui qui mesure l'énergie produite par l'installation. Le second mesure l'énergie qui est injectée dans le réseau public[2]. La présence de deux compteurs permet d'éviter les fraudes, c'est-à-dire de déclarer le total de la production d'électricité au fournisseur tout en consommant une partie de celle-ci.

Figure 11 : La composition d'un système PV raccordé au réseau électrique



Source : Document interne KACO new energy, modifié par Authier Felix, 2012.

[1] En réalité il transforme l'énergie solaire directe en énergie électrique.

[2] Qui correspond à l'énergie produite à laquelle est soustraite la consommation personnelle.

L'onduleur (photographie 9) permet de remplir les conditions de bases nécessaires au raccord du réseau électrique local et public. Sa fonction principale est de convertir le courant et les tensions continus « produits » par le générateur en grandeurs sinusoïdales alternatives. C'est à dire en courant et tensions alternatifs. Un onduleur est caractérisé par sa puissance de sortie mentionnée en voltampères. Il doit également remplir une condition de sécurité : lorsque le réseau public est coupé, le lien avec le générateur doit être interrompu.

La technologie des convertisseurs est une technologie ancienne. Elle a été reprise pour les systèmes PV et modifiée en raison des conditions d'utilisations différentes. Dans un premier temps les conversions varient. Les conversions faites par les onduleurs dans le secteur ferroviaire concernent uniquement les fréquences du courant alternatif. Il n'y a donc pas de passage d'un courant continu vers un courant alternatif. Le courant reste alternatif. Dans un second temps les conditions climatiques dans lesquelles les onduleurs PV sont utilisés sont différentes. Elles peuvent varier entre une cave humide et froide et un grenier qui concentre la chaleur en été. Ces conditions changent aussi en fonction de la localisation géographique dans lesquelles l'onduleur est en service. Enfin la tension fournie par le générateur est très variable en fonction des évolutions climatiques journalières et annuelles. L'onduleur doit s'y adapter afin d'exploiter au maximum la puissance disponible du générateur. C'est la fonction du *tracker*[1] intégré à l'onduleur.

Photographie 9 : Onduleurs sur le parking de KACO new energy à Neckarsulm

Source : Authier Felix, Avril 2012

[1] *Tracker Maximum Power Point, Mpp*. C'est un système qui permet de chercher et d'utiliser l'onduleur en fonction de la puissance maximale du générateur.

Avec le développement du secteur photovoltaïque, les investissements dans la technologie des onduleurs ont permis des innovations notables. Ainsi la résistance et les degrés d'efficacité se sont améliorés et il est possible d'injecter du courant dans le réseau public de manière triphasé[1]. Aujourd´hui « la perte[2] » d'énergie électrique lors de la transformation vers le courant alternatif est de 1 à 2%, ce qui représente des degrés d´efficacité ou rendements proches de 99%. Afin d´obtenir des résultats élevés, le générateur PV (le module) et l'onduleur doivent être coordonnés d'un point de vue électrique. Ainsi, pour un générateur PV installé (modules) d'environ 10 000 W[3], un onduleur d´une puissance nominale de 10 000 voltampères est nécessaire. Une autre innovation est la mise sur le marché d'onduleurs qui procèdent à la transformation en courant alternatif de manière électronique et non plus mécanique. Ceci permet un gain de précision et une augmentation des degrés d'efficacité.

Les onduleurs sont donc des éléments essentiels dans les systèmes photovoltaïques qui permettent d'utiliser l'énergie électrique produite par les modules. En fonction des caractéristiques de la centrale, il faut adapter le type et le nombre d'onduleurs. Afin de répondre à un maximum d'exigences, KACO new energy GmbH s'est établi en tant que prestataire complet. C'est-à-dire que l'entreprise fournit une gamme de produits exhaustive.

3.2.2. Une gamme de produits exhaustive

La gamme de produits vendue par KACO new energy peut se diviser en deux grandes catégories. Les produits destinés aux centrales photovoltaïques et les produits destinés aux transports et à l'industrie. Il est à noter que l'activité principale de l'entreprise est la fabrication et la commercialisation de produits destinés à la transformation d'énergie solaire.

Le secteur des transports et de l'industrie

Dans ces secteurs KACO new energy GmbH développe et commercialise des couples d'alimentation électrique-batterie qui correspondent à la continuation des activités initiales de la division KACO G*erättetechnik*[4]. Ces sont des produits généralement destinés à des systèmes qui sont reliés à des batteries et non à un réseau électrique. Les

[1] Ce procédé est aussi appelé surveillance triphasé. Il correspond à l'injection de courant dans les 3 phases simultanément tout en vérifiant qu'il n'y a pas d'amplitude trop importante entre les phases. Le courant triphasé est le courant utilisé par les fournisseurs d'électricité. Il permet un transport économique de l'énergie.

[2] En théorie on ne peut pas parler de perte car les pourcentages perdus sont en réalité transformés en énergie thermique.

[3] On utilise les watts pour exprimer la puissance lorsque le courant est continu tandis que l'on utilise les voltampères pour exprimer la puissance lorsque le courant est alternatif.

[4] Avant l'établissement de KACO new energy en tant qu'entreprise autonome.

clients du secteur ferroviaire sont des entreprises comme Alstom, Siemens et Bombardier. Les produits suivants sont commercialisés:

- Onduleurs sinusoïdaux monophasés
- Onduleurs sinusoïdaux triphasés
- Transformateurs DC-DC
- Redresseurs de charge d'accumulateurs monophasés
- Redresseurs de charge d'accumulateurs triphasés
- Alimentations électriques sur mesure
- Transformateurs de fréquences

Des produits photovoltaïques diversifiés

Depuis la création de l'entreprise en 1998, la palette de produits à destination des systèmes PV n'a pas arrêté de croître. Le premier onduleur fabriqué était un onduleur sans transformateur ; le PVI 2600. En 2012, plusieurs groupes de produits sont à distinguer : les onduleurs pour systèmes raccordés au réseau électrique public, ceux pour systèmes PV non raccordés, les produits de surveillance, de sécurité énergétique et les logiciels.

Les onduleurs pour systèmes raccordés au réseau public d'électricité représentent plus de 90% du chiffre d'affaire de l'entreprise. Plusieurs séries en fonction de la puissance des générateurs et d'autres caractéristiques sont à distinguer. Nous les avons classés en fonction de la présence d'un transformateur ou pas (figure 12 et 13).

Figure 12 : Les séries d'onduleurs sans transformateur

Série	Puissance nominale de l'onduleur en kVA	Puissance maximum du générateur correspondant en kW	Phasage
Série Powador 00	2,6 à 8	3,2 à 9,6	Monophasé
Série Powador TL3	9 à 33,3	10 à 39	Triphasé

Source : KACO new energy

Figure 13 : Les séries d'onduleurs à transformateur

Série	Puissance de l'onduleur en kVA	Puissance maximum du générateur correspondant en kW	Phasage
Série Powador 02	1,65 à 5	2 à 6	Monophasé
Série Powador TR3	9 à 15	10 à 18	Triphasé

Source : KACO new energy

La présence d'un transformateur permet plus de sécurité mais entraîne une diminution du degré d'efficacité. Ces onduleurs sont nécessaires lors de l'utilisation de modules à couche mince.

Il existe ensuite la série Powador XP destinée aux centrales photovoltaïques de grande taille, c'est-à-dire de plus de 100 kW. Celle-ci est disponible avec ou sans transformateur.

Les onduleurs pour systèmes insulaires, ne sont pas raccordés au réseau public mais à une batterie. Il s'agit des onduleurs de la série KI. Il est possible d'intégrer le système reCUBE dans la catégorie des onduleurs pour systèmes insulaires. Ce système est constitué d'un générateur solaire, d'un onduleur de la série KI et de batteries. Il peut être complété par une éolienne pour combler les manques d'ensoleillement. Ce système permet l'approvisionnement en électricité de régions reculées et la sécurité électrique.

Les accessoires sont des éléments qui prennent de l'importance. Ils regroupent les produits de surveillance, de contrôle et de recensement de la production d'énergie électrique par le générateur solaire. Ils correspondent au « powador-protect », au « powador-go » et à la série des « LOG[1] ». Leur fonction est d'augmenter la sécurité, de permettre un rendement d'énergie maximum et de faciliter la maintenance des onduleurs PV. Ils sont aussi à mettre en relation avec la gestion à distance[2] du réseau local. Différents types de produits en fonction de la quantité de données analysées, enregistrées et transmises existent. Le Powador-view permet de visualiser les données en temps réel sur un écran.

[1] Powador « LOG », « proLOG », « piccoLOG », « miniLOG »
[2] Gestion de la production mais aussi de la consommation d'énergie

Les logiciels et applications internet sont soit des produits en complément des accessoires, soit des aides à l'installation de systèmes PV. Les produits en complément des accessoires permettent de visualiser et analyser les données transmises par les « LOG » sur un ordinateur, une télévision ou un téléphone portable. Ce sont par exemple le portail « Powador-web » ou le logiciel « Powador-monitor ». Ils permettent aussi la gestion de la production et de la consommation d'énergie électrique. Les aides à la conception d'installations PV sont par exemple PV-pilot ou le programme KACOCALC Pro.

KACO new energy GmbH est donc un prestataire complet dans le secteur des onduleurs solaires. Dans un contexte de changement des mesures politiques énergétiques – renouvelables – en Europe mais aussi en raison de l'évolution des marchés, KACO new energy cherche à rester compétitif et à anticiper un ralentissement de sa croissance. Un changement important du début de l'année 2012 correspond à l'évolution du texte de la EEG et la multiplication de fabricants d'onduleurs en provenance de Chine (Enkhardt, 2011, p.40).

3.3. La réaction de l'entreprise face au changement du contexte politique.

Avec l'évolution des politiques énergétiques et des marchés, KACO prévoit un ralentissement de sa croissance en 2012. Pour anticiper ce ralentissement, différentes mesures existent. Malgré son importance, nous n'aborderons pas la variable économique de façon approfondie dans notre travail. La variable principale est ici l'évolution de l'EEG analysé dans la première partie. Il est à noter que certaines mesures décrites dans la partie suivante s'inscrivent aussi dans une réaction face à l'évolution du contexte économique.

3.3.1. Engagement politique et présence médiatique de l'entreprise

L'entreprise KACO est connue pour son engagement politique. Lors des dernières élections du landtag du Bade-Wurtemberg, la direction de l'entreprise a dans un communiqué encouragé ses employés à voter pour le parti des verts (Die Welt, 2011). Lors de l'annonce des évolutions concernant la législation de l'énergie électrique photovoltaïque, la société a cherché à influencer les personnalités politiques et à avoir une présence médiatique importante. La présence médiatique et politique s'est intensifiée. KACO agit sur plusieurs domaines qui sont majoritairement liés.

Dans un premier temps notons les manifestations organisées par l'entreprise ou auxquelles elle a participée. Ces manifestations sont faites sur demande de la direction (cf. Annexe 8). Le 23 février par exemple (photographie 9), plus de 400 employés de la

société ont manifesté devant l'usine (KACO, 2012). Le 5 mars 2012, environ 100 employés ont participé à la manifestation contre la modification de la EEG (Bundesverband Solarwirtschaft, 2012).

Photographie 9 : Manifestation des employés de KACO new energy le 23 février 2012

Source : KACO new energy, 2012

Dans un second temps la direction de l'entreprise essaie d'avoir une influence politique et d'exercer du lobbying en invitant régulièrement des personnalités politiques. La visite des sites de production est suivie d'un discours de la personnalité invitée. Ralf Hoffman, le directeur de l'entreprise tient également un discours sur l'énergie électrique photovoltaïque et le secteur industriel qui y est lié. Les invitations ont pour but de persuader l'invité de l'importance de ce secteur pour l'environnement mais aussi pour l'économie (emplois…). En février 2012 lors de la venue d'Ulrich Schneider, député vert du *Bundestag,* le danger de l'évolution de la EEG a été mis en avant (*Heilbronner Stimme* le 27.02.2012).

Dans un troisième temps la direction de l'entreprise utilise les médias. Deux stratégies sont observables. La première consiste à médiatiser les venues de personnalités politiques, les manifestations et les évolutions de l'entreprise. Les articles

parus dans le journal la *Heilbronner Stimme* du 24 février 2012[1], du 27[2] février 2012 et du 2 avril 2012[3] en sont des exemples (cf. Annexe 5). La seconde stratégie est de publier ses propres articles dans le journal. L'affiche ci-dessous (figure 14), paru le 25 février 2012 critique les changements législatifs prévus.

Figure 14 : Affiche publié dans le journal par KACO new energy

Source : KACO new energy, 2012

[1] Jürgen Paul, (2012), « Proteste bei Kaco New Energy », Stimme, Heilbronn, Heilbronner Stimme GmbH, 24.02.2012.

[2] « Ulrich Schneider sorgt sich um Arbeitsplätze », (2012), Stimme, Heilbronn, Heilbronner Stimme GmbH, 27.02.2012.

[3] « Kaco baut Führung um », (2012), Stimme, Heilbronn, Heilbronner Stimme GmbH, 02.04.2012.

Le titre – « Tout le monde parle du tournant énergétique, sauf vous[1] » – fait allusion à la position favorable de l'opinion publique en faveur de la sortie du nucléaire. Ce titre critique aussi la position des hommes politiques représentés : le ministre de l'économie allemand, Jürgen Großmann (1952 -), le PDG de RWE AG[2] et Rainer Brüderle (1945 -) le président du groupe parlementaire allemand du parti libéral démocrate. L'entreprise les considère comme opposants aux énergies renouvelables. Par la suite l'affiche « déconstruit » des arguments avancés par les opposants du PV. L'affiche oppose par exemple l'affirmation que « le photovoltaïque met en danger le secteur industriel allemand[3] » à l'argument que l'Allemagne est leader technologique sur le marché des onduleurs photovoltaïques mondiaux (figure 14). En effet, en 2012 le marché des onduleurs PV est dominé par des entreprises allemandes. Toutefois une concurrence internationale émerge (Enkhardt, 2011, p.40).L'affiche se termine par une métaphore : « Donc sortez du Soleil[4] ». KACO new energy demande aux ministres de l'environnement et de l'économie allemands « d'arrêter de faire de l'ombre » au secteur photovoltaïque car ceci empêche la production d'électricité à partir d'énergie solaire. Ces personnalités et leurs politiques empêcheraient donc le développement du secteur PV et par conséquent celui des onduleurs.

3.3.2. Optimisation de l'organisation de l'entreprise

Dans le contexte de prévision du ralentissement des ventes sur le marché européen, KACO new energy cherche à optimiser l'organisation de son entreprise. Différentes mesures sont observables.

La première mesure correspond à l'internationalisation de l'entreprise dans une perspective de dégradation du marché européen[5]. La société a cherché à diversifier ses marchés. Comme nous l'avons vu dans la partie 2.1.2, l'extension de l'entreprise a dès 2007 dépassé les frontières européennes[6]. L'implantation en Corée du Sud permet en plus de l'ouverture du marché asiatique de profiter d'un coût du travail plus bas.

La seconde mesure correspond à la réorganisation de l'entreprise afin d'optimiser les processus et donc les coûts de production. Sur le plan local, en Allemagne, la direction et les différents services ont été réorganisés. Un nouveau service relatif à la gestion des produits et de la qualité a été créé. Comme l'indique le communiqué de presse du 30 mars 2012, c'est Dieter Hornung qui prend la tête de ce service (KACO,

[1] *„Alle reden von der Energiewende. Ihr nicht. " (Illustration 1)*
[2] Un des plus grands conglomérats allemands dans le secteur des énergies.
[3] « *Das die Photovoltaik den Industriestandort Deutschland gefährdet* » (Illustration 1)
[4] « *Darum geht uns aus der Sonne* » (Illustration 1)
[5] Les raisons principales de cette dégradation sont l'évolution du contexte politique et économique et l'émergence de la concurrence asiatique.
[6] En 2007, un centre de R&D est ouvert en Corée du Sud. Pour plus d'information se reporter à la partie 2.1.2.

2012a). C'est dans cette division que se situe la section du *produktmanagement* dans laquelle j'ai fait mon stage. Il est à noter qu'en décembre 2012, Ralf Klenk a quitté la direction de l'entreprise après avoir « fait ses devoirs » (Paul, 2011). Parallèlement à la réorganisation du siège social, des services spécifiques aux sites de productions canadiens et coréens sont en cours de création. Une section de *produktmanagement* a par exemple été mise en place aux Etats-Unis pour gérer la production des séries américaines blueplanet.

Enfin, l'optimisation des sites de production – le site allemand d'Erlenbach, le *Werk*[1] *2*, a été fermé en avril 2012 et intégré au site numéro 3 à Neckarsulm – permet également une réduction des frais (d'entretien) et une optimisation de la production. Les installations du *Werk* 3 sont en effet plus récentes et plus spacieuses. Dans la même logique le *Werk* 5 a été inauguré fin 2011 à Neckarsulm. Dans cette usine la gestion des composants et de nombreuses étapes de la production sont automatisées.

3.3.3. Evolution de la gamme de produits

La modification de la EEG entraine une diminution des prix de rachat de l'électricité par les fournisseurs énergétiques. Afin de maintenir l'attractivité de l'investissement dans un système photovoltaïque, différentes stratégies ont étés mises en place.

Le développement des petits onduleurs monophasés

KACO new energy craint que la réduction entraîne une diminution des ventes. La diminution du prix du kWh acheté rallonge la durée de rentabilisation du système et dissuaderait les clients potentiels d'investir. Dans cette optique KACO cherche à diversifier sa production. Une nouvelle gamme de produits est prévue : la série TL1 qui est une amélioration de la série 00. Le but est de développer un produit pour les petits systèmes PV. KACO vise un public large avec des produits moins chers. La série TL1 améliore le lien onduleur/générateur. Ceci a pour résultat d'augmenter le degré d'efficacité et la production d'énergie électrique du générateur. Le but est donc de rendre l'investissement plus attractif par une meilleure production d'énergie.

Le développement de produits de gestion de la production et de la consommation personnelle

La limitation du rachat de l'électricité à 70-80% de la production totale et la régression des taux de rachat augmentent l'intérêt de la consommation personnelle, c'est-à-dire d'utiliser soi-même l'électricité produite dans son réseau local. Le problème du décalage entre production et besoin en énergie électrique est ici important. KACO

[1] L'usine

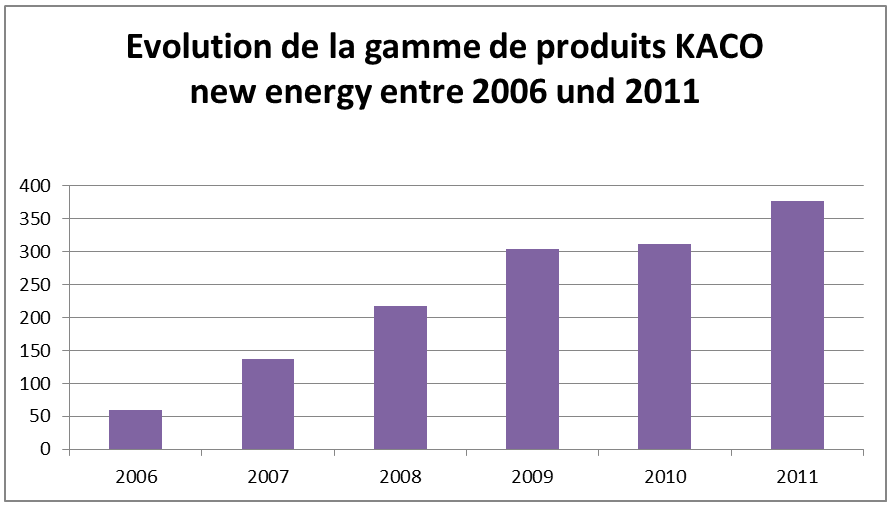
cherche donc à développer des produits qui permettent de répondre à ce problème. Plusieurs solutions sont envisageables.

- La première correspond au développement de la gestion de la production. La fonction de base de ces produits, comme le powador-protect, est la gestion du réseau à distance. Le powador-protect répond directement à la nouvelle législation de la EEG 2012. Il autorise les fournisseurs d'énergie électrique à gérer à distance la tension de l'électricité injectée dans le réseau public.
- La deuxième solution représente la surveillance et la gestion personnelle de la consommation privée. Ce sont les accessoires haut de gamme de la série LOG qui assurent cette fonction. Les « LOG » permettent d'insérer l'énergie produite dans le réseau local en fonction de la consommation personnelle – lorsque la machine à laver est en route par exemple. Il est également possible de décider de la mise en marche d'un composant du réseau en fonction de la production du générateur électrique. Prenons l'exemple d'un chauffe-eau. Lorsque la tension de l'électricité produite atteint le seuil des 2000 Watts le chauffe-eau se met en marche. Lorsque la tension diminue et passe en dessous des 1800 Watts l'appareil est désactivé. La mise en route ou l'arrêt des utilitaires électriques peut se faire automatiquement en fonction de nombreux paramètres comme les prévisions météorologiques, la consommation moyenne, les réglages horaires, le prix du kWh acheté. La gestion manuelle à distance est également possible à l'aide d'un accès à internet (Smartphone ou ordinateur)…
- La troisième correspond au développement de solutions de stockage. Ce produit s'appelle le Powador gridsave. Il est constitué d'accumulateurs lithium-ion couplées à un système de surveillance LOG. Cette solution présente l'avantage de pouvoir – en plus des caractéristiques du LOG – stocker une part de l'énergie produite durant les moments de faible consommation. Elle est ensuite utilisée en fonction des besoins personnels, lors des heures de faible production ou durant les périodes de tarifs électriques élevés. Le gridsave permet également une certaine sécurité électrique en cas de panne électrique.

Conclusion

L'entreprise KACO new energy est donc une entreprise récente et dynamique qui a un enracinement ancien. Sur le plan national, l'entreprise est engagée politiquement et a une forte présence médiatique – surtout régionale. La direction de l'entreprise essaie d'influencer les décisions et les points de vue des partis. Face à l'évolution des marchés et de la législation, l'entreprise cherche à étendre sa présence internationale et développe sa gamme de produits. L'innovation est un axe stratégique important de KACO new energy. Entre 2006 et 2011, la gamme de produits KACO est passé de 60 à plus de 370 produits (figure 15).

Figure 15 :



Source : Document interne KACO new energy modifié par Authier Felix, 2012

Dans le cadre de sa croissance mais aussi dans l'optique d'optimiser ses coûts de production et d'organisation, l'entreprise se restructure. Cette stratégie a également été appliquée dans le service du *produkmanagement*, service dans lequel j'ai effectué mon stage. Dans la partie suivante nous détaillerons l'organisation de ce service puis nous présenterons les activités réalisées durant les trois mois dans l'entreprise.

4. Rapport d’activités

Le *produktmanagement* est le service dans lequel j'ai effectué mes trois mois de stage. Cette partie sera en premier lieu consacrée à la présentation du bureau puis je développerai les diverses activités que j'ai pu exercer au cours de cette période.

4.1. Le service du produktmanagement

4.1.1. Le cycle de vie du produit, fil conducteur des activités du *produktmangement*

L'entreprise KACO new energy est divisée en quatre divisions dont dépendent différents services (cf. Annexe 4). La structure de l'entreprise est donc répartie suivant les fonctions des individus. Le *produktmanagement* est intégré à la division du management des produits et de la qualité, dirigé par Dieter Hornung. Toutefois, en pratique, la division du *produktmangement* se situe au croisement de toutes les divisions de l'entreprise. En effet, les activités de ce service sont liées au cycle de vie des produits (figure 16). De ce fait les manageurs de produits sont en relation permanente avec les différents services de l'entreprise comme le marketing, le service après-vente, le service informatique…

Figure 16 : Le cycle de vie d'un produit

Source : KACO new energy, modifié par Authier Felix, 2012.

La phase de projet

En simplifiant, le cycle de vie des produits commence avec une phase de projet. Durant cette phase, le manageur de produit étudie les produits et stratégies de la concurrence, les attentes des consommateurs, les possibilités de la technique interne et les exigences des marchés, pour établir sur la base de ces résultats un cahier des exigences. Ce cahier dresse un profil ou définition du produit, c'est-à-dire qu'il récence les qualités requises par le produit pour répondre aux exigences des marchés et être concurrentiel.

La phase de développement

Durant la phase de développement du produit le manageur travaille en coordination avec la division de R&D et la division de la production. Le développement du produit consiste à créer différent prototypes, à définir les coûts de production, le fonctionnement, les logiciels, l'apparence, les matériaux utilisés, le manuel d'utilisation, les certificats et se termine par un cahier des charges. Ce cahier recense toutes les

caractéristiques relatives au produit et à sa production. Lorsque le projet est abouti, le *produktmanager* valide sa mise en série et procède à la mise sur le marché du produit.

La phase de la production en série

La production en série correspond à la phase durant laquelle le produit est fabriqué et est présent sur les marchés. Durant cette phase le *produktmanager* est responsable du suivi du produit. C'est-à-dire qu'il doit suivre l'évolution de celui-ci, trouver des solutions aux problèmes qui surviennent et gérer les modifications des produits. Lors de l'hiver 2012 par exemple un problème est apparu au niveau de la platine des onduleurs de la série des TL3. C'est alors au manageur – en relation avec la production et le service du R&D – de rechercher la cause du problème et une solution. Dans le cas des platines plusieurs causes étaient envisageables : températures minimales, explosion du transformateur, changement de la qualité des matériaux utilisés…Il semblerait que la défaillance soit due à une explosion du transistor qui endommagerait la platine. Des tests sont en cours.

Durant cette phase le manageur doit aussi tenir compte des changements de normes et gérer la mise à niveau des produits et des logiciels. Il doit donc se tenir au courant des évolutions législatives.

Enfin le *produktmanageur* peut, durant cette phase, chercher à optimiser des processus de production ou de mise sur le marché du produit. Un exemple est l'optimisation du processus d'acquisition des cartes *Global Packet Radio Service*[1]*,* pour le proLOG en avril 2012. Ces cartes permettent le transfert des données vers le portail internet de KACO new energy, la communication entre les différents composants du réseau électrique local et la gestion à distance. Dans l'ancien processus l'acquisition se fait par l'intermédiaire de media control, le fabricant OEM du proLOG. Elle est actuellement d'une durée « administrative » de 25 minutes par carte pour le service du *produktmanagement*. Au total, la réception de la carte par le client dans ce cadre dure environ 4 semaines et a un coût élevé (160€ pour 24 mois). En outre cette façon de procéder ne favorise pas le suivi des cartes vendues. Ceci pose problème lors du renouvellement de contrat de téléphonie mobile qui a lieu tous les deux ans.

Le nouveau processus a pour but de gérer l´acquisition et la distribution de ces cartes par KACO new energy GmbH directement sans entreprise intermédiaire. Ce nouveau processus permettrait de réduire de 25 minutes à 12 minutes le temps administratif. Le temps total de réception de la carte par le client serait de deux jours. Les autres avantages seraient une automatisation du processus, une sécurisation du paiement des contrats, une diminution du coût pour le client et un meilleur suivi des clients. Ce changement concernerait de nombreuses divisions dans l´entreprise. L'intégration des cartes actuellement en fonction dans le nouveau processus – effectué

[1] Ou GPRS qui sont correspondent à un type de normes de la téléphonie mobile.

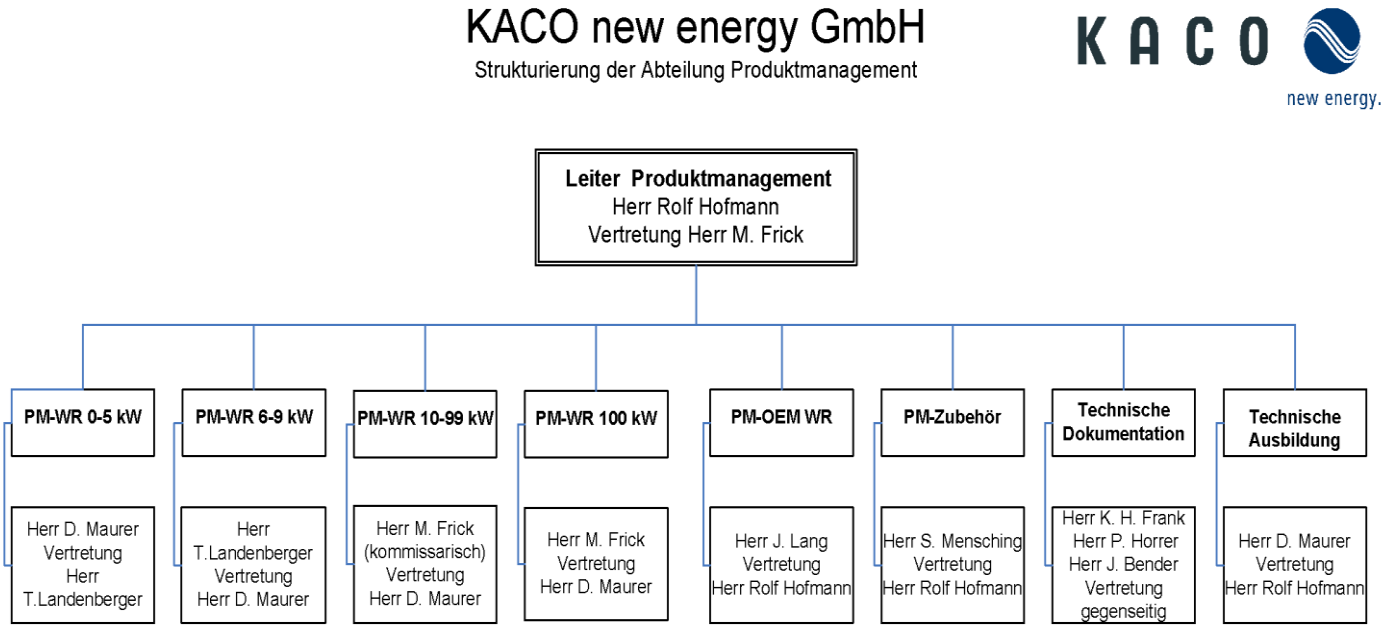
par le service commercial – nécessiterait deux minutes par carte. Cela représente une vacation d'environ 14 heures. Le changement de processus a donc un coût à cause du temps nécessaire aux modifications et à l´étude de changement de processus. Toutefois celui-ci serait rentabilisé après un an et demi. Ce nouveau processus n'est pas encore entré en application car il manque la validation de la direction de l'entreprise.

La fin de vie du produit

La fin de vie du produit correspond à l'arrêt de la production du produit et à son retrait des marchés. Durant cette phase, le but du manageur est de faire la transition optimale entre deux produits. C'est-à-dire qu'il essaye d'intégrer le maximum de pièces dans la production pour éviter les pertes. Lorsqu'il y a un différentiel de stocks, ceci implique l'achat d'autres pièces nécessaires à la conception du produit. Toutefois, si l'acquisition de nouvelles pièces a un coût trop élevé, les pièces restantes qui ne sont pas utilisables dans un autre projet sont jetées. Le but est d'éviter les pertes et de ne plus posséder d'onduleurs d'ancienne génération lorsque le successeur est mis sur le marché. L'arrêt d'une production se fait avec le début de l'autre

L'ensemble de ces tâches est, dans la division du *produktmanagement* de KACO new energy GmbH, réalisé par une personne pour une classe de produits donnés (figure 17).

Figure 17 : Le Produktmanagement avant la restructuration

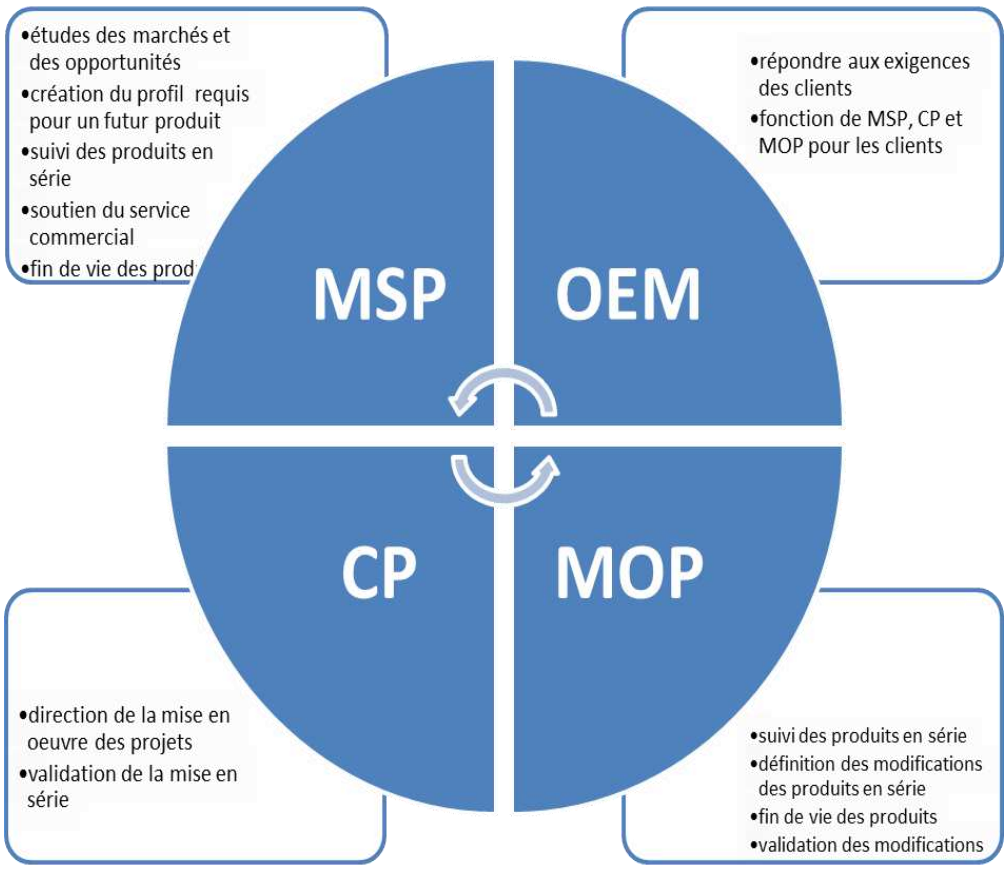


Source : Kaco new energy, 2012.

Un dernier type d'activités réalisé au sein de la section du *produktmanagement* correspond à l'édition. Cette section est responsable de l'édition des manuels d'utilisation, des fiches techniques, des certificats de conformités et des traductions de ces différents documents.

En avril 2012 la structure du PM a été réorganisée et les activités divisées et réparties entre le manageur opérationnel de produits, MOP, le chef de projet, CP, et le manageur stratégique de produits, MSP (figure 18). Depuis la restructuration c'est le MSP qui est responsable des premières et de la dernière phase du cycle de vie du produit du produit. Mais il supervise aussi toutes les autres activités liées aux produits. Le chef de projet est responsable des tâches lors du développement du projet. Lorsque le produit entre en phase de production en série, c'est le manageur opérationnel de produit qui prend le relais. C'est lui qui gère les activités relatives aux modifications du produit durant sa production. Il est également responsable en coordination avec le MSP de la fin de vie du produit.

Figure 18 : La répartition des taches dans le service du *PM*



Source : Authier Felix, 2012

Comme nous venons de le voir la répartition des tâches au sein de la division du *PM* est lié au cycle de vie du produit. Parallèlement à la nouvelle répartition des tâches, le *produktmanagement* a été réorganisé en avril 2012.

4.1.2. L'organisation de la division du *Produktmanagement*

La division du *Produktmanagement* de KACO new energy est dirigée par l'ingénieur diplômé Rolf Hofmann. Durant les mois de mars et d´avril 2012, la division du *productmanagement* de KACO new energy GmbH a été restructurée. Initialement (figure 17) chaque employé occupe un poste de manageur de produit et est responsable d'un groupe de produits. C'est à lui de gérer toutes les tâches – du projet jusqu'à la fin de vie du produit – durant le cycle de vie du produit. Le service est responsable des produits fabriqués en Allemagne et à l'étranger. Il doit donc également gérer les problèmes qui surviennent dans les sites de production internationaux (Canada et Corée).

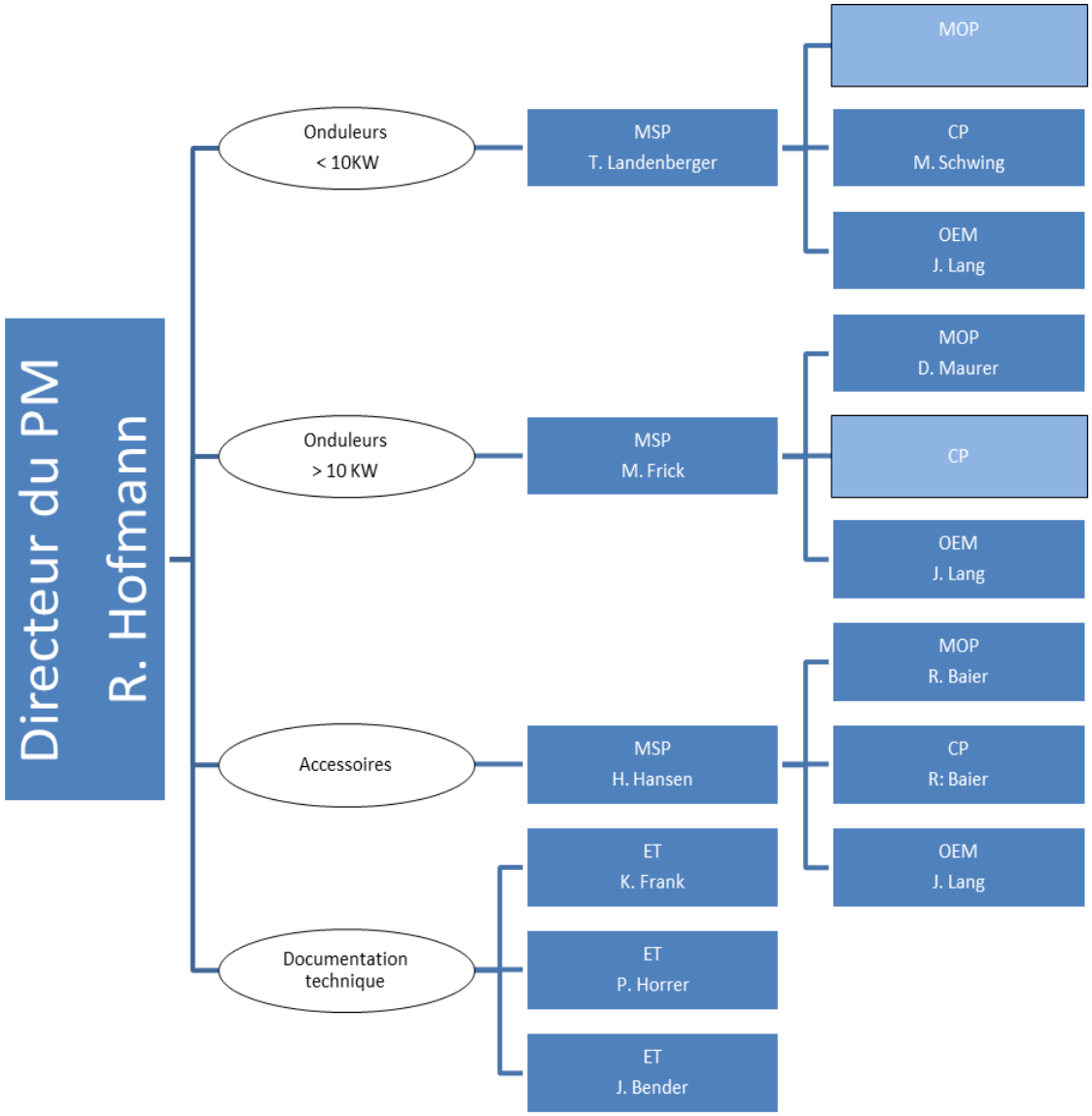
Afin d'optimiser les processus et de réduire les coûts le service a été restructuré et différentes équipes de travail ont été créées. Il est à noter que Rolf Hoffman garde sa position de directeur de la division (figure 19). Chaque groupe est responsable d'une gamme de produits. Le premier groupe gère les onduleurs destinés aux générateurs d'une puissance maximum de 10 KW. Le second groupe s'occupe des onduleurs destinés aux générateurs d´une puissance de plus de 10 KW. Le troisième groupe s'occupe des Accessoires. Les équipes de travail (figure 18 et 19) sont constituées d'un manageur stratégique de produit, d'un manageur opérationnel de produit, et d'un chef de produit. Le responsable des *original equipment manufacturer*[1] *(OEM)* s'occupe de toutes les gammes de produits et est présent dans tous les groupes. Théoriquement le manageur stratégique de produit dirige le groupe. Mais en réalité cette hiérarchie n´existe pas et la répartition des tâches n'est pas rigide. Chaque employé est donc flexible.
Notons qu'il n'y a plus de responsables pour les produits internationaux (hors Europe). Des divisions de *produktmanagement* sont en cours de création dans les différents sites de production internationaux. La division de Neckarsulm gère actuellement les produits internationaux durant la phase d'adaptation et de mise en place de ces nouveaux services.

La répartition des postes à l'intérieur de chaque groupe s'est faite selon le modèle d'Hermann. Celui-ci permet d'établir des profils individuels des individus. Quatre familles de profils sont distinguées en fonction du mode de pensée dominant : analyseur, organisateur, émotionnel, penseur. D'après Rolf Hofmann Gustave Eiffel (1832-1923) par exemple aurait un profil d'organisateur, Nicolas Sarkozy (1955-) un profil d'émotionnel,

[1] Il s'agit d'entreprises qui vendent des onduleurs KACO new energy sous leur propre nom. Ils sous-traitent donc leur production à KACO.

Steve Jobs (1955-2011) un profil de penseur et Konrad Zuse (1910-1995)[1] un profil d'analyseur.

Figure 19 : Organigramme de la division du *Product management* à partir d'avril 2012



Source : Authier Felix, 2012.

Chaque tâche est attribuée à un profil, ce qui permet de répartir les positions des employés. La fonction de MSP par exemple nécessite d'après ce modèle un profil de penseur qui peut avoir des « cotés » émotionnels et organisationnels. Le chef de projet doit surtout être organisateur tandis que le manageur opérationnel doit être analytique. La nouvelle structure du service (Figure 19) est basée sur cette approche.

[1] Il s'agit de l'un des inventeurs des calculateurs et ordinateurs.

La documentation technique enfin, a une place à part entière. Les employés sont en relation avec les différents groupes du service de manageur mais aussi avec les sites de production internationaux et les clients *OEM.*

La division du *PM* est donc une division qui gère le produit depuis sa phase « embryonnaire jusqu'à sa mort ». Afin d'optimiser le travail lié à la « vie » du produit, les différentes tâches ont été divisées et réparties en fonction des compétences et des caractéristiques des employés. Le stage a été effectué dans ce service dans le but de soutenir les MSP dans la phase de projet des produits.

4.2. Mes activités

Le déroulement quotidien de la journée débute avec une réunion entre les membres du PM durant laquelle chacun dresse un compte rendu de ses activités journalières. Mon activité principale au sein de la division du PM a été de soutenir les MSP dans les études préalables au développement des projets. Les tâches effectuées au cours du stage peuvent être classées en deux catégories : les études et la cartographie.

4.2.1. Les études

Lors du stage diverses analyses m'ont été confiées dont les principales ont été l'étude de la concurrence, l'étude des marchés et l'évolution interne de l'entreprise.

Un point essentiel des études est la recherche et la collecte des données. Dans le domaine des énergies renouvelables les informations sur les dix dernières années sont nombreuses et très diverses. Il est à noter que l'Afrique et le continent sud-américain sont souvent exclus des études. Les données relatives à ces pays dans le domaine des énergies renouvelables (hors hydroélectricité) sont rares. L'actualisation des données est variable en fonction des pays. Internet a été le principal outil utilisé dans le cadre de ces études. Les autres sources d'informations sont la presse spécialisée disponible à l'entreprise et les études privées ou publiques. Ces médias ont de nombreux avantages mais aussi de nombreux inconvénients qui sont présentés dans le tableau ci-dessous (figure 20).

Les études de la concurrence correspondent à une approche d'étalonnage concurrentiel ou *benchmarking*. C'est-à-dire à « …un processus continu et systématique d'évaluation des produits, des services et des méthodes par rapport à ceux des concurrents les plus sérieux et des entreprises reconnues comme leaders ou chef de file » (David T. Keans cité par Costa, 2008, p.77). L'étude de la concurrence s'est principalement limitée à une approche géographique. Il s'agissait dans un premier temps de définir les principaux concurrents de l'entreprise à partir de différents critères. Ces critères avaient déjà été définis précédemment. J'ai donc mis à jour les données

disponibles et analysé l'évolution de la concurrence. Dans un second temps, le but de l'analyse a été de localiser les différents sites des principaux concurrents afin de les comparer avec les nôtres. Ceci a pour but d'analyser le développement international de ces entreprises mais aussi de réfléchir à la poursuite de l'extension internationale de KACO new energy. Ces études permettent également de définir la potentialité de nouveaux marchés internationaux. Elles sont donc un outil de soutien à la prise de décision stratégique de l'entreprise.

Figure 20 : Les différentes sources utilisées au cours de mon stage à KACO en 2012

sources		**Avantages**	**Inconvénients**
internet	Sites gouvernementaux	Données neutres	abondance des données
	Sites des organisations intergouvernementales	Richesse de l'information Données neutres	abondance des données actualisation
	Sites des organisations non gouvernementales	Informations	Subjectivité
	Sites des associations industrielles	Données analysées	subjectivité
Etudes privées ou publiques		Données analysées, synthétisées Gain de temps accessibilité	Coût important Subjectivité Manque de données à cause de la synthèse
Presse spécialisée		Faible coût accessibilité	Actualisation Subjectivité

Source : Authier Felix, 2012

Dans le cadre de l'internationalisation de l'entreprise, l'étude des marchés est essentielle. Ma mission a été d'analyser les caractéristiques énergétiques des pays ; quantité d'énergie électrique produite, part des énergies conventionnelles, part de la production d'énergie électrique photovoltaïque. Un exemple d'étude correspond à l'analyse de la part des énergies conventionnelles – c'est-à-dire nucléaire et fossile – dans la production totale d'électricité d'un pays (cf. Annexe 3). L'idée est que cette part peut être remplacée par des énergies renouvelables. Il s'agit d'un critère – parmi d'autres – important dans le choix de nouveaux marchés. Un pays comme le Costa Rica dont la production d'électricité est peu élevée et dans lequel la part des énergies

conventionnelles est faible ne présente qu'un faible intérêt. La Turquie représente un intérêt plus important car sa production est plus importante et repose sur les énergies fossiles (cf. Annexe 3). Lors de ces études, j'ai également comparé les différentes études privées sur les évolutions des marchés pour mettre en avant les différents points communs (cf. Annexe 2). Le marché des États-Unis par exemple est souvent considéré comme un marché d'avenir (Epia, 2012, Sarasin, 2011).

Les analyses sur l'évolution interne de l'entreprise ont pour but d'actualiser et de préciser les données relatives au développement de KACO new energy. J'ai par exemple étudié l'évolution du nombre d'employés ou l'évolution de la gamme de produits. L'utilité de ces documents est de présenter l'entreprise à des clients potentiels, de faire de la publicité. Par ailleurs ces études permettent d'éviter de reproduire des erreurs et de se comparer avec les concurrents.

J'ai donc effectué différentes études qui m'ont permis de découvrir une partie du travail d'un manageur de produits. J'ai aussi effectué des représentations cartographiques. Dans certains cas celles-ci complétaient les analyses décrites ci-dessus.

4.2.2. La représentation cartographique

Afin de présenter mes activités cartographiques, je prendrai une des missions qui m'a été confiée pour exemple. Kaco new energy est une entreprise qui vend majoritairement ses onduleurs à des grossistes. L'entreprise n'a donc que peu d'information sur l'endroit final où sont installés leurs produits. Afin de mieux connaître la position finale des produits, une « carte de garantie » a été créée. En l'échange de leur inscription les clients reçoivent une extension de deux ans de la garantie du produit[1]. Cette inscription en ligne ou par courrier permet à KACO de récupérer les données relatives aux clients finaux. L'intérêt de ce « fichage » est de mettre en relation la répartition des sites KACO new energy avec la répartition des clients en Allemagne, mais aussi de connaître l'évolution du marché.

Le but de la mission est de gérer et d'analyser les données relatives aux clients. Ici toute l'importance d'un système d'information géographique, SIG, apparaît. Thierry Joliveau (1996) définit un SIG comme «… l'ensemble des structures, des méthodes, des outils et des données constitués pour rendre compte de phénomènes localisés dans un espace spécifique et faciliter les décisions à prendre sur cet espace ». L'avantage d'un SIG est donc de permettre la mise en relation d'informations localisées de types différents mais se trouvant géographiquement au même endroit. Le travail se compose en différentes étapes : l'acquisition des données, le traitement des données, la réalisation

[1] Les produits sont alors garantis sept ans.

cartographique. Il est à noter que la majeure partie d'un SIG ne concerne pas la cartographie mais l'acquisition et la gestion des données à représenter.

L'acquisition des données

Les données des cartes sont recueillies par le service marketing et inscrites dans un fichier informatique (Excel). Actuellement plus de 48 000 onduleurs sont répertoriés dans ce fichier. Il est à noter que ces données sont confidentielles car elles contiennent des renseignements sur des personnes privées et les références des produits achetés. Il m'a donc fallu l'appui du chef de service pour obtenir ces informations. N'étant ni entretenu, ni géré dans une optique d'insertion dans un SIG – pourtant essentielle au traitement de ces informations – les données sont regroupées dans un tableau Excel sans aucune réflexion. Il s'agit donc dans un premier temps de réorganiser le fichier. Les fonds cartographiques ont été obtenus à l'aide d'extensions disponibles dans le logiciel QGIS.

Le traitement des informations

Les données ont été triées et les informations inutiles – essais, entrées inutilisables – ont été supprimées. Nous avons choisi de garder les colonnes des noms, des prénoms, de la rue, du code postal, de la ville, du pays, du type d'onduleur, du numéro de série et de l'année d'installation.

Ce document pose le problème de ne pas être géocodé. C'est-à-dire que les informations ne sont pas mises en relation avec un système de coordonnées ; X représente alors les longitudes et Y les latitudes. Or, afin de représenter les données dans l'espace, ce référencement est indispensable. Plusieurs solutions sont possibles afin de localiser géographiquement les différentes informations contenues dans le tableau. La première consiste à créer un nouveau calque dans Qgis et de faire un point sur la carte qui correspond à un produit KACO. A chaque point sont ensuite associées les informations relatives aux clients ayant acheté ce produit et contenues dans le tableau. Cette solution n'a pas été retenue en raison du nombre élevé d'informations. À titre d'exemple, en localisant 100 clients par jour, le temps total nécessaire à exploiter tout le dossier aurait été de plus d'un an. La deuxième solution correspond à géocoder chaque ligne du fichier. C'est-à-dire à lui attribuer des coordonnées géographiques (X ; Y) dans un système de référence précis. Ceci serait possible grâce aux adresses recueillies par la « carte de garantie ». La majorité des logiciels payants permettent de géocoder plusieurs adresses à la fois. Or avec Qgis il est uniquement possible de géocoder une adresse à la foi à l'aide d'une extension qui utilise une interface de programmation (API) fournit par Google : l'API Google Maps. Cette API permet l'interaction entre différents programmes, ce qui permet à Qgis d'utiliser les données de Google. Toutefois la question du temps se pose également ici. Entrer les adresses une par une serait beaucoup trop long. Après de nombreux essais, la solution retenue a été d'utiliser un logiciel gratuit, Batchgeo, qui

permet de géocoder des adresses gratuitement et de les exporter dans le format KML. Il est à noter que le nombre de géocodages est limité. De plus sur internet les données sont récupérables par un tiers, ce qui présente un risque pour la confidentialité des données. Il a été donc été choisi de limiter les informations utilisées lors du géocodage à la ville et au type d'onduleur. Le reste des informations a été ajouté ultérieurement. Qgis permet par la suite la conversion du fichier KLM en fichier *shapefile*, qui est un fichier du type vecteur auxquels sont associées une table de données et des coordonnées géographiques.

La réalisation cartographique

La réalisation cartographique correspond à l'analyse des données à l'aide du logiciel QGIS. Celui-ci nous permet d'afficher les informations en fonction des variables de la carte. Ceci permet par exemple d'observer une évolution géographique des ventes. Il est également possible d'observer la répartition des clients finaux afin de choisir le nouvel emplacement d'une filiale.

Résultat

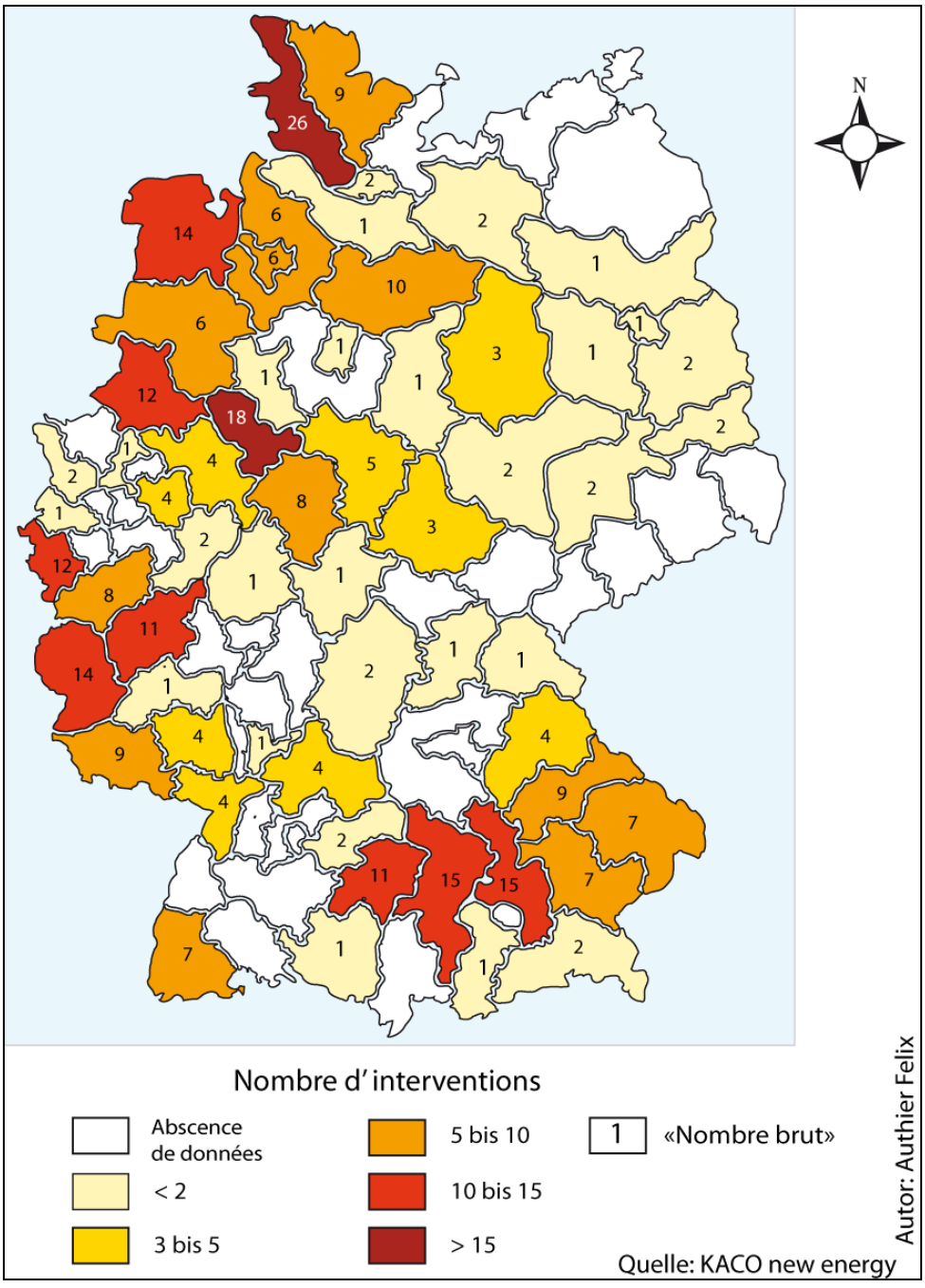
Ce projet n'a malheureusement pas été satisfaisant car le géocodage contenait trop d'erreurs. Celles-ci s'expliquent dans un premier temps par le manque de qualité des informations recueillies. Cette base de données n'a en effet jamais été entretenue et elle contient, malgré un « nettoyage » et une correction, trop d'erreurs. Les adresses ne sont pas toujours exactes ; elles ne peuvent donc pas être localisées correctement. Dans un second temps, la géolocalisation avec Geobatch est imprécise, le logiciel n'étant pas conçu pour rechercher un nombre important de localisations – 48 000 dans notre cas. Le nombre d'erreurs étant trop élevé nous avons décidé d'arrêter le projet. Ceci est un exemple de réalisation qui n'a pas été satisfaisante. L'exemple ci-dessous illustre un projet abouti. Nous n'entrerons pas dans les détails des différentes étapes de réalisation ; nous nous limiterons à sa présentation.

Dans le cadre d'une rencontre avec le client OEM Schüco, il m'a été demandé de réaliser des cartes montrant la répartition des sites de KACO new energy et leur rayon d'action mais aussi de cartographier le nombre d'interventions entre avril 2010 et 2011. Cela a pour but de convaincre le client que les sites de KACO couvrent la totalité du territoire allemand et une grande partie du territoire européen voire international. J'ai choisi de réaliser quatre cartes en fonction des échelles et des données à représenter :

- Une carte à échelle nationale pour représenter les interventions sur le territoire allemand (carte 3). Le choix de cette échelle s'explique par le fait que l'Allemagne est le principal marché de l'entreprise.
- Une carte à échelle européenne qui représente les interventions en Europe.
- Deux cartes représentant la localisation des sites de l'entreprise aux échelles européennes (carte 4) et mondiales, le type d'implantation et les activités de chaque site.

La carte européenne présente également le périmètre d'intervention[1] des sites de KACO new energy. De nombreuses autres cartes en fonction des besoins des MSP ont étés réalisées (mise sur le marché d'un logiciel d'aide au choix de l'onduleur en fonction des conditions d'ensoleillement, étude de la concurrence, évolution des marchés…)

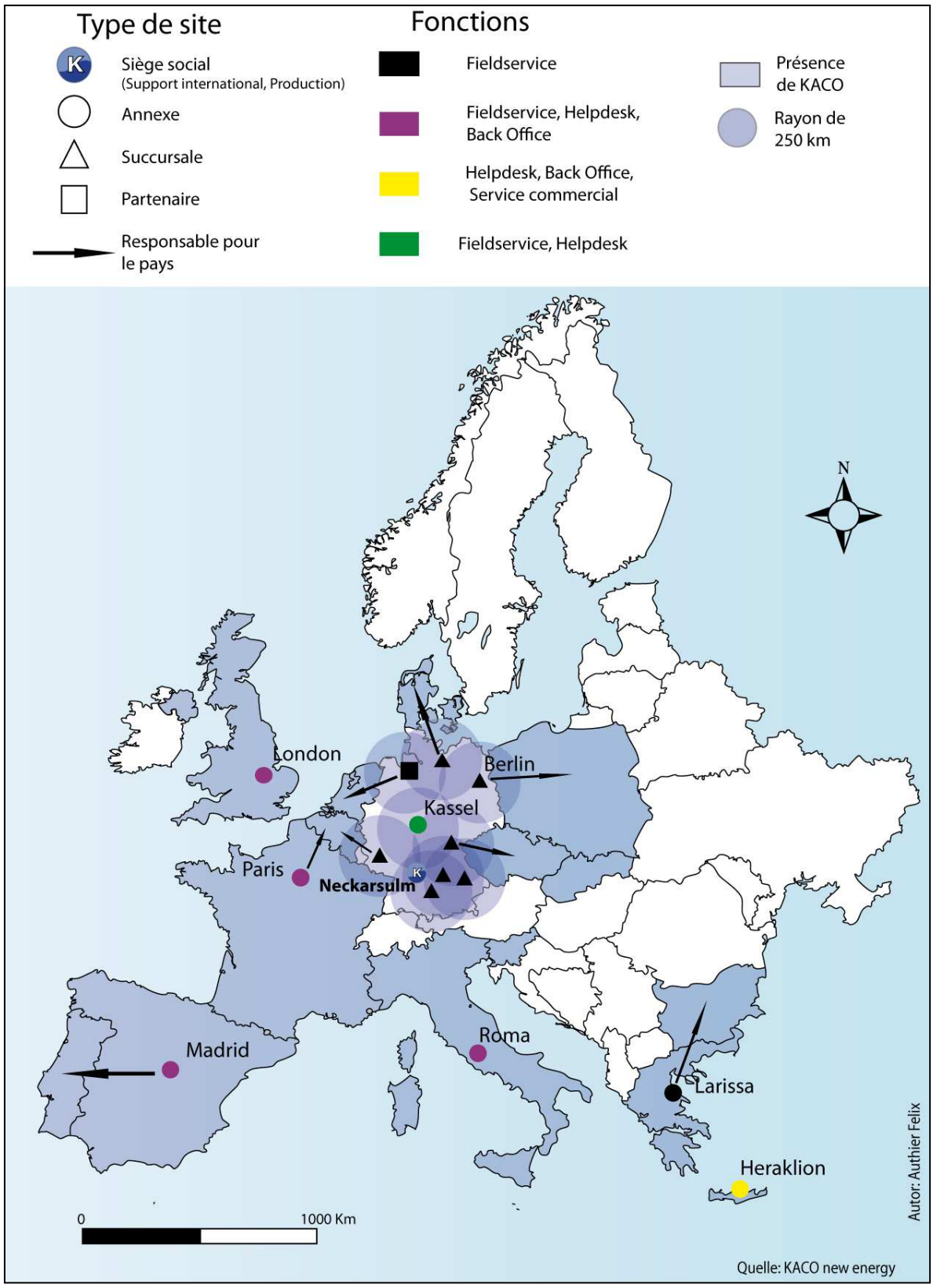
Carte 3 : Nombre d'intervention en Allemagne entre 2010 et 2011



Source : Document interne KACO new energy, modifié par Authier Felix, 2012

[1] Lors d'interventions dans le cadre de l'assistance et du service après-vente.

Carte 4 : Les sites de KACO new energy en Europe en 2012



Source : Document interne KACO new energy, traduit par Authier Felix, 2012

4.2.3. Les autres activités

Durant les trois mois de stage, j'ai également été responsable de la mise en place d'un service de veille médiatique. Cette veille est importante pour une entreprise à plus d'un titre. Elle complète le *benchmarking* et permet d'être rapidement informé des activités des concurrents. La veille médiatique permet aussi de surveiller les marchés, les changements politiques et l'image que renvoient les médias – sociaux – de l'entreprise… Les services de veille fonctionnent comme un moteur de recherche sur internet. Mais la précision de la recherche est supérieure. En outre ils présentent l'avantage de rechercher de façon automatique des thèmes prédéfinis dans un intervalle de temps choisi. Les résultats sont envoyés chaque matin par courriel ou consultable sur un portail internet. Ce service est donc un outil qui complète le travail des manageurs.

Afin de trouver un service convenable, des critères ont été établis : nombre de médias analysés, origine des médias analysés, possibilité d'ajout de nouvelles sources, prix du service, possibilités d'export et de diffusion des résultats journaliers. D'après ces critères deux prestataires de service ont été retenus – Meltwaternews et Echobot – et une période d'essai a été établie jusqu'à fin juin. Durant cette période deux thèmes de recherches ont été fixés. Puis nous avons comparé la pertinence des résultats.

Le premier thème correspond aux tarifs de rachats et le second aux actualités concernant tous les onduleurs d'une puissance de moins de 10 KW. La difficulté du premier thème est de filtrer uniquement les informations concernant le photovoltaïque. Il existe en effet, en fonction des pays, un tarif d'achat pour l'énergie éolienne et pour la biomasse. Cette difficulté a été résolue rapidement en excluant certains termes de la recherche. Une autre difficulté est de surveiller un maximum de pays. Or il est apparu qu'en entrant le critère de recherche dans une seule langue, les résultats ne concernaient que les pays où cette langue est parlée. Nous avons donc décidé de rajouter la traduction anglaise du tarif de rachat : *feed-in tariff*. Cela permet d'obtenir des informations de la majorité des pays du monde. Pour le second thème de recherche la difficulté principale était de ne recevoir que les informations concernant les onduleurs d'une puissance inférieure à 10 KW. À la fin de mon stage les résultats étaient plus précis mais certaines informations non désirées « passaient encore les filtres ». Tout au long, du stage j'ai été en contact avec les prestataires de service afin d'affiner les critères de recherches. À la fin de mon stage, aucune des options n'avait été choisie.

Mes principales activités ont donc été de soutenir le travail des MSP. J'ai présenté les résultats de mes activités lors d'entretiens. Ces entretiens réunissaient les MSP, le directeur du *produktmanagement*, et le directeur de la division du management des produits et de la qualité. Ils avaient pour but d'affiner les résultats et de définir de

nouveaux axes de recherches. Dans l'ensemble mon travail m'a intéressé et je dresse un bilan positif de ce stage.

4.3. Bilan personnel et perspectives du stage au sein de KACO new energy

4.3.1. De la formation universitaire au monde professionnel

Dans un premier temps, ma formation universitaire m'a permis d'appréhender les problématiques de façon méthodologique, en particulier dans le cadre de l'acquisition de données. Internet est un outil performant, mais les données y sont nombreuses et pas toujours fiables. Le travail universitaire m'a appris à trier les données : auteur, type d'institution, origine des données… Ceci a été un avantage lors des différentes analyses et de la création des bases de données pour la cartographie.

Dans un second temps les connaissances géographiques et géopolitiques acquises tout au long de mon cursus m'ont permis de comprendre l'évolution des marchés et de discuter des perspectives de développement du photovoltaïque. Le cas de l'Algérie est un exemple qui a été évoqué lors d'une discussion. Pour les employés, les pays du Maghreb, l'Algérie en particulier, seraient un marché intéressant du fait des conditions d'ensoleillement favorables. Lors d'une discussion, il s'est avéré que le point de départ de la réflexion était la condition climatique d'une région. Mais, malgré leurs caractéristiques climatiques, les régions du sud de l'Algérie ne représentaient pas, pour moi, des possibilités de marchés à court terme. En effet, ce sont des territoires contrôlés par Al Qu'Aïda du Maghreb islamique. L'État algérien n'y exerce que peu d'influence. Ces faits n'avaient pas été pris en compte lors des réflexions antécédentes. Il est à noter qu'il ne s'agissait que d'une idée qui était discutée au sein du PM. Il ne s'agit pas là d'un projet des dirigeants de l'entreprise.

Dans un troisième temps l'autonomie exigée par les études universitaires contraste avec le monde de l'entreprise dans lequel la hiérarchie joue un rôle important. En début de stage il n'a pas toujours été facile pour moi de comprendre toutes les logiques hiérarchiques. Il est à noter que la durée de travail hebdomadaire universitaire contraste également avec les durées du monde du travail. Ainsi je suis passé d'une moyenne de moins de 15 heures – de cours[1] – par semaine à plus de 40 heures de travail par semaine. Ces changements de logiques demandent une période d'adaptation.

[1] Toutefois en incluant les heures de travail personnel, la moyenne hebdomadaire de travail universitaire serait du double.

4.3.2. Bilan

Ce stage a d'abord été l'occasion pour moi de m'insérer dans le milieu professionnel de l'entreprise. Comme je l'ai évoqué dans mon introduction, ce milieu n'a qu'une proximité relative avec la géopolitique mais s'intègre à l'écopolitique. Jusqu'ici, mes seules expériences étaient des travaux saisonniers dans le domaine de l'œnologie, de la viticulture et de la vente, n'ayant aucun rapport avec ma formation à l'université ou le travail de bureau. De ces trois mois passés au sein de l'équipe du *produktmanagement*, je dresse un bilan personnel positif. C'est avec un grand intérêt et une grande curiosité, surtout personnelle, que ce stage a été réalisé. En effet, j'ai pu acquérir de nouvelles connaissances dans le domaine de l'électrotechnique et du photovoltaïque. J'ai également pu approfondir mes compétences en informatique en particulier dans l'utilisation du logiciel Excel mais aussi dans l'application professionnelle des SIG. De plus, j'ai eu l'occasion de rencontrer des individus d'horizons différents (ingénieurs diplômés, traducteurs, informaticiens, etc) et de partager mes connaissances et mes points de vue avec eux. Ce fut intéressant car leurs approches étaient différentes de la mienne. La différence entre les points de vue français et allemands sur certains sujets a été une bonne expérience qui m'a permis de mieux comprendre la société allemande. Je pense qu'avoir de l'expérience dans une entreprise à l'étranger est valorisant sur un CV et démontre un profil polyvalent auprès des employeurs.

J'ajouterai que ce stage a été pour moi une expérience d'intégration dans une entreprise. Cela m'a permis d'en connaître les rouages internes. En effet, j'ai pu prendre connaissance du fonctionnement d'une société privée de taille importante. Cela m'a permis de faire une comparaison avec l'organisation d'une petite structure (le consulat) et celle d'une structure familiale (le vignoble). Il existe peu de points communs entre ces structures ; les plus proches étant le consulat et KACO new energy GmbH. Le seul point commun qui m'est apparu réside dans le fonctionnement de la hiérarchie et des liens entre les différents niveaux (autorisations, relations avec les supérieurs hiérarchiques) de ces structures. Les relations chez KACO new energy semblaient toutefois un peu moins rigides que celles du consulat. Ceci pourrait être dû au caractère politique du travail d'ambassadeur et aux degrés de responsabilités différents. Une autre cause peut être la différence de « culture » entre la France et l'Allemagne ; le tutoiement étant plus facile en Allemagne.

La différence de taille des structures – plus de 500 employés à KACO new energy contre moins de 30 au consulat – entraîne des différences notables. La communication entre les différentes divisions est mauvaise. Ainsi certaines informations ne circulent que difficilement entre les divisions (refus de transmission de données, mauvaise communication). À la suite de la réorganisation du PM par exemple, les autres divisions s'adressaient aux mauvais responsables lors de sujets concernant un produit.

La taille importante rend également plus difficile l'obtention de données, chaque division faisant ses recherches de façon autonome. Ainsi il m'est arrivé de rechercher des informations et d'apprendre d'un autre service que cette étude existait déjà. Le directeur du PM n'était pas au courant que ces recherches avaient déjà été faites. Enfin une autre différence concerne la durée du temps de travail qui, dans le secteur public, est plus codifié. Dans le secteur privé les durées de travail sont flexibles. De plus en Allemagne, la durée de travail hebdomadaire est de 40 heures, ce qui était également nouveau pour moi. Il m'est arrivé de faire des journées de 10 heures de travail. A l'instar de mes collègues de bureau, je me suis rapidement retrouvé avec des heures supplémentaires. Ainsi à la fin du stage – bien que je partais plus tôt tous les vendredis – je me suis retrouvé avec 16 heures de travail en trop. Il m'a été difficile de profiter des heures supplémentaires accumulées. D'après des témoignages recueillis durant le stage, le fait de quitter plus tôt est perçu négativement et la syndicalisation est interdite. La question de la disponibilité – en fonction du carnet de commande – et de la liberté de l'employé peut être posée…

Par le biais de ce stage, j'ai pu me familiariser avec une méthodologie différente pour rédiger mes analyses et créer mes cartes. À l'université, mes travaux sont destinés à des professeurs ou des étudiants de ma spécialité, ce qui nécessite l'utilisation d'un langage cartographique précis et de termes spécifiques. En revanche, les études et les cartes réalisées au cours de mon stage ont été appréhendées par des individus n'ayant pas une approche universitaire. Les différents figurés et les règles de la cartographie n'avaient que peu d'importance. La présence d'une échelle ou d'une flèche du nord n'étaient pas des critères essentiels. Ainsi je pense qu'avoir effectué ce stage m'a permis de sortir de l'approche universitaire et d'exploiter professionnellement les compétences acquises à l'université. J'ai par exemple appris à cibler d'avantage les cartes en étant moins objectif lors de la représentation et plus didactique.

Au début du stage je n'arrivais pas à comprendre l'utilité de mes tâches pour le *produktmanagement*, en particulier de la cartographie. Je craignais de devoir effectuer des tâches inutiles ; c'est-à-dire des activités « pour m'occuper ». Le directeur de la division du PM m'a rapidement prouvé le contraire. J'ai compris que la cartographie était un domaine inconnu pour les responsables du PM et qu'ils désiraient en explorer les possibilités dans l'optique d'une application future. J'avoue avoir eu, au début, des difficultés à répondre aux exigences demandées. Mais petit à petit nos approches – du directeur du PM, Rolf Hofmann, et de moi-même – se sont coordonnées. C'est-à-dire que je comprenais mieux les attentes de mon tuteur. Parallèlement mon tuteur prenait conscience que tout n'est pas cartographiable et que certaines représentations cartographiques n'avaient pas de sens. Certaines cartes demandées au début étaient par exemple impossibles à représenter. Dans certains cas il y trop d'informations étaient voulu sur une carte ce qui ne permettait pas de la représenter correctement. Dans

d'autres cas les moyens à ma disposition étaient insuffisants. La cartographie nécessite un ordinateur puissant, des logiciels spécifiques et des données nombreuses. Dans l'optique d'une découverte des possibilités de la cartographie, nous avons décidé de travailler à l'aide de logiciels et de données gratuites. Afin de faciliter mon travail et d'effectuer certaines tâches, j'ai souvent utilisé mon ordinateur portable personnel. Mais comme nous l'avons montré dans la sous partie précédente (4.1.2) cette méthode a rapidement atteint ses limites. Toutefois j'ai appris à surmonter les problèmes de façon autonome et à réaliser les tâches avec une contrainte technologique et temporelle ; cela aide parfois à accepter un compromis.

Conclusion

Le service du *produktmanagement* a donc été réorganisé durant mon stage. Cette réorganisation a été effectuée selon un modèle basé sur le caractère des individus et le cycle de vie des produits. Les employés doivent s'adapter à cette nouvelle répartition des tâches et petit à petit abandonner leurs anciennes activités. J'ai, au cours de mon stage, appuyé le travail de manageurs de produits stratégiques dans la phase de projet du produit. Ces activités m'ont intéressé et m'ont permis de mettre en pratique les compétences acquises à l'université mais aussi de découvrir le milieu du photovoltaïque.

CONCLUSION GÉNÉRALE

J'ai effectué mon stage de fin d'études du Master 2 Études Européennes et internationales, spécialité géopolitique de l'université Reims Champagne Ardennes, dans l'entreprise KACO new energy. Ce stage a été une très bonne expérience personnelle sur plusieurs plans.

Cette expérience m'a permis de découvrir le milieu de l'entreprise et du travail de bureau que je ne connaissais pas. J'ai pu rencontrer de nouvelles personnes et j'ai pu m'intégrer à une équipe de travail. Les activités que j'ai effectué m'ont permis de mettre en pratique les connaissances et compétences acquises lors de mon cursus universitaire. D'autre part, il a été intéressant de découvrir une entreprise jeune et dynamique qui se développe au niveau international. Il m'est apparu qu'en raison de la rapidité de son évolution, la structure de l'entreprise a une orientation locale tandis que les activités de KACO new energy sont aujourd'hui internationales. Les relations et les démarches hiérarchiques sont un élément important du fonctionnement de cette entreprise. Le cadre dans lequel l'action se déroule est limité et l'autonomie des employés est donc restreinte. De mon point de vue, un tel travail peut être intéressant mais ne laisse pas beaucoup de place au développement personnel.

Ce stage a été pour moi une expérience nouvelle et enrichissante qui m'a permis de concrétiser davantage mon projet professionnel à l'issue de mon cursus universitaire. J'ai remarqué que le travail de recherche m'intéresse particulièrement, ce qui m'amène à réfléchir à une éventuelle poursuite d'études en doctorat. Je songe également de plus en plus à une carrière dans l'enseignement.

Par ailleurs, ce séjour à l'étranger m'a permis d'approfondir mes connaissances sur l'Allemagne, mais aussi de percevoir les différences existant avec la France. Bien que proches géographiquement et culturellement, de nombreuses différences existent dans les comportements, les idées et la place du travail. Ainsi l'Allemagne me paraît, en de nombreux points, plus libérale que la France.

Enfin, ce stage m'a également permis d'approfondir mes connaissances sur le secteur des énergies renouvelables. J'ai pu prendre conscience de l'importance des enjeux – écologiques mais aussi économiques et par conséquent politiques – liés à ces technologies mais aussi de leurs limites. La politisation des questions environnementales a permis, dans un cadre favorable à celle-ci, d'accélérer le développement des énergies renouvelables. Je pense qu'elles peuvent être aujourd'hui considérées comme une alternative aux énergies conventionnelles. Il apparaît néanmoins que leur utilisation est à penser dans un ensemble. C'est-à-dire qu'elles sont complémentaires et que leur

efficacité individuelle est limitée. De plus, de nombreux progrès sont encore possibles et essentiels, en particulier dans le cadre du transport et du stockage de l'énergie électrique. Ces questions sont aujourd'hui essentielles dans l'optique d'une généralisation de l'utilisation de ces énergies. Une réadaptation de nos modes de production et de consommation – de l'énergie mais aussi d'autres produits – est également nécessaire. Une approche plus décentralisée de la production et de la consommation et par conséquent la mise en valeur de l'échelle locale en serait un exemple. Cependant, les changements me paraissent plus difficiles en France qu'en Allemagne en raison de la centralisation du système français.

Annexes

Exemples de documents réalisés au cours du stage

Annexe 1 : La consommation d'électricité par habitant en 2009 et la densité de la puissance photovoltaïque installée en Europe en 2010 et 2011 94

Annexe 2 : La croissance annuelle de la puissance PV prévu entre 2010 et 2015 dans le monde 94

Annexe 3 : La part de la production d'électricité conventionnelle dans la production totale des pays en 2010 95

Autres documents

Annexe 4 : Organigramme général de KACO new energy GmbH 96

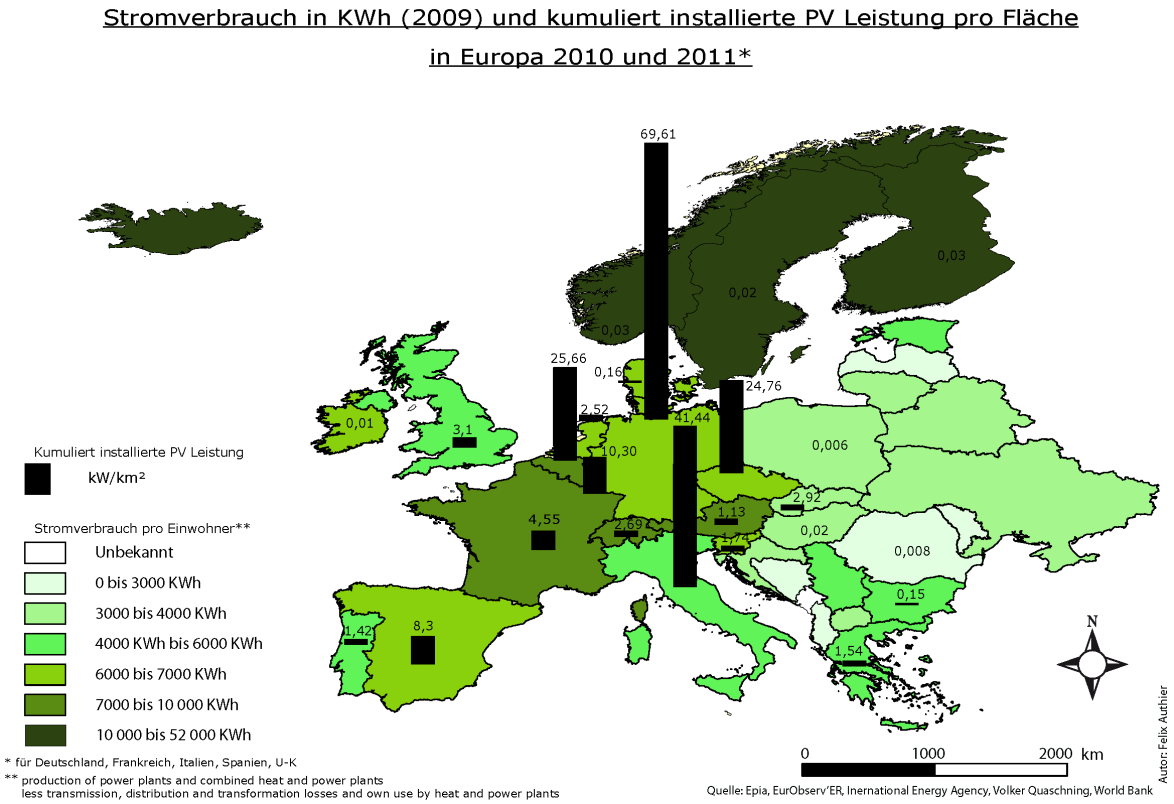
Annexe 5 : La présence médiatique de KACO new energy GmbH 97

Annexe 6 : Certificat de participation à une formation sur le Photovoltaïque 99

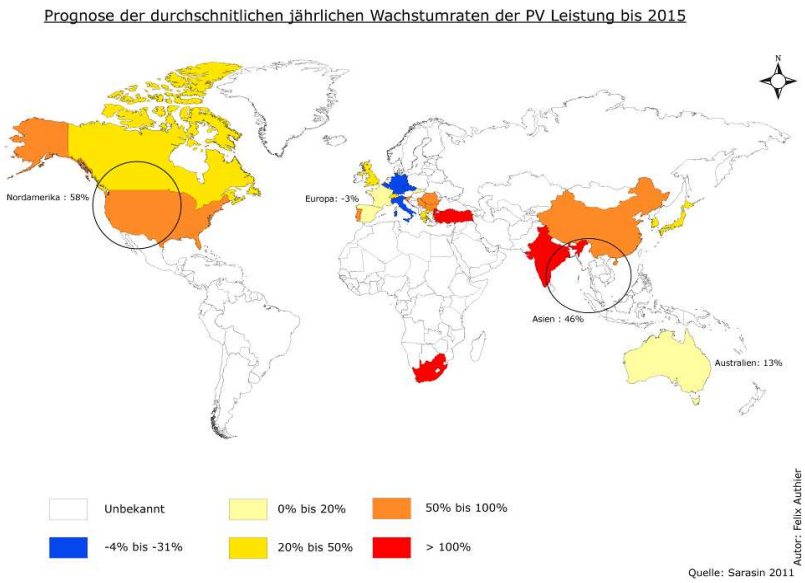
Annexe 7 : Contrat du stage dans l'entreprise KACO new energy GmbH 100

Annexe 8 : Circulaire KACO new energy GmbH du 2 mars 2012 102

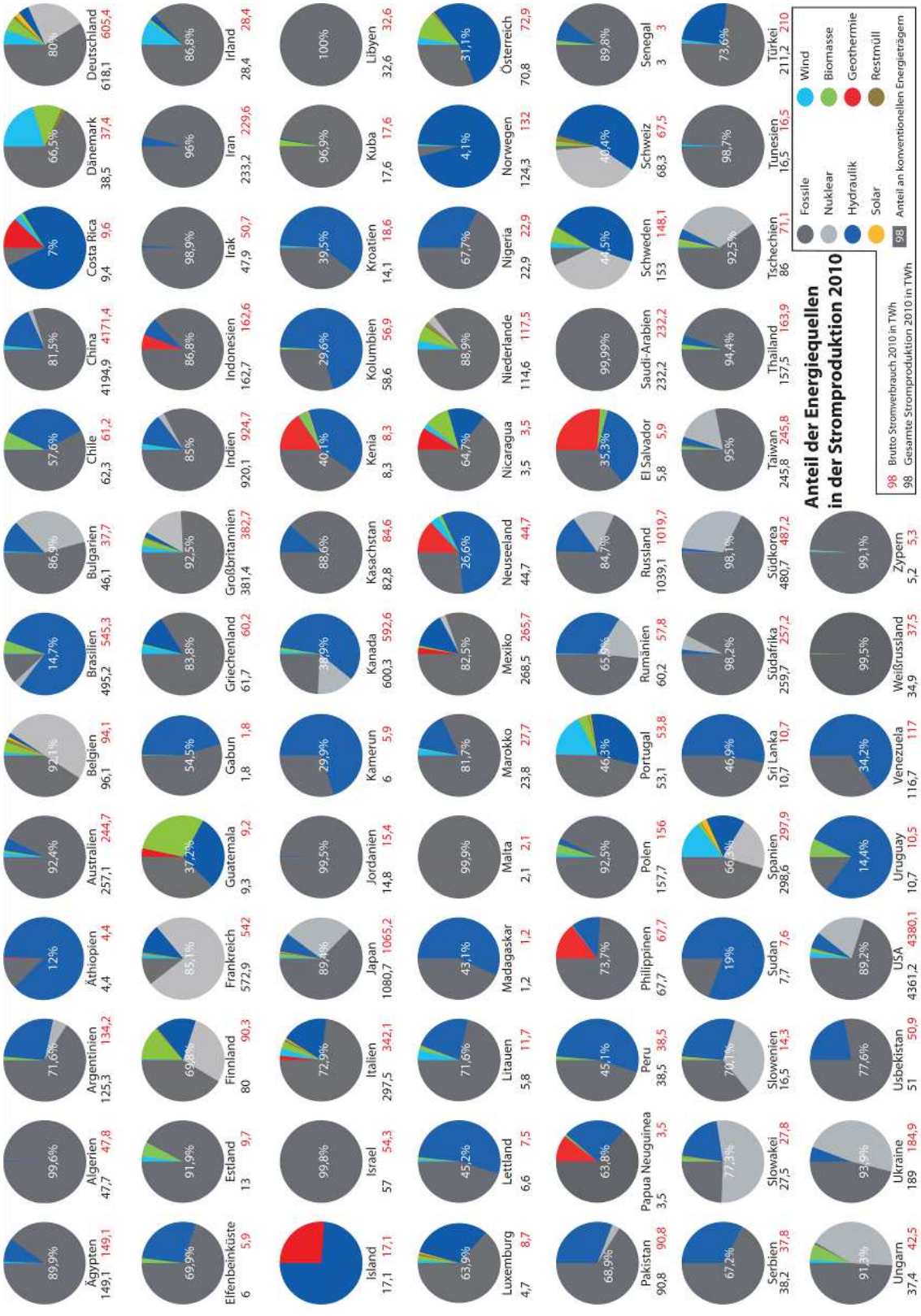
Annexe 1 *:* La consommation d'électricité par habitant en 2009 et la densité de la puissance photovoltaïque installée en Europe en 2010 et 2011



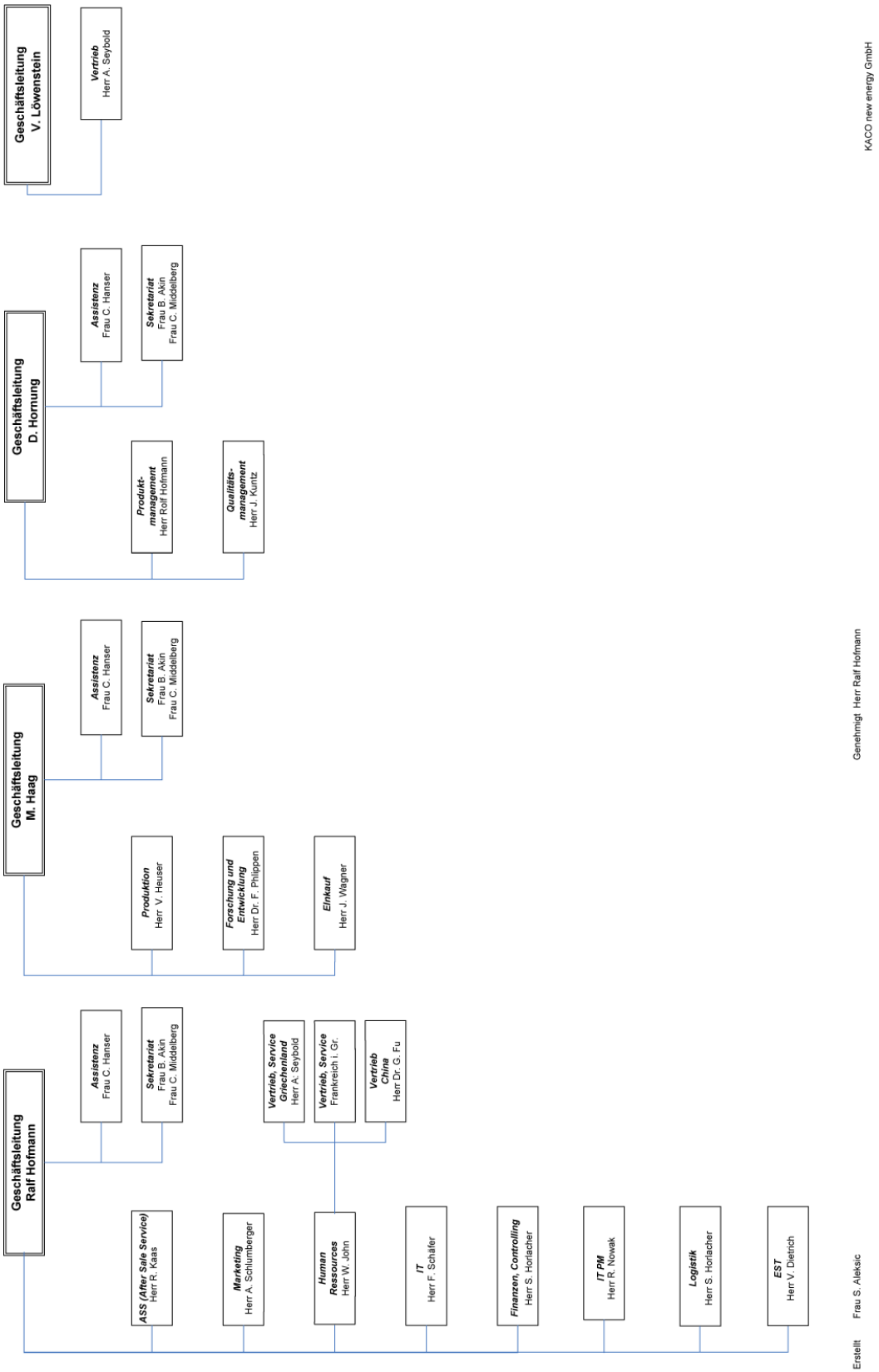
Annexe 2 : La croissance annuelle de la puissance PV prévu entre 2010 et 2015 dans le monde



Annexe 3 : La part de la production d'électricité conventionnelle dans la production totale des pays en 2010



Annexe 4 *:* Organigramme général de KACO new energy GmbH



Annexe 5 : La présence médiatique de KACO new energy GmbH

Kaco baut Führung um

Geschäftsleitung erweitert – Klenk ausgeschieden

NECKARSULM Die Geschäftsleitung des Neckarsulmer Solarunternehmens Kaco New Energy präsentiert sich runderneuert. Mit Dieter Hornung hat Geschäftsführer Ralf Hofmann einen alten Weggefährten in die Chefetage berufen. Dessen Aufgabenschwerpunkt liegt in der prozessbezogenen Optimierung von Produkt- und Servicequalität sowie von Kosten und Lieferketten.

Gestartet hat er seine Karriere bei der früheren Firma Kaco Elektrotechnik, aus der vor zwölf Jahren unter der Führung von Ralf Hofmann die Kaco New Energy hervorgegangen ist. Zuletzt war Hornung beim Neckarsulmer Automobilzulieferer Kolbenschmidt im Geschäftsbereich Aluminiumtechnologie als Leiter Qualitätsmanagement tätig. Chef ist dort Horst Binnig, der früher ebenfalls für Kaco Elektrotechnik gearbeitet hat.

Vertrieb Hornung stößt in der Geschäftsleitung des Wechselrichterherstellers neben Geschäftsführer Ralf Hofmann auf den technischen Leiter Matthias Haag und Vertriebschef Volko Löwenstein. Haag zählt ebenfalls zur alten Kaco-Garde, ein neues Gesicht ist dagegen Volko Löwenstein.

Der Elektroingenieur Löwenstein ist Jahrgang 1958 und hat ab 1993 zunächst für die Bielefelder Schüco das Photovoltaik-Geschäftsfeld aufgebaut, bis er im Frühjahr 2007 die Berliner Inventux Technologies AG gründete – ein zunächst auf Dünnschichtsolarzellen spezialisiertes Unternehmen. Bis in den vergangenen Sommer führte er Inventux als Vorstandsvorsitzender.

Internationalisierung „Zusammen mit meinen Kollegen in der Geschäftsleitung werden wir das Qualitätsmerkmal ‚Made in Germany' auch an unseren internationalen Produktionsstandorten konsequent verfolgen", sagt Hornung. Er sei gespannt darauf, welche Kostensenkungspotenziale sich durch die Internationalisierung der Geschäftsbeziehungen bieten.

Keine Rolle in der operativen Führung mehr spielt in der Kaco-Chefetage dagegen Ralf Klenk. Der Bechtle-Gründer hatte Anfang 2011 die Unternehmensspitze des früheren Neckarsulmer Nachbarn als Generalbevollmächtigter verstärkt. Wie berichtet hatte er sich zum Jahreswechsel als Generalbevollmächtigter der Kaco New Energy verabschiedet, um sich anderen Unternehmungen zu widmen. Die Verbreiterung der Managementbasis war ein Teil seiner Aufgaben bei Kaco gewesen. *mfd*

HEILBRONN Der Heilbronner Bun destagsabgeordnete Ulrich Schnei der (Die Grünen) hat die Kürzung der Solarstromförderung durch die Bundesregierung scharf kritisiert „Die von Bundeswirtschaftminister Philipp Rösler (FDP) und Bundesumweltminister Norbert Röttger (CDU) ausgedealten radikalen Kürzungen der Solarstromförderung führt zu einem Zusammenbruch des deutschen Solarmarktes", teilte Schneider am Wochenende mit. Dieses abrupte Ausbremsen der Photovoltaik gefährde auch direkt Arbeitsplätze in der Region Heilbronn. „Sollten die geplanten Kürzungen von de facto bis zu 50 Prozent – wenn man das gesamte Jahr 2012 zusammen rechnet – tatsächlich Anfang März umgesetzt werden, dann werden viele kleine und mittlere Betriebe der Branche in ihrer Existenz gefährdet", schreibt Schneider.

Bei Kaco Am Freitag hatte sich Schneider bei Kaco New Energy in Neckarsulm ein persönliches Bild gemacht. Bei einer Führung durch die Produktionshallen und im Gespräch machte Kaco-Geschäftsführer Ralf Hofmann deutlich, dass die geplanten Kürzungen der Solarstromförderung ein massiver Angriff auf sein Unternehmen und die gesamte Branche seien.

„FDP-Wirtschaftsminister Rösler will ein Solarenergieausstiegsgesetz im Eiltempo durch den Bundestag peitschen", so Schneider. Gerade mal ein Jahr nach der Katastrophe in Fukushima starte er einen massiven Angriff auf die erneuerbaren Energien in Deutschland. Dies sei genau das Gegenteil der dringend benötigten und von der Bundesregierung angekündigten Energiewende, sagte der Parlamentarier.

Gefährdung Die Solarbranche sei eine Erfolgsbranche, in der in den vergangenen Jahren weit über 100 000 neue Jobs entstanden seien und die einen unverzichtbaren Beitrag zur Umstellung auf regenerative Energien in Deutschland leisten könne und müsse. „Sollte der Rösler-Röttgen-Ausstieg aus der Solarförderung tatsächlich umgesetzt werden, so würden tausende Arbeitsplätze in Deutschland vernichtet – allein bei Kaco in Neckarsulm wären es rund 100 von insgesamt 500 Beschäftigten", betonte der Grünen-Politiker. Hofmann und Schneider hoffen darauf, dass sich die „absurden Kürzungen" im Bundestag noch verhindern lassen. *red/jüp*

Proteste bei Kaco New Energy

Rund 300 Mitarbeiter des Solarstromunternehmens demonstrieren gegen die Kürzung der Förderung

Von unserem Redakteur
Jürgen Paul

NECKARSULM Vom Band läuft ein Trauermarsch, die Menschenmasse teilt sich, um eine Gasse zu schaffen für die vier Mitarbeiter mit Philipp-Rösler-Maske, die einen Sarg auf den Schultern tragen. Gestern morgen kurz vor 12 Uhr wurde vor dem Gebäude von Kaco New Energy symbolisch die Energiewende zu Grabe getragen.

Am Abend zuvor kam die Kunde aus Berlin, dass die Solarförderung drastisch gekürzt werden soll: Bei großen Solarparks wird die Förderung demnach ab März um 30 Prozent sinken, bei Hausdachanlagen um 20 Prozent.

Ausstieg Für den Wechselrichterhersteller aus Neckarsulm Grund genug, seine Mitarbeiter zu einer Protestkundgebung vor dem Werksgelände zu laden. Mit diesen Plänen gebe es keinen Atomausstieg, sondern im schlimmsten Fall einen Solarausstieg, schimpft Matthias Haag, Mitglied der Kaco-Geschäftsleitung. Vor rund 300 Mitarbeitern verteidigt er die Photovoltaik-Branche, lobt die stete Verbesserung der Wirtschaftlichkeit und das Erneuerbare-Energien-Gesetz, das die Branche vorangebracht habe. „Wir sind auf gutem Weg, ohne Förderung auszukommen", sagt Haag, doch der Zeitpunkt komme zu früh. Der Kaco-Manager weist auf hunderttausende Arbeitsplätze hin, die durch die Photovoltaik im Handwerk und im Mittelstand entstanden seien und die er nun bedroht sieht.

Haag, der gestern den in den USA weilenden Unternehmenschef Ralf Hofmann vertrat, will wie die Branche weiter dafür kämpfen, dass die Pläne nicht Realität werden. Er hoffe, dass die FDP nach ihrem Muskelspiel bei der Gauck-Nominierung den nächsten Konflikt mit der CDU scheut. Denn im Gegensatz zu den bisherigen Kürzungen der Solarförderung, bei denen Umweltminister Norbert Röttgen (CDU) den Dialog mit dem Bundesverband Solarwirtschaft gepflegt habe, sei die Branche dieses Mal gar nicht gehört worden. „Rösler hat mit der Solarbranche sein Feindbild gefunden", ärgert sich Haag.

Der Wirtschaftsminister als Reizfigur: „Sunblocker Rösler – Solarenergie-Verhinderungseffekt 90" stand auf Plakaten der Kaco-Mitarbeiter. Foto: Kaco New Energy

Einbrüche Die drastische Subventionskappung wird nach Angaben des Geschäftsführers üble Folgen haben. Für den deutschen Markt erwartet Haag eine lange Durststrecke. Und klar sei auch: „Wir werden unsere Planungen für das laufende Jahr nicht halten können."

Kaco New Energy hatte sich nach einem heftigen Umsatzeinbruch um 50 Prozent im vergangenen Jahr für dieses Jahr eine Steigerung der Erlöse um 50 Prozent zum Ziel gesetzt. Das, sagt Haag, sei nicht zu schaffen, sollte der Berliner „Angriff auf die Energiewende" tatsächlich umgesetzt werden.

24/02/2012

Annexe 6 : Certificat de participation à une formation sur le Photovoltaïque

KACO new energy.

ZERTIFIKAT

„PV- Einsteiger“

Wir bestätigen hiermit

Herr
Felix Authier

die erfolgreiche Teilnahme
am oben genannten Schulungsseminar

Termin: 12.03.2012

Inhalt:

Vergleich Elektrik - Hydraulik
Ideale und reale Spannungsquellen
Generatorenkennlinien
Elektrische Messungen
Parallel- und Reihenschaltungen
Elektrische Energievorsorgung: Heute und Zukunft
Einfluss von Ausrichtung und Jahreszeit auf Ertrag
Verschiedene Modulsorten
Wie funktioniert ein Wechselrichter
Netzgekoppelte Photovoltaikanlagen: Komponenten und Auslegung
Einsteig in Verschattungs- und Blitzschutzthematik

KACO new energy GmbH
Carl Zeiss Str. 1
74172 Neckarsulm
Germany

Nico

Nico Vocke

Carl-Zeiss-Straße 1 · 74172 Neckarsulm · Germany · Fon +49 7132 3818-0 · Fax +49 7132 3818-703 · info@kaco-newenergy.de · www.kaco-newenergy.de

Annexe 7 *:* Contrat du stage dans l'entreprise KACO new energy GmbH

KACO new energy.

BEFRISTETER PRAKTIKANTENVERTRAG

Zwischen der Firma **KACO new energy GmbH**
Carl-Zeiss-Str. 1
74172 Neckarsulm

und **Herrn Felix Authier, geb. 17.09.1989**
wohnhaft:
Boulevard de la ronde
11200 Boutenac / Frankreich

wird folgender befristeter Praktikantenvertrag abgeschlossen:

1. Beginn und Beendigung des Praktikantenverhältnisses
   Dieser Vertrag beginnt am 01.03.2012 und endet am 30.05.2012 ohne dass es einer besonderen Kündigung bedarf. Während der Vertragslaufzeit beträgt die gegenseitige Kündigungsfrist 2 Wochen zum Monatsende. Die Kündigung bedarf zu ihrer Gültigkeit der Schriftform.

2. Probezeit
   Gesetzliche Regelung, 6 Monate

3. Tätigkeit
   Herr Authier absolviert ein Praktikum in dem Bereich Produktmanagement der Firma KACO new energy GmbH.

4. Entlohnung
   Als Praktikantenvergütung erhält Herr Authier eine frei vereinbarte Vergütung in Höhe von brutto 600,00 € / Monat.

5. Arbeitszeit
   Ihr Einsatz erfolgt in Normalarbeitszeit. Die momentane wöchentliche Arbeitszeit beträgt 40 Stunden.

6. Urlaub
   Sie haben während der Laufzeit Anspruch auf 2 Urlaubstage pro Monat.

7. Arbeitsverhinderung
   Im Falle einer Arbeitsverhinderung, infolge Krankheit oder sonstigen Gründen, sind Sie verpflichtet der Firma unverzüglich Mitteilung zu machen. Bei Arbeitsunfähigkeit infolge Erkrankung müssen Sie der Firma spätestens am dritten Tag der Erkrankung eine ärztliche Bescheinigung vorlegen, aus der sich die Dauer der Arbeitsunfähigkeit ergibt.

KACO new energy.

8. Nebentätigkeit
Die Übernahme jedweder auf Erwerb gerichteter Nebentätigkeit bedarf der ausdrücklichen vorherigen Zustimmung der Geschäftsleitung.

9. Geheimhaltung
Sie verpflichten sich, über alle Ihnen im Rahmen Ihrer Tätigkeit zur Kenntnis gelangenden geschäftlichen Angelegenheiten und Vorgänge, insbesondere über Geschäfts- und Betriebsgeheimnisse, Stillschweigen zu bewahren. Diese Verpflichtung der Geheimhaltung besteht auch nach Beendigung des Arbeitsverhältnisses. Im Fall eines Verstoßes gegen die Geheimhaltung sind Sie schadensersatzpflichtig.

10. Datenspeicherung
Die erforderlichen persönlichen Daten werden unter Einhaltung des Datenschutzgesetzes erfasst und in unserer EDV gespeichert.

11. Schlussbestimmungen

11.1 Dieser Vertrag ist in gegenseitigem Einvernehmen abgeschlossen. Tarifvertragliche Vereinbarungen finden keine Anwendung.

11.2 Vereinbarungen außerhalb dieses Vertrages bestehen nicht. Mündliche Abreden oder Nebenabreden wurden nicht getroffen.

11.3 Änderungen oder Ergänzungen dieses Vertrages bedürfen der Schriftform. Dies gilt auch für diese Bestimmung.

11.4 Bei Austritt aus gleich welchem Grund sind alle Firmendokumente, Dateien, Gegenstände jeglicher Art unmittelbar an die Firma zurück zugeben. Es steht Ihnen kein Zurückbehaltungsrecht zu.

11.5 Sollten einzelne Vertragsbestimmungen rechtsunwirksam sein oder werden, so wird dadurch die Gültigkeit des übrigen Vertragsinhaltes nicht berührt. Die weggefallene Bestimmung ist durch eine Regelung zu ersetzen, die dem Zweck der weggefallenen Bestimmung am nächsten kommt.

Neckarsulm, den 29.02.2012

KACO new energy GmbH

i.V. Jochen Kühner
Leiter strategisches
Personalmanagement

i.V. Daniel Holzaepfel
Leiter operatives
Personalmanagement

Felix Authier

Annexe 8 : Circulaire KACO new energy GmbH du 2 mars 2012

KACO

Info zur Teilnahme an der
Grossdemo am 5. März in Berlin
um 13:00 Uhr am Brandenburger Tor

Liebe Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter,

wir freuen uns darüber, dass wir mit Ihrer Unterstützung zu einem wirkungsvollen Auftritt in Berlin kommen

- für sauberen Strom aus Solarenergie
- weiterhin kraftvollen Solarstrom-Ausbau statt Solar-Ausstieg
- keine weiteren Einschnitte bei der Solarstromförderung

Veranstalter der Grossdemo ist der Bundesverband Solarwirtschaft e.V., die Interessenvereinigung der deutschen Solarbranche mit rund 900 Mitgliedsunternehmen. Unterstützt wird die Aktion von einem breiten Bündnis aus Verbänden, Umweltorganisationen und Gewerkschaften. Die Teilnahme an der Demo erfolgt auf eigene Gefahr und Risiko.

Unsere Abfahrt zur Grossdemo nach Berlin:

Wir fahren in einem Bus
am: 5. März
um: 4:30 Uhr
ab: Eingang Werk 1.
Demonstration in Berlin um: 13:00 Uhr
Geplanter Aktionsort: Vor dem Brandenburger Tor (Platz des 18. März)

Wie gehen wir mit Arbeitszeit und Reisekosten um?

Die Arbeitszeit am 5. März 2012 wird mit der Regelarbeitszeit von 8 Stunden gewertet. Es ist keine Buchung in AIDA nötig. Die Erfassung erfolgt mit Dienstgang =„DG“). Zu diesem Zweck wird eine Teilnehmerliste geführt, auf der jeder Teilnehmer unterschreibt. Während der Fahrt gibt es Brezel und Mineralwasser an Bord des Busses. Die Teilnehmer dürfen ergänzend den Spesensatz in Höhe von 6,--€ abrechnen.

Rückfahrt nach Neckarsulm:

Wird im Bus bzw. vor Ort in Berlin geklärt.

Wir wünschen uns und Ihnen eine wirkungsvolle Demo. Wir bitten Sie, sich so zu verhalten, dass wir als Gruppe in Berlin ankommen und als Gruppe wieder vollständig in Neckarsulm zurückkehren.

Mit freundlichen Grüßen
Geschäftsleitung

Lexique

Energie : « est la faculté que possède un système capable de fournir du travail mécanique ou de la chaleur » (Hladik, 2011, p.511). Elle a pour unité le joule, J.

Intensité électrique : Elle correspond à la force du courant dans un circuit électrique, c'est-à-dire au débit de charges électriques en un point du circuit. Elle a pour unité l'ampère, A.

Kilovoltampères : le kilovoltampère, kVA, correspond à l'unité de mesure utilisé pour quantifier la puissance maximale à la sortie de l'onduleur, lorsque le courant est converti en courant alternatif.

Puissance : Elle correspond à l'énergie produite par un système durant un intervalle de temps. Elle résulte donc du quotient de l'énergie E par le temps t. Elle est mesurée en Watt, W, qui correspond à un joule par seconde. À titre indicatif, une tranche de centrale nucléaire a une puissance de 900 à 1300 MW et la production mondiale totale d'électricité en 2009 était de 19 960 TWh (Vernier, 2012, p.9).

Il existe de nombreux multiples qui sont indiqués par des préfixes :

- Le facteur multiplicatif 1000 est indiqué par un k, le kilo.
- Le facteur multiplicatif 1 000 000 est indiqué par un M, le méga.
- Le facteur multiplicatif 1 000 000 000 est indiqué par un G, le giga.
- Le facteur multiplicatif 1000 000 000 000 est indiqué par un T, le téra.

Puissance nominale : la puissance nominale d'un récepteur est la puissance consommée par l'appareil lorsqu'il fonctionne normalement.

Rendement énergétique : le rendement énergétique correspond au rapport entre l'énergie électrique obtenue et l'énergie primaire utilisé lors de la conversion.

Wattcrète : c'est l'unité de mesure qui caractérise la puissance maximale d'un système, c'est-à-dire sa puissance dans des conditions de références. Pour un module ces conditions correspondent à un éclairement de 1 kW par mètre carré. Il est noté Wc

Wattheure : un Wattheure correspond à l'énergie consommée ou délivrée par un système d'une puissance de 1 Watt pendant une heure. Il est noté Wh.

Table des illustrations

Photographies

Photographie 1 : L'hélice du projet Seaflow sur les côtes de la Grande Bretagne 14

Photographie 2 : La centrale marémotrice de la Rance en Bretagne 15

Photographie 3 : La centrale électrique à biomasse de Söhnergy à Schwaigern en Allemagne 26

Photographie 4 : La centrale solaire thermique du centre de recherche PSA près de Almeria en Espagne; exemple d'une concentration linéaire 29

Photographie 5 : La tour solaire thermique du centre de recherche PSA près de Almeria en Espagne; exemple d'une concentration en un point..... 30

Photographie 6 : La centrale solaire thermique du centre de recherche PSA près de Almeria en Espagne; exemple de concentration en un point 31

Photographie 7 : La centrale photovoltaïque de Waldpolenz en Allemagne..... 35

Photographie 8 : Le siège social de KACO new energy à Neckarsulm en 2012 57

Photographie 9 : Onduleurs sur le parking de KACO new energy à Neckarsulm 61

Photographie 10 :
Manifestation des employés de KACO new energy le 23 février 2012..... 66

Cartes

Carte 1 : La densité de la puissance PV installée en Allemagne en 2011 48

Carte 2 : Les emplacements de KACO new energy dans le monde..... 58

Carte 3 : Nombre d'intervention en Allemagne entre 2010 et 2011 84

Carte 4 : Les sites de KACO new energy en Europe en 2012..... 85

Figures

Figure 1 : L'exploitation « améliorée » de la chaleur interne du globe terrestre 18

Figure 2 : Schéma d'une station de transfert d'énergie par pompage 22

Figure 3 : Le principe des cheminées solaires 28

Figure 4 : L'évolution du prix des onduleurs en Allemagne entre 2010 et 2012 33

Figure 5 : Évolution en GWc de la puissance photovoltaïque cumulée installée dans le monde entre 1992 et 2011 34

Figure 6 : L'évolution du prix des matières premières conventionnelles en Allemagne entre 1996 et 2007 44

Figure 7 : Contribution des énergies renouvelables à la mise à disposition d'électricité en Allemagne entre 1990 et 2011 46

Figure 8 : Développement de la puissance cumulée installée et de la production photovoltaïque en Allemagne entre 1990 et 2011 47

Figure 9 : L'évolution du tarif de rachat selon la EEG en Allemagne entre 2000 et 2012 51

Figure 10 : La part allemande dans le chiffre d'affaires de KACO new energy 55

Figure 11 : La composition d'un système PV raccordé au réseau électrique.....60

Figure 12 : Les séries d'onduleurs sans transformateur 63

Figure 13 : Les séries d'onduleurs à transformateur 63

Figure 14 : Affiche publié dans le journal par KACO new energy 67

Figure 15 : Évolution de la gamme de produits KACO new energy entre 2006 et 2011.....70

Figure 16 : Le cycle de vie d'un produit.....73

Figure 17 : Le Produktmanagement avant la restructuration 75

Figure 18 : La répartition des taches dans le service du *PM* 76

Figure 19 : Organigramme de la division du *Product management* à partir d'avril 2012..... 78

Figure 20 : Les différentes sources utilisées au cours de mon stage à KACO en 2012..... 80

Sitographie

ADEME, BRGM, (2011), *Géothermie Perspectives, toute l'information sur l'énergie de la Terre*, Orléans.

Consulté le 07.04.2012.

URL: http://www.geothermie-perspectives.fr/

AGENTUR FÜR ERNEUERBARE ENERGIEN, (2010), *Das deutsche erneuerbare Energien-Gesetz ("EEG"): eine Erfolgsgeschichte*, Berlin.

Mis en ligne le 03.08.2010, consulté le 14.05.2012.

URL: http://www.unendlich-viel-energie.de/fileadmin/content/2_Das_deutsche_EEG_eine_Erfolgsgeschichte.pdf

BMU, (2003), *100.000 Dächer-Solarstrom-Programm kurz vor dem Ziel*, Frankfurt.

Mis en ligne le 23.06.2003, consulté le 14.05.2012.

URL: http://www.bmu.de/pressearchiv/15_legislaturperiode/pm/4248.php

BMU, (2012a), *Erneuerbare Energien in Deutschland 2011*,Berlin.

Mis en ligne le 09.03.2012, consulté le 07.05.2012.

URL: http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/ee_in_deutschland_graf_tab.pdf

BMU, (2012b), *Die Energiewende, Zukunft made in Germany*, Berlin.

Mis en ligne le 02.2012, consulté le 04.05.2012.

URL: http://www.bmu.de/energiewende/doc/47912.php

BMU, (2012c), *Bundesrat ruft Vermittlungsausschuss an*, Berlin.

Mis en ligne le 11.05.2012, consulté le 12.05.2012.

URL: http://www.erneuerbare-energien.de/erneuerbare_energien/solarenergie/doc/print/48534.php

BMU, (2012d), *Vorläufige, konsolidierte (unverbindliche) Darstellung des EEG mit den vom Deutschen Bundestag am 29. März 2012 beschlossenen Änderungen*, Berlin.

Mis en ligne le 29.03.2012, consulté le 13.05.2012.

URL: http://www.erneuerbare-energien.de/erneuerbare_energien/downloads/doc/48521.php

BMU, (2012e), *Röttgen: Umbrüche in der Photovoltaik-industrie gehen auf Preisverfall und Überkapazitäten zurück*, Berlin.

Mis en ligne le 18.04.2012, consulté le 14.05.2012.

URL: http://www.bmu.de/pressemitteilungen/aktuelle_pressemitteilungen/pm/48625.php

BMWI, (2010), *Energie in Deutschland, Trends und Hintergründe zur Energieversorgung*, Berlin.

Mis en ligne le 12.10.2010, consulté le 08.05.2012.

URL: http://www.bmwi.de/Dateien/Energieportal/PDF/energie-in-deutschland,property=pdf,bereich=bmwi,sprache=de,rwb=true.pdf

BÖHME Dieter, DÜRRSCHMIDT Wolfhart, (2012), *Erneuerbare Energien 2011*, Berlin, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.

Mis en ligne le 18.03.2012, consulté le 07.05.2012.

URL: http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/ee_in_zahlen_2011_bf.pdf

BP, (2011), *BP Statistical Review of World Energy 2011*, London.

Mis en ligne le 17.06.2011, consulté le 01.05.2012.
URL:
http://www.bp.com/assets/bp_internet/globalbp/globalbp_uk_english/reports_and_publications/statistical_energy_review_2011/STAGING/local_assets/pdf/statistical_review_of_world_energy_full_report_2011.pdf

BUNDESVERBAND DER ENERGIE UND WASSERWIRTSCHAFT, (2012), *Erneuerbare Energien und das EEG: Zahlen, Fakten, Grafiken (2011),* Berlin

Mis en ligne le 24.01.2012, consulté le 13.05.2012.
URL :
https://www.bdew.de/internet.nsf/id/3564E959A01B9E66C125796B003CFCCE/$file/BDEW%20Energie-Info_EE%20und%20das%20EEG%20%282011%29_23012012.pdf

BUNDESVERBAND SOLARWIRTSCHAFT, (2012), *Demonstration*.

Consulté le 23.04.2012.

URL: http://www.solarwirtschaft.de/demonstration/

DIVISION PRODUCTION INGENIERIE HYDRAULIQUE DE L'EDF, (2012), *Usine marémotrice de la Rance.*

Consulté le 30.03.2012.
URL: http://energie.edf.com/hydraulique/energies-marines/carte-des-implantations-marines/usine-maremotrice-de-la-rance/presentation-51516.html

DESTATIS (2011), *Regionalatlas der statistischen Ämter des Bundes und der Länder.*

Consulté le 14.04.2012.

URL: http://ims.destatis.de/indikatoren/Default.aspx?https=1

ENR, (2011), *Le développement de l'éolien dans le monde,* Paris, syndicat des énergies renouvelables.

Mis en ligne le 11.07.2011, consulté le 13.04.2012.

URL: http://www.enr.fr/docs/2010122455_01FEEDeveloppementeolienmonde.pdf

ENR, (2012), *La filière des énergies marines*, Paris, syndicat des énergies renouvelables.

Mis en ligne le 2.02.2012, consulté le 01.04.2012.

URL: http://www.enr.fr/docs/2012154652_SERPlaquetteEnMarinesFRA4MD.pdf

EUROBSERV'ER, (2012), Baromètre photovoltaïque.

Mis en ligne le 23.04.2012, consulté le 07.05.2012.

URL: http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat_baro/observ/photovoltaic_2012.pdf

EUROPEAN PHOTOVOLTAIC INDUSTRY ASSOCIATION, (2012), *Market report 2011.*

Mis en ligne le 26.01.2012, consulté le 01.05.2012.

URL: http://www.epia.org/index.php?id=18

« Firmenchef fordert Mitarbeiter auf, Grün zu wählen », (2011), *Die Welt,* Berlin, Axel Springer AG, 06.03.2011.

Mis en ligne le 06.03.2011, consulté le 24.04.2012.
URL: http://www.welt.de/politik/wahl/baden-wuerttemberg-wahl/article12712763/Firmenchef-fordert-Mitarbeiter-auf-Gruen-zu-waehlen.html

GOUVERNEMENT FRANÇAIS, (1950), Arrêté du 17 octobre 1950 relatif à la réglementation de la pêche sur le Rhin frontière et le grand canal d'Alsace, Paris.
Mis en ligne le 02.07.2007, consulté le 06.05.2012.
URL:
http://www.legifrance.gouv.fr/jopdf/common/jo_pdf.jsp?numJO=0&dateJO=19501022&numTexte=&pageDebut=10907&pageFin=

JUWI, (2012), *Images,* Aix en Provence
Consulté le 20.04.2012
URL:
http://futurefr.juwi.com/galerie/images.html?tx_dfmediacenter_pi1[controller]=Media&tx_dfmediacenter_pi1[filterSection]=8092&tx_dfmediacenter_pi1[filterYear]=&tx_dfmediacenter_pi1[mc][currentPage]=3&cHash=60de1e2b567eb5ba6f495915a8fbc31a

KACO NEW ENERGY, (2010), *KACO new energy inaugure deux nouvelles usines en Amérique du Nord*.
Mis en ligne le 16.12.2010, consulté le 14.04.2012.
URL: http://kaco-newenergy.de/fr/site/KACO-new-energy-inaugure-deux-nouvelles-usines-en-Amerique-du-Nord/612/page/presse/details.xml

KACO NEW ENERGY, (2011), *KACO new energy élargit la direction de l'entreprise*, Neckarsulm.
Mis en ligne le 18.01.2011, consulté le 14.04.2012.
URL: http://kaco-newenergy.de/fr/site/presse/index.xml

KACO NEW ENERGY, (2012), *Energiewende gelingt nur mit mehr Solarstrom*, Neckarsulm.
Mis en ligne le 24.02.2012, consulté le 19.04.2012.
URL: http://kaco-newenergy.de/de/site/Energiewende-gelingt-nur-mit-mehr-Solarstrom/887/page/presse/details.xml

KACO NEW ENERGY, (2012a), *Kaco new energy erweitert die Geschäftsleitung*, Neckarsulm.
Mis en ligne le 30.03.2012, consulté le 24.04.2012.
URL: http://kaco-newenergy.de/de/site/Energiewende-gelingt-nur-mit-mehr-Solarstrom/887/page/presse/details.xml

OBSERV'ER, (2011), *La production d'électricité d'origine renouvelable dans le monde*, Paris.
Mis en ligne le 23.12.2011, consulté le 05.05.2012.
URL: http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/html/inventaire.asp

O'SULLIVAN Marlene, & *alii*, (2012), *Bruttobeschäftigung durch erneuerbare Energien in Deutschland im Jahr 2011, eine erste Abschätzung,* Berlin, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 17 p.
Mis en ligne le 26.03.2012, consulté le 07.05.2012.
URL: http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/ee_bruttobeschaeftigung_bf.pdf

Bibliographie

BERTANI Ruggero, DUMAS Philippe, UNGEMACH Pierre, (2009), *Geothermal electricity and combined heat & power,* Bruxelles, European Geothermal Energy Council, 16 p.

Mis en ligne le 19.11.2009, consulté le 03.04.2012.

URL: http://egec.info/wp-content/uploads/2011/01/EGEC-Brochure-GECHP-2009.pdf

BRUNS Elke & alii, (2009), *Erneuerbare Energien in Deutschland, eine Biographie des Innovationsgeschehens*, Berlin, Universitätverlag der TU Berlin, 554 p.

Mis en ligne le 12.02.2010, consulté le 02.04.2012.

URL: http://opus.kobv.de/tuberlin/volltexte/2010/2557/

BRUNS Elke & *alii*, (2010), « 20 Jahre Förderung von Strom aus Erneuerbaren Energien in Deutschland, eine Erfolgsgeschichte »*, Renews Spezial*, Berlin, Agentur für Erneuerbare Energien, numéro 41, 60 p.

Mis en ligne le 23.09.2010, consulté le 13.05.2010.

URL: http://www.unendlich-viel-energie.de/fileadmin/content/Renews%20Spezial/41_Renews_Spezial_20%20Jahre%20EE-Strom-Foerderung.pdf

COSTA Nathalie, (2008), *Veille et Benchmarking*, Paris, Ellipses, collection Gestion, 171 p.

DEBOURDEAU Ariane, (2011), « De la solution au problème, la problématisation de l'obligation d'achat de l'énergie solaire photovoltaïque en France et en Allemagne », *Politix,* Bruxelles, De Boek Université, numéro 95, pp 103-127.

Mis en ligne le 24.11.2011, consulté le 05.04.2012.

Url: http://www.cairn.info/resume.php?ID_ARTICLE=POX_095_0103

DESHAIES Michel, (2006), « Énergie et environnement en Europe : la question de la production d'électricité », *L'information géographique,* Paris, Armand Colin, volume 70, pp 50-71.

Mis en ligne le 13.10.2006, consulté le 26.03.2012.

URL: http://www.cairn.info/revue-l-information-geographique-2006-3-page-50.htm

« Energiesicherheit 2050, eine ressortübergreifende Herausforderung », (2008), *Seminaire pour la politique de sécurité 2008*, Berlin, Bundesakademie für Sicherheitspolitik, 61 p.

Mis en ligne le 28.05.2008, consulté le 10.04.2012.

URL: http://www.BAKS.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/SueA/SueA2008.pdf?__blob=publicationFile

ENKHARDT Sandra, (2011), « Die fetten Jahre sind vorbei »*, Photovoltaik,* Stuttgart, Alfons W. Genter Verlag, 10.2011, pp. 36-40.

FAWER Matthias, (2011), « Solarwirtschaft : Hartes Marktumfeld – Kampf um die Spitzenplätze »*, Sarasin,* Basel, Sarasin, 50 p.

FISCHER Severin, (2009), « Les défis de l'intégration européenne pour la politique énergétique allemande »*, Regards sur l'économie allemande,* Paris, Centre d'information et de recherche sur l'Allemagne contemporaine, numéro 90, pp 31-38.
Mis en ligne le 01.03.2011, consulté le 28.03.2012.
URL: http://rea.revues.org/index3590.html

FISCHER Severin, (2011), « Modell Deutschland und die europäische Energiepolitik », *Aus Politik und Zeitgeschichte*, Bonn, Bundeszentrale für politische Bildung, numéro 46-47, pp 15-22.
Mis en ligne le 08.11.2011, consulté le 20.04.2012.
URL: http://www.bpb.de/apuz/59674/ende-des-atomzeitalters

FURFARI Samuele, (2012), *Politique et géopolitique de l'énergie. Une analyse des tensions internationales au XXI^{ème} siècle*, Paris, Editions Technip, 454 p.

GEBHARDT Hans, & *alii*, (2007), *Geographie*, Heidelberg, Spektrum, 1096 p.

HLADLIK Jean (dir.), (2011), *Les énergies renouvelables aujourd'hui et demain,* Paris, Editions Ellipses, 522 p.

HOFFMANN Volker Uwe, (2008), « Damals war's; ein Rückblick auf die Entwicklung der Photovoltaik in Deutschland », *Sonnenenergie,* München, Gesellschaft für Sonnenenergie, volume 6, pp 38-39.

JOLIVEAU Thierry, (1996), « Gérer l'environnement avec des S.I.G. Mais qu'est-ce qu'un S.I.G. ? », *Revue de géographie de Lyon, v*olume 71, numéro 2, pp. 101-110.
Mis en ligne le 03.09.2010, consulté le 07.05.2012.
URL: http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/geoca_0035-113x_1996_num_71_2_4333

JOURDEN Guy, MARCHAND Philippe, (2009), *Des énergies marines en Bretagne : à nous de jouer !*, Rennes, Conseil économique et social de Bretagne, 424 p.
Mis en ligne le 23.02.2009, consulté le 1.04.2012.
URL: http://www.bretagne.fr/internet/upload/docs/application/pdf/2009-03/rapport_energies_marines_complet_v2.pdf

KNOLL Beate, (2010), « Wachstum wie erwartet », *Photon*, Aachen, Photon Europe GmbH, 09.2010, pp. 22-23.

LE PRESTRE Philippe, (1997), *Écopolitique internationale*, Montréal, Guérin, 556p.

MARHOLD Hartmut, LALLEMAND Xavier, (2009), « Le développement durable – un principe directeur de la politique allemande? », *L'Europe en Formation,* Nice, Centre international de formation européenne, numéro 352, pp. 105-142.
Mis en ligne le 10.09.2009, consulté le 13.05.2012.
URL: http://www.cife.eu/UserFiles/File/EEF/352/EEF352_5_HM.pdf

MAUTZ Rüdiger, & alii, (2008), *Auf dem Weg zur Energiewende: die Entwicklung der Stromproduktion aus erneuerbaren Energien in Deutschland*, Göttingen, Universitätsverlag, 177 p.

MUELLER Markus, WALLACE Robin (2008), « Enabling science and technologie for marine renewable energy », *Energy Policy,* Edingburg, Elsevier, volume 36, numéro 12, pp 4376-4382
Mis en ligne le 25.10.2008, consulté le 30.03.2012.
URL: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421508004539

PAUL Jürgen, (2011), « Schweres Jahr für KACO new energy », *Stimme,* Heilbronn, Heilbronner Stimme GmbH, 15.12.2011.
Mis en ligne le 15.12.2011, consulté le 24.04.2012.
URL: http://www.stimme.de/heilbronn/nachrichten/region/sonstige-Schweres-Jahr-fuer-Kaco-New-Energy;art16305,2321242

PIROTTE Olivier (dir.), (2003), *L'Allemagne, puissance régionale,* Lille, institut de recherches internationales européennes et de défense, 332 p.

QUASCHNING Volker (2011), *Regenerative Energiesysteme, Technologie, Berechnung*, *Simulation*, München, Hanser, 400 p. [7ème Edition]

RADKAU Joachim, (2011), « Eine kurze Geschichte der Antiatomkraftbewegung », *Aus Politik und Zeitgeschichte*, Bonn, Bundeszentrale für politische Bildung, numéro 46-47, pp 7-15.
Mis en ligne le 08.11.2011, consulté le 20.04.2012.
URL : http://www.bpb.de/apuz/59674/ende-des-atomzeitalters

REUBER Paul, WOLKERSDORFER Günter, (2001), *Politische Geographie, Handlungsorientierte Ansätze und Critical Geopolitics*, Heidelberg, Selbstverlag des Geographischen Instituts der Universität, 277 p.

RODARY Estienne, (2003), « Pour une géographie politique de l'environnement », *Ecologie & politique*, Paris, Presse de science Po, Numéro 27, pp. 91-111.
Mis en ligne le 26.06.2011, consulté le 05.04.2012.
URL: http://www.cairn.info/article.php?ID_ARTICLE=ECOPO_027_0091

TRITTIN Jürgen, (2006), « Histoire d'un succès : les énergies renouvelables », *Ecologie et politique,* Paris, Presse de science Po, numéro 33, pp 117-135.
Mis en ligne le 02.09.2011, consulté le 26.03.2012.
URL: http://www.cairn.info/revue-ecologie-et-politique-2006-2-page-117.htm

« Ulrich Schneider sorgt sich um Arbeitsplätze », (2012), *Stimme*, Heilbronn, Heilbronner Stimme GmbH, 27.02.2012.

VERNIER Jacques, (2012), *Les énergies renouvelables,* Paris, Presse Universitaires de France, 128 p.

WIRTH Harry, (2012), *Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland,* Freiburg, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, 51 p.

Résumé

Ce rapport de stage a été rédigé dans le cadre d'un stage du master 2 « Etudes Européennes et internationales », Spécialité géopolitique, effectué à l'université Reims Champagne Ardennes en 2012. Le stage a été réalisé dans l'entreprise KACO new energy GmbH, spécialisée dans la fabrication d'onduleurs et de solutions de supervision pour installations photovoltaïques. Le présent projet a pour but d'analyser le rôle de la politisation des questions environnementales dans le développement des énergies non conventionnelles. Dans un premier temps ce rapport traite des technologies existantes en matière de production d'énergie renouvelable et du contexte économique, social et politique, dans lequel cette production s'est développée en Allemagne. Les modifications – contemporaines au stage – de la législation allemande ont étés favorables à l'étude du rôle de ce contexte. La seconde partie du rapport traite de l'entreprise et de ses stratégies. Enfin une dernière partie est consacrée aux activités réalisées durant le stage.

Mots-cles

Energies renouvelables, écopolitique, Allemagne, photovoltaïque, géographie politique

Zusammenfassung

Dieser Praktikumsbericht wurde im Rahmen eines Praktika während des Masters 2 „Etudes Européennes et internationales Spécialité géopolitique“ an der Universität Reims Champagne Ardennes, im Jahr 2012, verfasst. Das Praktika wurde bei dem Unternehmen KACO new energy GmbH absolviert. Dieses Unternehmen ist in der Herstellung von Wechselrichtern spezialisiert. Erstens wurden die Technologien und ihre Entwicklungen analysiert. Dann wurde der soziale, politische und wirtschaftliche Kontext, in denen die Produktion Erneuerbarer Energie sich entwickelt, untersucht. Der letzte Teil befasst sich mit der Präsentation des Unternehmens und der durchführten Tätigkeiten.

Schlagwörter

Erneuerbare Energien, Ecopolitik, Deutschland, Photovoltaik, Politische Geographie