FRIEDRICH EBERT STIFTUNG
Bureau de Paris

Janvier 2016

Le tournant énergétique en Allemagne – état des lieux en 2015/2016

La double sortie du nucléaire et du fossile

Reinhart W. Wettmann

Le tournant énergétique est un projet en crise. A l'heure actuelle, il affiche un bilan mitigé et ne cesse d'inquiéter de nombreux secteurs de la société allemande. Les couches de la population les moins aisées sont confrontées à une montée du prix de l'électricité tandis que les opérateurs des centrales nucléaires souffrent de pertes importantes de leur capital propre. Certains syndicats souffrent de l'affaiblissement de leur secteur industriel et de nombreuses villes sont forcées de changer le modèle d'opération des services municipaux. Les Länder doivent trouver des sites pour le stockage des déchets nucléaires, pour l'installation de parcs solaires et éoliens et pour la construction de nouveaux réseaux. Ainsi, la hausse du prix de l'électricité, le poids persistant des centrales à charbon et la synchronisation du réseau électrique avec le nouveau mix énergétique constituent les trois plus grands problèmes politiques auxquels le projet du tournant énergétique fait face actuellement.

Cet article fait suite aux précédentes analyses de Reinhart Wettmann publiées par le bureau parisien de la FES :

Le tournant énergétique Allemagne : un projet en crise ? Août 2012
La sortie du nucléaire en Allemagne. Les raisons et la stratégie d'une nouvelle politique énergétique Août 2011

Reinhart W. Wettmann, LL.M. (Penn Law School), avocat, ancien directeur de la Prognos S.A., Bâle, et de la Fondation Friedrich Ebert, Caracas

La sortie du nucléaire – une singularité allemande ?

En dépit de ces difficultés, le consensus sur la sortie du nucléaire persiste (24 centrales en 1990, 8 en 2015). L'irradiation de toute une région en cas d'accident majeur est considérée comme une catastrophe « non-gérable ». Aucune autre technologie électrique ne représente un tel risque. D'autre part, on observe une augmentation des coûts de maintenance, du renforcement de la sûreté et, dans d'autres pays, du remplacement des parcs nucléaires[1]. Un rapport indique qu'un mix du solaire et de l'éolien s'avèrerait en Allemagne 21% moins cher qu'un parc équivalent de réacteurs nucléaires[2]. La complexité technologique et l'absence d'économies d'échelle expliquent cette augmentation.

De plus, il faut prendre en considération les 165 milliards d'euros de subventions dont l'aventure nucléaire bénéficie, en plus des coûts externes, dont une grande partie est reportée à la période post-production. Le fonds constitué par les entreprises productrices d'électricité pour le démantèlement des centrales, actuellement d'une valeur de 30 milliards d'euros, est considéré comme nettement insuffisant. En outre, le stockage final des déchets toxiques de la production actuelle reste sans solution. Si l'on intégrait les subventions et les coûts externes à une simulation du prix d'achat de l'électricité nucléaire, le prix s'établirait à 42% au-dessus de l'électricité verte[3]. La planification de nouveaux réacteurs en Angleterre démontre que, d'ici à 2060, le nucléaire n'est viable sur le marché que moyennant des subventions, à l'inverse des scénarios pour les énergies vertes en Allemagne.

En conclusion, un système électrique basé sur une seule filière semble être moins prometteur pour un pays très industrialisé qu'un mix technologique diversifié qui permettrait davantage d'innovations[4]. La subvention initiale du nucléaire a probablement freiné le développement des énergies renouvelables. Mais du point de vue politique, industriel et syndical, le modèle coopératif allemand a permis au chancelier Schröder et à la chancelière Merkel de négocier un scénario jusqu'à l'année 2050 orienté vers les énergies renouvelables.

Quelle est la situation actuelle des nouvelles énergies ?

L'essor des énergies renouvelables - coûts de production et compétitivité

L'Allemagne est le seul pays industrialisé qui consomme moins d'électricité et produit moins de CO^2 malgré un PIB croissant[5]. C'est le résultat de la hausse de l'efficience énergétique et des énergies vertes[6] qui représentent 32,5% (2015) de la consommation électrique brute[7]. La source principale est l'éolien devant la biomasse et le solaire. La part des renouvelables devrait s'élever à 45% d'ici à 2025 et à 60% en 2035. Dans ce contexte, le principal problème politique est de trouver des sites compatibles avec les conditions écologiques et les préférences de la population.

La compétitivité des renouvelables est toujours très controversée. Elle dépend entre autres des coûts de production. Selon des études de 2014, l'énergie solaire produite sur les sites favorables est compétitive par rapport à toutes les autres technologies[8]. Le solaire et l'éolien peuvent produire une électricité jusqu'à 50 % moins chère que celle des centrales nucléaires prévues au Royaume-Uni, même en incluant les coûts des capacités de réserve[9]. On estime que les coûts de production du solaire et de l'éolien maritime baisseront d'ici à 2030/35 de 33% et même de 40 à 75% d'ici à 2050 pour le solaire[10].

Une étude des coûts complets ou des «coûts réels»[11] qui inclut les prix d'achat, toutes les aides fiscales et les coûts externes (dommages environnementaux, impacts visuels, démantèlement des installations nucléaires ou éoliennes rouillées, fermetures de mines, stockage final, etc.) démontre la compétitivité actuelle des énergies vertes[12]. On observe une baisse drastique des tarifs d'achat, en particulier du solaire entre 2001 et 2013[13]. Les aides complètes de 1970 à 2012 pour les renouvelables ont été estimées comme étant nettement inférieures à celles des énergies conventionnelles[14].

La compétitivité de l'énergie solaire a été renforcée par le fait que le tournant énergétique a poussé la Chine à investir dans les panneaux solaires, entraînant une réduction des prix de 80% sur les marchés mondiaux. Une dynamisation similaire est déjà prévue à court terme pour les énergies intermittentes avec le progrès et la diminution rapide des coûts de différentes technologies de stockage d'énergie, ce qui pourrait résoudre le problème de la volatilité qui est leur point faible principal[15]. Les scénarios d'une pro-

duction d'énergie photovoltaïque de 150 ou de 200 gigawatts en Allemagne, qui étaient encore il y a peu jugés complètement irréalistes, sont techniquement et économiquement possibles aujourd'hui[16].

Cependant, le débat politique actuel porte moins sur la compétitivité des énergies renouvelables que sur le prix croissant de l'électricité.

La malédiction des coûts croissants de l'électricité

Le prix de l'électricité allemande est considéré comme le plus élevé d'Europe. En 2014, un foyer allemand paie le double d'un foyer français, soit 29 cts/kWh[17]. Pour autant, tous les segments de la clientèle ne sont pas affectés. Depuis 2008, le prix aux fournisseurs a baissé de 46%, ce dont les particuliers et les PME (17cts/kWh) n'ont tiré aucun profit. Berlin soutient les grandes entreprises et les industries énergivores alors que Paris se préoccupe d'abord des particuliers[18].

Cette hausse du prix s'explique par :

- les garanties initiales très couteuses pour l'électricité verte et les tarifs d'achat peu dégressifs au début,
- la baisse du prix de la Bourse EEX causée par la hausse de l'électricité verte. Cette baisse augmente le différentiel entre le prix du marché et le tarif d'achat qui détermine la surcharge payée par les consommateurs,
- la baisse des certificats d'émission de CO^2 qui réduit le prix de la bourse et augmente ainsi la surcharge,
- l'exonération du prélèvement EEG des industries énergivores,
- les investissements dans les réseaux électriques.

Cependant, les tarifs d'achat à proprement dit représentent seulement une part de la surcharge. Le reste correspond surtout aux charges croissantes pour la modernisation des réseaux, la cogénération ou pour les capacités de réserve. Le prix final pour le consommateur s'élève au double des coûts de production et du réseau[19]. La fermeture de centrales à énergie fossile devrait conduire à une évaporation des surcapacités coûteuses. A moyen terme, l'expiration d'un grand nombre d'anciens contrats à longue durée avec des garanties très élevées pourrait limiter la surcharge.

Dans tous les pays de l'UE, la modernisation des systèmes électriques ne sera pas bon marché, ni pour les pays qui investissent pour prolonger le nucléaire, ni pour les pays qui remplacent le nucléaire par d'autres énergies. Décidément, l'Allemagne a peu de chances de rester l'un des seuls pays où l'électricité est excessivement chère.

Quelles sont les révisions stratégiques imposées par la hausse du prix de l'électricité?

Face à la précarité énergétique, une loi visant à freiner l'augmentation des coûts de l'électricité est entrée en vigueur en 2014. La remise à plat annoncée va consister à mieux encadrer l'expansion de l'électricité verte pour atteindre environ 60 % à l'horizon 2035.

Les mesures mises en œuvre d'ici à 2016 consistent à favoriser l'éolien terrestre et le solaire et à réduire l'éolien marin moins compétitif. La loi prévoit une réduction des subventions pour les énergies propres. A partir de 2017, les installations au-dessus d'une puissance installée de 100 KW ne seront plus éligibles aux tarifs d'achat. Les fournisseurs seront obligés de vendre leur électricité sur le marché au moyen d'appels d'offres publics[20]. De plus, la liste des sociétés énergivores exemptes de la surcharge sera réduite de 2100 à 1600 sociétés exposées à la concurrence internationale.

Une deuxième réforme prévoit pour 2016 une réorganisation du marché électrique, l'accélération de l'efficacité énergétique, la flexibilisation de la production, le renforcement de la sûreté des réseaux et la modernisation énergétique des logements. Le développement d'un marché de capacité comme en France n'est pas considéré comme nécessaire pour compléter le marché qui rémunère l'électricité produite (energy-only market) et pour intégrer les renouvelables[21].

Si la progression des énergies renouvelables a été extrêmement dynamique, elle n'a pas répondu à la question des conditions de la sortie du nucléaire au niveau du mix énergétique : le tournant énergétique nécessite-t-il la construction d'un « pont d'énergies fossiles » dans la mesure où le rythme de la réduction du nucléaire est plus rapide que l'augmentation des renouvelables ? Quel est le rôle des centrales à charbon ?

Le tournant énergétique a-t-il conduit à une croissance des centrales à charbon?

Le charbon constitue le deuxième grand problème actuel[22]. Une critique fréquente consiste à faire du tournant énergétique l'élément déclencheur de la croissance des centrales à charbon. Si l'Allemagne reste effectivement le plus gros pollueur d'Europe[23] en termes d'émission de CO^2, ce n'est pourtant pas le tournant énergétique qui en est la cause. Une analyse récente démontre que les renouvelables ont compensé la baisse du nucléaire[24]. Néanmoins, des pénuries peuvent se produire les jours sans vent ou de faible ensoleillement. Dans ce cas, ces baisses ne seront pas nécessairement compensées par le charbon mais plutôt par des centrales à gaz plus flexibles.

La production électrique à charbon a augmenté entre 2011 et 2013. Mais la consommation électrique intérieure a diminué. En dépit de la baisse abrupte du nucléaire, l'Allemagne est parvenue à exporter plus d'électricité (50 TWh, soit 8,33% de la production en 2015). Les exportations ne cessent de progresser avec la croissance des renouvelables et l'intégration du réseau européen[25]. On peut en déduire que le boom du charbon est lié à l'exportation d'électricité. Il est surtout le résultat de la houille américaine superflue. De plus, le prix des droits d'émission européens de CO^2 (ETS) s'est effondré[26]. La double chute du prix de la houille et du crédit carbone a rendu le charbon très rentable. Or, un dispositif aurait dû être créé pour sortir du système des 53 centrales à charbon qui sont aujourd'hui responsables de la disparition des centrales à gaz moins polluantes et plus flexibles, en Allemagne comme dans le reste de l'Europe. Bien qu'on constate en 2014 une réduction des émissions en Allemagne, les centrales à charbon « exportent » du CO^2[27].

En octobre 2015, le gouvernement a placé « en réserve » huit centrales au lignite de 2,7 GW afin de réduire l'émission de 12,5 millions de tonnes de CO^2, sans toutefois expliquer la nécessité d'une réserve et en autorisant des subventions de 230 millions d'euros par an aux trois producteurs d'électricité affectés par la mesure. Or, on estime que la production d'électricité issue du charbon doit être réduite de 60% en 2030 et quasiment disparaître en 2040 pour remplir les objectifs de l'Allemagne en matière de lutte contre le changement climatique. Le marché européen de droits d'émission de CO^2 étant insuffisant même avec des prix de 40 euros la tonne, l'introduction de nouveaux instruments de lutte contre le changement climatique est inévitable[28]. Cependant, l'introduction d'un impôt sur le charbon suscite une opposition farouche, en particulier de la part de quatre Länder, de centaines de collectivités locales copropriétaires de centrales à charbon, des syndicats de la branche et des fournisseurs d'électricité[29]. La fermeture récente de huit centrales à charbon n'est qu'un premier pas vers la « décarbonisation ». La transformation de nombreuses centrales municipales à charbon à cycle combiné en centrales à gaz devrait être une priorité.

Même si le charbon ne constitue plus un complément indispensable pour jouer le rôle de « passerelle » dans la période de transition entre la sortie du nucléaire et la montée des renouvelables à 80% du mix énergétique, l'Agence allemande pour l'énergie a estimé que des capacités fossiles seraient nécessaires afin de servir de « réserve » même après 2050. Pourtant, les nombreuses technologies de stockage et le perfectionnement du réseau national et européen permettront d'amortir la volatilité des énergies vertes sans avoir recours aux capacités de réserve.

La production d'électricité de sources fossile et nucléaire a déterminé la structure actuelle des réseaux. Avec l'arrivée des énergies décentralisées et intermittentes, cette structure doit être profondément modernisée.

La synchronisation du réseau avec la transformation de la production électrique

La synchronisation du réseau est le troisième grand problème du tournant énergétique[30]. La première dimension de ce problème concerne le court terme et résulte d'un manque de synchronisation des installations intermittentes[31] et des lignes de transport. Des parcs éoliens du nord ne sont pas encore connectés aux régions industrielles du sud et des parcs maritimes ne sont pas encore liés au réseau terrestre. Par ailleurs, on trouve de nouveaux réseaux locaux alors que les installations solaires ne sont pas encore disponibles in situ.

La deuxième dimension du problème, qui relève du long terme, est plus grave. Alors que les structures actuelles correspondent à la répartition géographique des centrales

conventionnelles, l'architecture historique et la gestion des réseaux devraient être transformées et adaptées au contexte européen, compte tenu de la montée en puissance des énergies intermittentes et décentralisées.

L'informatisation est considérée comme satisfaisante au niveau du réseau de transport et de distribution régionale. Mais les réseaux de distribution locaux ne sont pas équipés pour réduire la consommation, les pertes d'énergie, les pannes et les émissions. Le réseau intelligent et décentralisé est sous-développé du point de vue de l'offre.

Du côté de la demande (smart-homes, smart-metering, etc.), il n'existe que quelques projets pilotes. Combinés à des systèmes de stockage, les smart-grids pourraient réduire la taille des nouveaux réseaux nécessaires estimés aujourd'hui à 230.000 km.

Actuellement, la stabilité du réseau n'a pas diminué avec la montée des énergies intermittentes. En 2014, le consommateur n'a subi que 12 minutes de coupure d'électricité (contre environ 60 minutes en France)[32]. A court terme, les batteries pourront gérer les instabilités de quelques secondes ou de quelques minutes. A partir de 2030, les réseaux intelligents et les technologies capables de stocker l'énergie pendant des jours ou des mois[33] seront indispensables. A partir de 2050, l'Allemagne, où les énergies intermittentes seront censées représenter 80% de l'énergie consommée, aura probablement besoin d'options supplémentaires: des centrales à gaz flexibles chargées d'intervenir en tant que systèmes de recours et une intégration du réseau européen.

D'autre part, la réalisation des économies d'énergie (censée baisser de 25% d'ici à 2050) et l'amélioration de l'efficience énergétique sont des objectifs encore plus importants. Bien que le pays consomme moins d'électricité et produit moins de CO^2 alors que son PIB augmente, il existe encore des retards considérables dans l'industrie et dans le secteur du bâtiment, qui représente 35% de la consommation nationale d'énergie primaire et 30% des émissions CO^2. L'objectif est de rendre le parc immobilier existant climatiquement neutre en 2050[34].

Les perspectives en 2050

L'Allemagne s'est engagée dans un projet de double sortie du nucléaire et du charbon. Le pays cherche un système électrique qui va le rendre plus indépendant des marchés globaux des énergies primaires.

Actuellement, le projet a seulement rempli deux de ses objectifs : la mise en œuvre de la sortie du nucléaire et l'extension des énergies vertes. Les principaux défis qui restent à relever sont le remplacement du charbon par des centrales à gaz flexibles et par des énergies vertes combinés à des systèmes de stockage (à partir de 2030/40 au plus tard), la synchronisation et la flexibilisation des réseaux, le stockage énergétique, la réduction de la demande, l'amélioration de l'efficience énergétique et la flexibilisation des marchés de l'électricité.

Pour atteindre ses objectifs climatiques nationaux, l'Allemagne devrait d'ici à 2030 augmenter la production d'électricité verte de 50%, fermer la moitié des centrales à charbon, mettre six millions de voitures électriques sur les routes et achever la rénovation énergétique de 50% du parc immobilier[35].

Le projet de transition revêt une dimension économique et politique comparable à la réunification. Les coûts s'élèvent à des centaines de milliards d'euros. Aujourd'hui, il reste des leçons à tirer des erreurs politiques qui ont été commises au lancement de ce projet. Ainsi, plusieurs facteurs de réussite avaient fait défaut :

- un débat approfondi et régulier à l'occasion des campagnes électorales fédérales,
- une direction des réformes assurée par les chefs du gouvernement,
- la synchronisation des différents éléments du système dès le début du processus,
- une communication gouvernementale transparente
- et la promotion technologique dans un contexte concurrentiel.

La montée des énergies renouvelables et du prix de l'électricité a certainement affecté certaines couches sociales et affaibli les grands groupes énergétiques ainsi que certains syndicats. Il n'en reste pas moins que le scénario du maintien d'un parc de dizaines de réacteurs en 2050 ne serait plus accepté par le pays aujourd'hui. Celui-ci compte désormais sur ses capacités industrielles et

d'innovation pour développer un nouveau modèle. Ainsi, les énergies vertes ont fait l'objet de milliers d'initiatives de citoyens et de collectivités locales. Celles-ci ont déjà changé les stratégies énergétiques des producteurs d'électricité et des grands groupes industriels.

Cependant, il est impossible de prédire d'ici à 2050 le développement d'un système très complexe, le futur des nombreuses technologies en développement, les prix mondiaux des énergies primaires et les décisions des acteurs publics et privés internationaux. Dans le contexte de l'après-COP21, le tournant énergétique allemand ne pourra jouer un rôle précurseur à l'échelle internationale que s'il est déterminé par une sortie rapide du charbon et un approvisionnement en électricité renouvelable combiné à des réseaux intelligents et des systèmes de stockage modernes. Seuls quelques pays possèdent le potentiel industriel pour suivre cette voie. L'Allemagne a encore un long chemin devant elle.

L'opinion exprimée dans cette analyse n'engage pas nécessairement la position de la FES

Responsable de la publication : Stefan Dehnert, directeur du bureau parisien de la FES

Publications à télécharger sur le site www.fesparis.org:

L'Union européenne de l'énergie : Un simple mot d'ordre ou une étape importante de l'intégration européenne?
par Georg Zachmann

Transition énergétique : Une opportunité nouvelle pour la coopération franco-allemande ?
par Andreas Rüdinger

Penser l'énergie à l'échelle européenne
Oliver Geden

Les écotaxes en Europe
Alfred Pfaller

Bibliographie

[1] Pour une discussion très complète du sujet voir François Lévèque, Nucléaire On/Off, Paris : Dunod 2013
[2] agora- energiewende.de/fileadmin/downloads/publikationen/Faktencheck
[3] Küchler/ Meyer p.14
[4] Voir Neumann, Kirsten et al. (IIT Berlin): Innovationsmotor Energiewende, 2015. L'étude analyse le potentiel d'innovation du tournant électrique qui est beaucoup plus vaste que le secteur proprement dit des énergies renouvelables (1,5 million d'employés dans le secteur de la Green-Tech). Pour le contexte d'une coopération franco-allemande: Andreas Rüdinger, Transition énergétique : Une opportunité nouvelle pour la coopération franco-allemande ? Friedrich-Ebert-Stiftung Paris 2015
[5] L'Office franco-allemand pour les énergies renouvelables : L'efficacité énergétique. Levier de la transition énergétique allemande, mai 2014.
[6] KfW-Nachhaltigkeitsindikator 2015, 15.09.2015
[7] Agora News: Börsenstrompreis fällt, 15.09.2015
[8] ISE (Inst. Fraunhofer) Stromgestehungskosten Erneuerbare Energien (2013); Agora Energiewende (2015): Coûts de production (sans coûts externes): solaire: 8-9 cts/kWh ; l'éolien on-shore: 4,5-9 cts/kWh; l'éolien off-shore: 12-19 cts/kWh; lignite : 4-5 cts/kWh, profitant de la baisse des certificats CO2 ; houille: 6-8 cts/kWh; houille CCS 13-16 cts/kWh, centrales à cycle combiné: 7,5-10 cts/kWh ; Hinkley Point (UK) 11,3 cts/kWh.
[9] Agora Energiewende: Klimaschutz wird mit Erneuerbaren deutlich preiswerter als mit Atomkraft, 4/2014
[10] Dimitri Pescia, Agora Energiewende / Friedrich-Ebert Stiftung Paris, Energiepolitik in Deutschland und Frankreich, Paris, 3.11.2015
[11] voir Küchler, S. und B. Meyer, FÖS, Was Strom wirklich kostet, 2012. Teilstudie „Externe Kosten der Atomenergie", http://www.foes.de/pdf/2012-08-Was_Strom_wirklich_kostet_lang.pdf. Voir aussi: OCDE, Energie nucléaire et renouvelable, 2012.
[12] Les coûts complets pour l'Allemagne (2012) sont les suivants : houille 14,8 cts/kWh; lignite 15,6 cts/kWh; nucléaire 42,2 cts/kWh; gaz naturel 9,0 cts/kWh; éolien terrestre 8,1 cts/kWh; hydroélectrique 7,6 cts/kWh; photovoltaïque 36,7 cts/kWh.
[13] voir note de bas de page no.27: Küchler, S. und B. Meyer, FÖS, Was Strom wirklich kostet, 2012, p.12.
[14] Küchler, S. und B. Meyer, FÖS, Was Strom wirklich kostet, 2012, p.7.
[15] IHS Technology: The Future of Grid-Connected Energy Storage, August 2015 (cf p. 40: Germany). NYT Oct. 27th 2015: Battery storage is gaining momentum, et Frankfurter Allgemeine Zeitung 27.Oktober 2015: "Explosion" bei den Energiespeichern.
[16] Agora Energiewende: Eine Welt mit 150 Gigawatt Solarleistung in Deutschland kann kommen, 27.10.2015.
[17] Huet, Sylvestre: Les prix de l'électricité grimpent en Europe, Libération, 19 nov. 2014.
[18] L'Office franco-allemand pour les énergies renouvelables, Exonérations du prélèvement EEG: le projet de loi adopté le 9.5.2014.
[19] Marc Oliver Bettzüge: http://www.strategie.gouv.fr/sites/strategie.gouv.fr/files/atoms/files/CGSP-18Nov13-mob.pdf
[20] L'Office franco-allemand pour les énergies renouvelables, 7.8.2015 : http://enr-ee.com/fr/nouvelles/article/150/futurs-appels-doffres-enr-en-allemagne-publication-des-grandes-lignes/
[21] Ministère fédéral de l'Economie: Leitstudie Strommarkt 2015.
[22] L'Office franco-allemand pour les énergies renouvelables : Les sources d'énergie fossiles dans le contexte de la transition énergétique, avril 2015.
[23] EDGAR Emission Database for Global Atmospheric Research (y compris 7 millions de tonnes de mercure).
[24] Conrad Kunze and Paul Lehmann, The myth of the dark side of the Energiewende", Helmholtz Center (UFZ), 2/2015. Concernant les échanges d'électricité franco-allemands : http://www.sauvonsleclimat.org/essayer-de-comprendre-les-échanges-d-électricité-franco-allemands/35-fparticles/1796-essayer-de-com
[25] Agora-Energiewende: Negative Strompreise werden häufiger, 10.6.2014.
[26] Jusqu'à 2035, le prix du carbone devrait monter de 8 à 90 dollars pour atteindre les objectifs de la politique climatique internationale.
Ottmar Edenhofer (MCC): Klimarettung kostet Deutschland nur zwei Milliarden Euro, 28/8/2015.
[27] http://www.umweltbundesamt.de/daten/klimawandel/treibhausgas-emissionen-in-deutschland
[28] Agora Energiewende: Deutsche Klimaschutzziele für 2030 und 2040 machen weitgehenden Kohleausstieg erforderlich, 30.11.2015.
[29] Ottmar Edenhofer (MCC): Klimarettung kostet Deutschland nur zwei Milliarden Euro, 28/08/2015.
[30] http://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2015/150820_SAIDI_Strom.html. Voir aussi: proteus-solutions Stromausfälle in Deutschland und Europa, 2014.
[31] DENA: Studie Systemdienstleistungen 2030, 11.2.2014.
[32] Bundesnetzagentur: Qualität der Stromversorgung 2014 höher als in den Vorjahren, 20.8.2015. Voir aussi: https://www.proteus-solutions.de/~Unternehmen/News-PermaLink:tM.F04!sM.NI41!Article.956235.asp
[33] IHS Technology: The Future of Grid-Connected Energy Storage, August 2015, p.79. cf. Agora. Was wäre, wenn...ein flächendeckender Rollout von Solar-Speicher-Systemen stattfände? Oktober 2015.
[34] Bundeswirtschaftsministerium: Energieeffizienzstrategie Gebäude 2015.
[35] Agora Energiewende 14.12.2015.