



Office franco-allemand pour la transition énergétique
Deutsch-französisches Büro für die Energiewende

Scénarios de long terme pour la transformation du système énergétique en Allemagne

Résumé de l'étude mandatée par le ministère fédéral de l'Economie et de l'Energie (BMWi)

Septembre 2017

MÉMO



Auteur : Marie Boyette, OFATE
Marie.boyette.extern@bmwi.bund.de

Soutenu par :



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Soutenu par :



MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE
ET SOLIDAIRE



Disclaimer

Le présent texte a été rédigé par l'Office franco-allemand pour la transition énergétique (OFATE). La rédaction a été effectuée avec le plus grand soin. L'OFATE décline toute responsabilité quant à l'exactitude et l'exhaustivité des informations contenues dans ce document.

Tous les éléments de texte et les éléments graphiques sont soumis à la loi sur le droit d'auteur et/ou d'autres droits de protection. Ces éléments ne peuvent être reproduits, en partie ou entièrement, que suite à l'autorisation écrite de l'auteur ou de l'éditeur. Ceci vaut en particulier pour la reproduction, l'édition, la traduction, le traitement, l'enregistrement et la lecture au sein de banques de données ou autres médias et systèmes électroniques.

L'OFATE n'a aucun contrôle sur les sites vers lesquels les liens qui se trouvent dans ce document peuvent vous mener. Un lien vers un site externe ne peut engager la responsabilité de l'OFATE concernant le contenu du site, son utilisation ou ses effets.



Introduction

Début septembre 2017, le ministère de l'Economie et de l'Energie allemand (BMWi) a publié ses scénarios de long-terme pour la transformation du système énergétique en Allemagne (*Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland*). Débuté en 2013, [ce projet](#) devrait aboutir en 2018. Il a été mené par les instituts Fraunhofer ISI, Consentec et ifeu à la demande du BMWi. Ces scénarios portent sur le **développement des énergies renouvelables (EnR) et la décarbonation du système énergétique à l'horizon 2050**. Ils visent à atteindre les objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre : entre 80 et 95% de réduction d'ici 2050 par rapport à 1990.

- **Portée des scénarios** : aide à l'orientation et à la discussion autour de la transition énergétique. **Il ne s'agit ni d'un scénario directeur ni de recommandations ou de pronostiques.**
- **Modélisation** : Les modèles utilisés sont des modèles d'optimisation des coûts du système énergétique. La prise en compte du cadre réglementaire, des décisions individuelles et des effets sur les différents secteurs est donc limitée.¹

En Allemagne, de nombreux scénarios prospectifs sur la transition énergétique ont été publiés.² On peut notamment citer les études (*Leitstudie*) du ministère fédéral de l'environnement (BMUB), précurseuses dans les scénarios de développement des EnR.³ De ces différents travaux, un **consensus émerge sur le développement des EnR et le rôle majeur de l'efficacité énergétique** pour atteindre les objectifs climatiques. Des divergences existent cependant sur le ratio entre éolien et photovoltaïque, le rôle des réseaux électriques et du stockage et l'utilisation de la biomasse. Les scénarios du BMWi se penchent particulièrement sur **l'optimisation des coûts de la transition énergétique**.

Ce mémo résume une partie des **conclusions des scénarios prospectifs** du BMWi. Il reprend certains des résultats du **scénario de base** concernant le système électrique et la consommation énergétique.

I. Scénarios et prix du carbone

Cette étude se compose de deux scénarios principaux (voir [synthèse](#) et [détails des scénarios](#), en allemand) :

- Un **scénario de référence** (*Referenzszenario*) décrivant un mix énergétique optant pour les solutions les moins coûteuses, sans égards des objectifs énergie-climat allemands. **Il n'atteint pas ces derniers.**
- Un **scénario de base** (*Basisszenario*) décrivant un mix énergétique optant pour les solutions les moins coûteuses et **atteignant les objectifs énergie-climat allemands**. Des conditions supplémentaires ont également été imposées au modèle : un plafond de 52 GW pour le photovoltaïque et 15 GW pour l'éolien en mer d'ici 2030, prévus par la loi sur les énergies renouvelables (*Erneuerbare-Energien Gesetz, EEG*). Ce scénario pousse délibérément certaines options et n'a pas été ajusté vers une solution de compromis.

Onze scénarios de sensibilité analysent l'effet d'autres hypothèses ou conditions. Par exemple : le renforcement limité du réseau de transport, la répartition régionale alternative des EnR ou une ambition européenne limitée. Une partie d'entre eux a été publiée à ce jour (en [allemand](#)).

Le prix du CO₂ calculé par les modèles est de 10 €/tCO₂ en 2020 dans les deux scénarios. Dans le scénario de référence, il est de 15 €/tCO₂ en 2030 et 30 €/tCO₂ en 2050. Dans le scénario de base, il est de 35 €/tCO₂ en 2030 et de 100 €/tCO₂ en 2050.

¹ Plus d'informations sur les modèles utilisés, voir module 2 ([en allemand](#))

² L'Agence allemande pour les énergies renouvelables (*Agentur für Erneuerbare Energien, AEE*) a comparé les résultats de 25 études prospectives allemandes. Etude [en allemand](#) et [traduction](#) de l'OFATE.

³ A partir de 2004, le BMUB a commandé plusieurs *Leitstudien*. Voir par exemple la version de [2012](#) (en allemand).



II. Système électrique

Production fossile et nucléaire (scénario de base) :

Dans le scénario de base, la **production nucléaire s'arrête après 2022**, selon les objectifs gouvernementaux. Pour le charbon, aucune restriction n'est fixée au modèle. **Les centrales à houille continuent de fonctionner jusqu'à 40 ans**. Leur production est importante en raison de la fermeture d'autres centrales thermiques en fin de vie en Europe. Leur capacité diminue ensuite pour atteindre 2 GW en 2050. **Les centrales à lignite perdent en rentabilité avec la hausse des prix du CO₂**. L'électricité de ces dernières n'est plus rentable après 2040. A contrario, les centrales en cogénération jouent un rôle important pour l'industrie, les réseaux de chaleur et les besoins en flexibilité.⁴ **Dans les quinze premières années, de nombreuses centrales en cogénération sont aménagées**. Elles perdent ensuite en attractivité. Les centrales à charbon en cogénération ne sont ainsi plus utilisées que pour la production de chaleur en combinaison avec du *Power-to-Heat*.

Production EnR (scénario de base) :

En 2050, avec un prix carbone de 100 €/tCO₂, les EnR évincent presque totalement les centrales électriques fossiles.

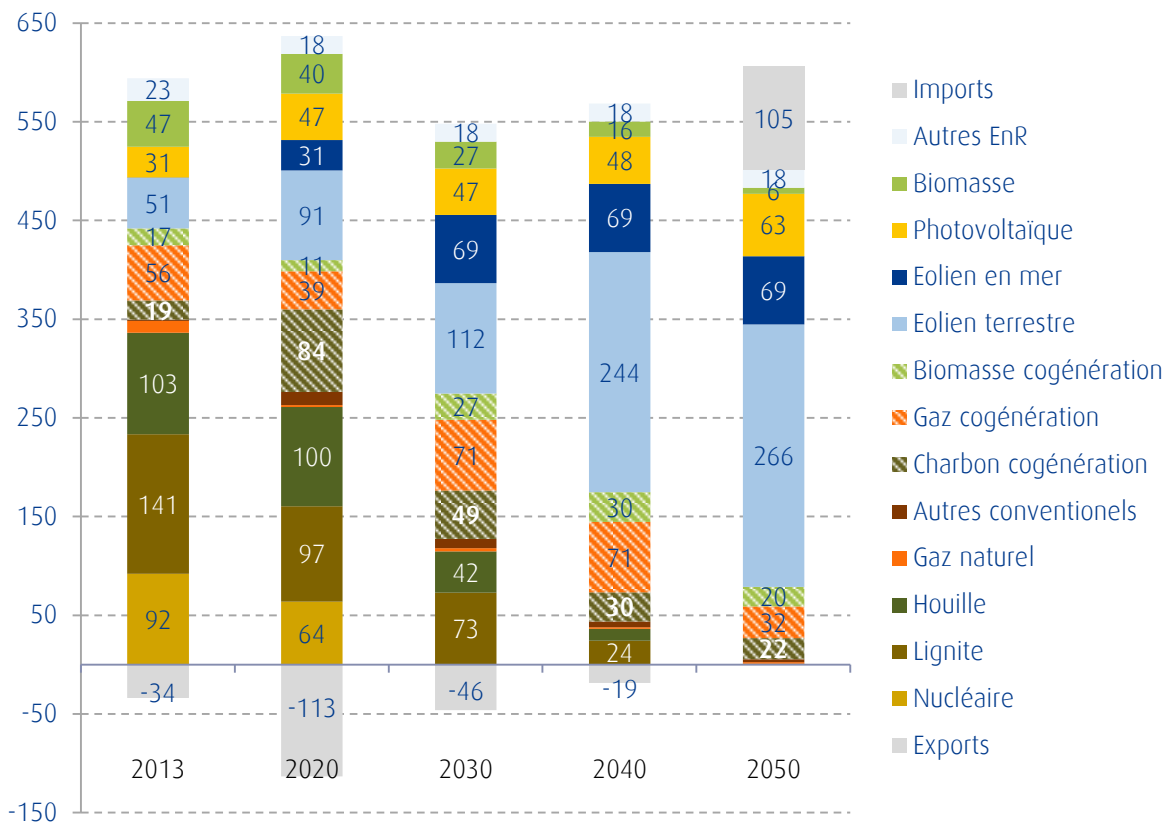
- **L'éolien terrestre (75,4 GW de puissance installée en 2050) devient la première technologie productrice d'électricité en Allemagne et en Europe**. Même avec un renforcement du réseau électrique, l'éolien terrestre reste moins coûteux dans le Nord de l'Allemagne que dans le Sud, en raison du meilleur gisement de vent. **L'éolien en mer peut être pertinent pour des questions d'acceptabilité**. Néanmoins d'un point de vue économique, il n'est pas intéressant de construire au-delà du plafond de 15 GW. En effet, selon l'étude, les prix des appels d'offres ne reflètent pas l'intégralité des coûts de production. Ils ne prennent notamment pas en compte le renforcement du réseau nécessaire sur l'horizon étudié.
- **La puissance installée photovoltaïque (PV) optimale pour l'Allemagne dépend du développement PV européen**. Si le taux d'injection PV au niveau européen est élevé, alors les installations PV allemandes doivent régulièrement stopper leur injection. Par ailleurs, les centrales au sol sont plus intéressantes que les installations sur toitures, d'après les optimisations économiques du modèle.

Le renforcement du réseau de transport en Allemagne et en Europe est une option de flexibilité peu coûteuse et utile au système électrique. D'après le scénario, **le développement des technologies de stockage n'a pas lieu**. Même les stations de transfert d'énergie par pompage (STEP) ne sont pas économiquement rentables. Les scénarios de sensibilité ne modifient pas ce résultat. De même, pour atteindre l'objectif de 80 % de réduction des émissions, **l'hydrogène n'est pas nécessaire**, en raison de ses coûts.

Coûts du système électrique (scénario de base) :

Les coûts spécifiques pour couvrir la demande en énergie finale augmente à moyen terme. En 2013, ils sont estimés à 11,5 c€/kWh. En 2030, ils atteindraient 13,3 ct/kWh pour revenir à leur niveau initial en 2050, 11,6 c€/kWh.

⁴ Plus d'informations, voir la [note de synthèse](#) sur la cogénération en France et en Allemagne de l'OFATE.



Graphique 1 – Production d’électricité nette en Allemagne dans le scénario de base en TWh

Source : BMWi (2017), [Langfristenszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland \(module 3\)](#).

III. Consommation d’énergie

Toujours selon le scénario de base, l’efficacité énergétique est essentielle pour atteindre les objectifs climatiques, ainsi que pour une utilisation efficace de la biomasse ou le développement des pompes à chaleur. Le **couplage sectoriel** notamment via les pompes à chaleur et l’électromobilité, permet de décarboner l’économie et offre des options de flexibilité au système électrique.⁵

Industrie : En plus de **l’efficacité énergétique**, l’objectif climatique requiert **l’utilisation de nouvelles technologies, processus et matériaux pour l’industrie**. Les décisions d’investissements et de recherche doivent avoir lieu dès 2020, soit avant la pression exercée par le prix carbone. Pour absorber les émissions de certains processus, **la capture et stockage du CO₂ (CCS) dans l’industrie est utilisée**. L’étude reste cependant critique sur l’acceptabilité de cette technologie.

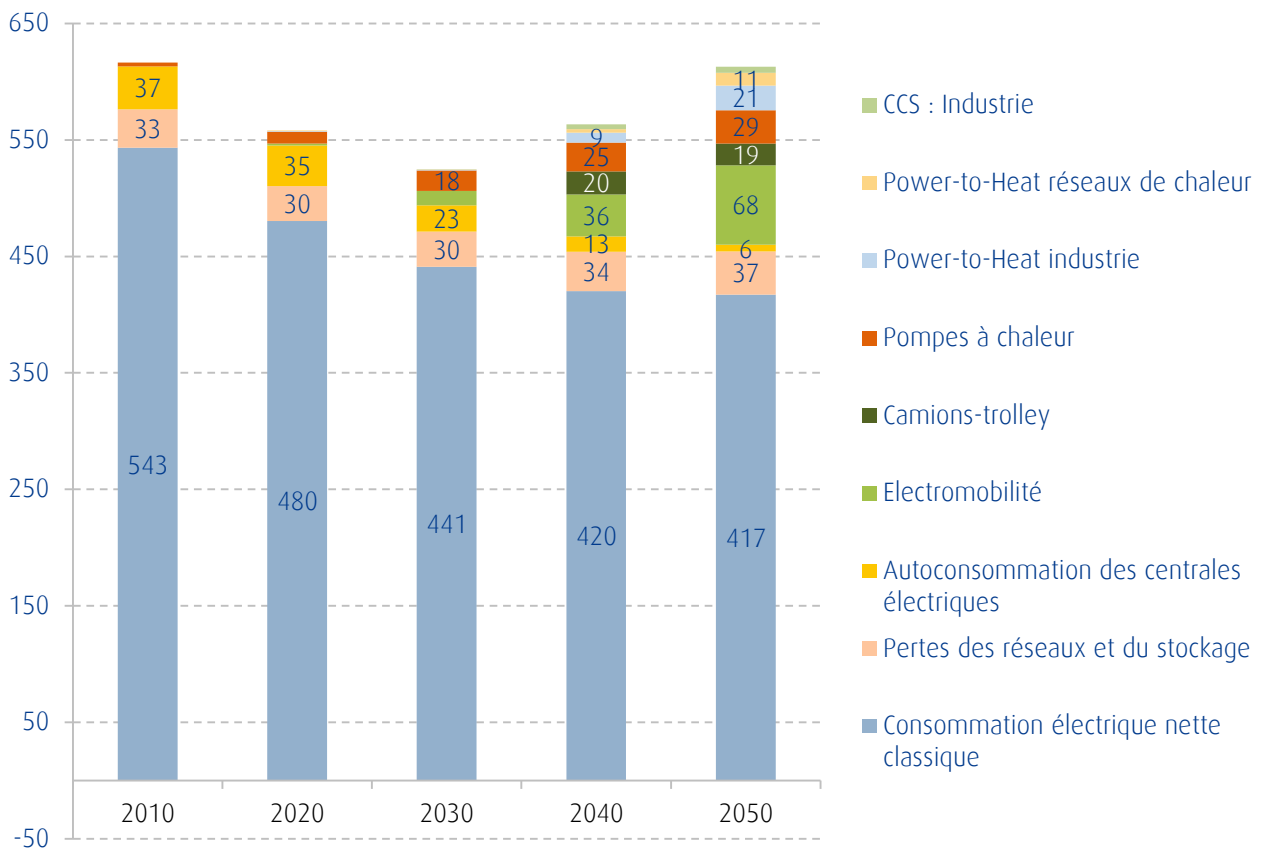
Transports : Des **progrès en termes d’efficacité énergétique ainsi que l’électrification** des transports permettent une baisse des émissions pour le transport individuel et les camions. Les véhicules individuels sont d’abord remplacés par des voitures hybrides, puis des voitures 100 % électriques. Les camions électriques sont alimentés par caténaires. La restriction de la ressource biomasse entraîne de possibles conflits d’usages. Dans le scénario de base, elle est vo-

⁵ Plus d’informations, voir la conférence de l’OFATE février 2017 sur l’intégration sectorielle ([présentation et fichiers audio](#), [synthèse réservée aux adhérents](#)),



lontainement destinée aux transports aériens et maritimes. Ces usages sont considérés avoir les options alternatives bas carbone les plus coûteuses.

Bâtiments: L'atteinte des objectifs nécessite une **rénovation accrue** des bâtiments. Dans les scénarios, elle a lieu grâce à un renforcement des normes réglementaires, des mesures incitatives et de l'information. **Le développement des réseaux de chaleur et des pompes à chaleur** permet également de décarboner les besoins en chaleur des bâtiments.



Graphique 2 – Consommation d'électricité brute en Allemagne dans le scénario de base en TWh

Source : BMWi (2017), [Langfristenszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland \(module 3\)](#).