

Sortie du nucléaire allemand : quels impacts pour l'EU ETS ?

La catastrophe de Fukushima du 11 mars 2011 a entraîné la remise en question du nucléaire civil dans certains pays européens dont l'Allemagne. Le 8 juillet, le parlement allemand entérinait l'extinction d'ici à 2022 de tous ses réacteurs nucléaires. Alors que la production d'électricité nucléaire n'émet pas de CO₂, nous anticipons que cette décision accroîtra les émissions allemandes liées à la production d'électricité de 324 à 468 MtCO₂ d'ici à 2020, ce qui poussera à la hausse le prix du quota européen de CO₂ (EUA).

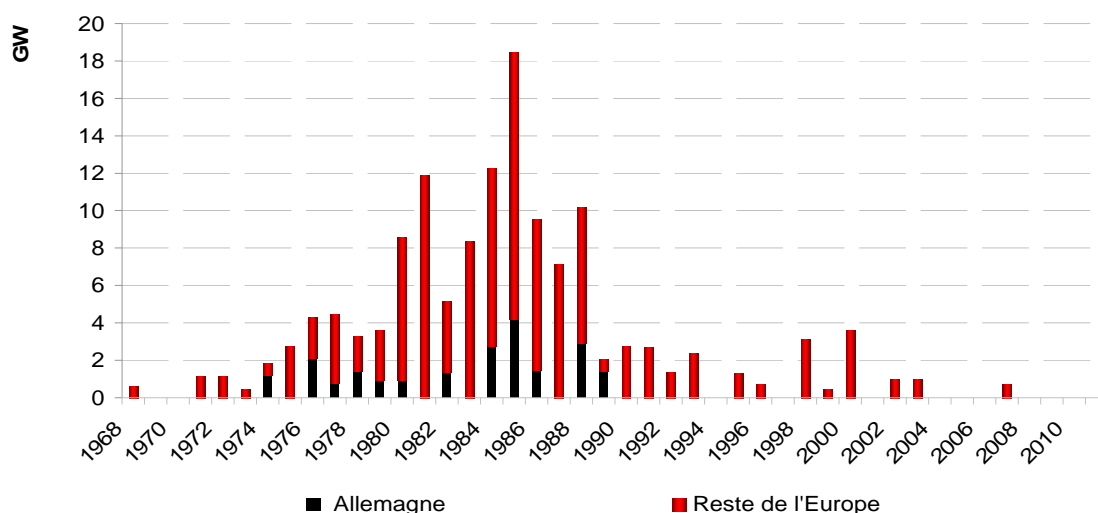
Contexte : l'énergie nucléaire en Europe et en Allemagne

Des centrales nucléaires vieillissantes au cœur du mix énergétique européen

L'Union européenne est la région du monde où le nucléaire a le poids le plus important dans la production d'électricité : elle abrite 143 des 440 réacteurs atomiques en activité qui produisent 27 % de son électricité.

La majorité du parc nucléaire européen a été construit avant 1990 (voir Figure 1). Son développement s'est ensuite ralenti en raison de la baisse du prix des combustibles fossiles et de la méfiance vis-à-vis de l'atome née après l'accident de Tchernobyl. Alors que près d'un quart de la puissance installée pourrait arriver en fin de vie d'ici à 2020¹, la question du renouvellement des capacités de production nucléaire restait encore une question ouverte en Europe.

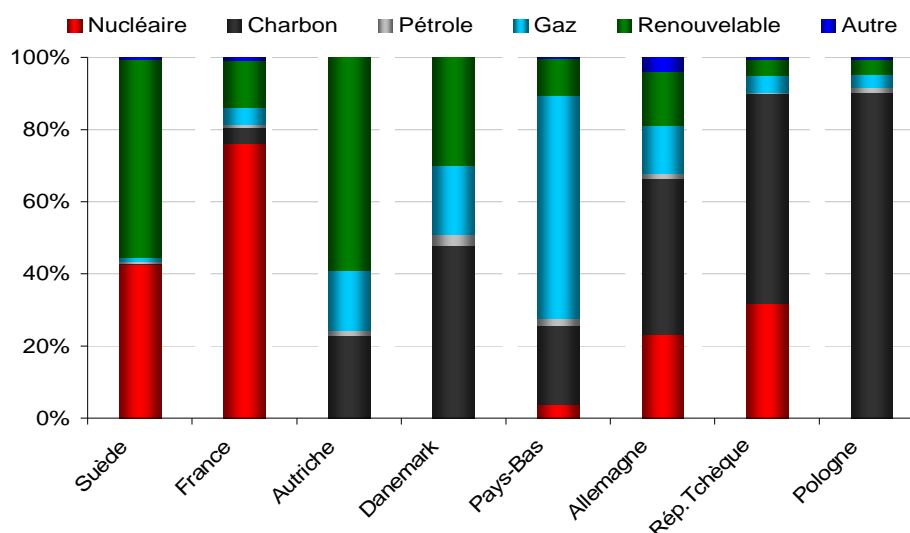
Figure 1 - Capacité de production nucléaire en Europe par année de mise en service



Source : base de données PRIS-AIEA

Un renouveau de la filière était néanmoins annoncé. La hausse du prix des énergies fossiles et la lutte contre le réchauffement climatique devait assurer la compétitivité de nouveaux réacteurs, plus coûteux, mais plus sûrs et moins gourmands en uranium. Malgré ces deux facteurs, seul 4 des 64 réacteurs actuellement en construction dans le monde se situent en Europe.

Figure 2 - Production électrique par source d'énergie primaire en Allemagne et ses pays voisins en 2008



Source : Eurostat

Enfin il faut rappeler que le poids du nucléaire dans le mix électrique est très hétérogène selon les Etats européens. L'Allemagne présente à ce titre une production électrique parmi les plus émettrices de CO₂ des Etats d'Europe de l'Ouest, en raison du poids de la combustion du charbon. En revanche, le secteur électrique allemand est moins carboné que ses voisins à l'Est (Pologne, République tchèque).

La sortie du nucléaire en Allemagne : un vieux serpent de mer

Outre-Rhin, la question du nucléaire fait l'objet de débats politiques intenses depuis déjà plusieurs décennies. Un sentiment anti-nucléaire fort s'y est formé au fil du temps : 52 % des Allemands souhaitaient en 2009 voir la part de l'énergie nucléaire se réduire dans l'avenir (contre 34 % en Europe) ce qui en fait le pays européen accueillant des sites nucléaires le plus hostile à l'atome². En 2002, la coalition politique « SPD – Verts » au pouvoir avait une première fois inscrit dans la loi la sortie progressive de l'atome, le dernier réacteur devant s'éteindre en 2021.

Le débat a rebondi lors des élections législatives de 2009. La crise russo-ukrainienne qui avait provoqué une rupture partielle de l'approvisionnement en gaz de l'Europe de l'Ouest a remis sur le devant de la scène la question de la sécurité des approvisionnements énergétiques. Fin 2010, la coalition des partis conservateurs (CDU/CSU) et libéraux (FDP) sortie des urnes décida d'allonger la durée de vie des 17 réacteurs encore en activité de 8 à 14 ans en amendant la loi sur le nucléaire. Cette prolongation faisait partie intégrante de la stratégie allemande visant à réduire de 40 % les émissions de gaz à effet de serre en 2020 par rapport à 1990. L'énergie nucléaire y était vue comme une énergie de transition avant la généralisation future des énergies renouvelables, plus coûteuses aujourd'hui³.

Actualité : la « nouvelle » sortie du nucléaire allemand

Une sortie totale annoncée d'ici 2022

Le 11 mars dernier, un tsunami dévastateur touchait la côte est du Japon, provoquant la défaillance des systèmes de refroidissement de trois réacteurs de la centrale de Fukushima-Daichi, et les plus importants rejets radioactifs depuis la catastrophe nucléaire de Tchernobyl en 1986. Dans la foulée, la chancelière Angela Merkel annonçait le 14 mars l'arrêt pour 3 mois des 7 réacteurs nucléaires construits avant 1980 pour permettre des contrôles de sécurité et un moratoire sur la loi de 2010 prolongeant la durée de vie des réacteurs nucléaires allemands. Si tous les Etats membres ont appelé à renforcer les tests de sécurité

d'une manière coordonnée⁴, parfois en suspendant temporairement leurs programmes de développement de nouvelles centrales, aucun autre pays européen n'a estimé nécessaire d'arrêter ses réacteurs. L'Allemagne était aussi le seul pays à mettre en place dès le mois de mars une « Commission éthique » pour évaluer l'acceptabilité sociale d'une sortie du nucléaire.

Le 30 mai dernier, après avoir reçu les rapports sur la sécurité des centrales nucléaires et celui de la « Commission éthique », le gouvernement allemand proposait la sortie progressive de l'atome d'ici 2022. Le projet de loi du 6 juin et adopté par le parlement le 8 juillet détaille les modalités de cette réorientation énergétique.

Que dit le projet de loi du 6 juin ?

Depuis 2002, la loi sur le nucléaire allemand définit des quotas de production d'électricité à partir du 1^{er} janvier 2000 pour chaque réacteur en activité correspondant à une durée d'utilisation « normale » de 32 ans. Ces quantités de production sont transférables, en totalité ou en partie, d'une installation à l'autre sous réserve que celle qui reçoit le quota de production soit la plus jeune des deux. Ainsi, il était possible pour un réacteur de fonctionner plus de 32 ans, s'il avait produit moins que prévu dans la loi ou s'il s'était vu transférer des montants de production autorisés d'autres réacteurs. Fin 2010, la prolongation de leur durée de vie s'est faite par une augmentation de ces quotas.

Le projet de loi propose d'abroger les volumes de production attribués fin 2010 et d'imposer des dates limites explicites pour chacun des réacteurs. La fermeture est immédiate pour les sept réacteurs arrêtés depuis la mi-mars⁵ et le réacteur de Krümmel arrêté depuis 2009 suite à des pannes à répétition. Pour les neuf réacteurs restant, les dates butoirs s'échelonnent jusqu'en décembre 2022. Il faut noter que les quotas de production attribués aux huit réacteurs arrêtés dès à présent et non encore réalisés⁶ pourront être transféré aux réacteurs restant en activité, ce qui leur permettra de fonctionner jusqu'à leur date limite.

Tout en réaffirmant les objectifs à 2020 de réduction d'émissions de GES (-40 % par rapport à 1990), de développement des énergies renouvelables (35 % de l'électricité consommée en 2020) et d'efficacité énergétique (-10 % de consommation électrique par rapport à 2008), le projet de loi allemand amende ou crée 7 autres textes législatifs dont le but est d'accélérer la transition énergétique du pays⁷. L'implantation et la rénovation des installations d'énergies renouvelables et le développement du réseau électrique seront facilités par un assouplissement des procédures administratives et l'augmentation de tarifs de rachat. Un plan d'aide au développement de centrales thermiques fossiles de dernières générations sera aussi inclus mais limité à 10 GW de capacité de production et l'accès aux aides sera proscrite pour les quatre grands électriciens allemands. Si le maintien de l'objectif d'électricité d'origine renouvelable laisse à penser que l'Allemagne compensera son électricité d'origine nucléaire par de l'électricité d'origine fossile, l'accélération visée du développement des énergies renouvelables devrait leur permettre de jouer un rôle.

Du côté de l'efficacité énergétique, le renforcement du dispositif de prêts préférentiels accordés lors de la rénovation du bâtiment est le seul point encore en discussion, l'Etat fédéral et les Länder étant en désaccord sur les modalités de financement. Enfin, l'intégralité du revenu des enchères de quotas EUA de phase III alimentera le fonds pour le climat allemand, prévu pour financer le développement des énergies renouvelables et les politiques d'efficacité énergétique⁸.

Analyse : Quel impact peut-on attendre sur l'EU ETS ?

En 2010, 22,6 % de l'électricité produite en Allemagne était d'origine nucléaire. La déconnexion des 8 réacteurs nucléaires prive de fait l'Allemagne de 7 GW soit 37 % de sa capacité de production nucléaire⁹.

Pour remplacer l'électricité d'origine nucléaire, deux possibilités existent à court terme : une augmentation de la production électrique des centrales situées en Allemagne ou le recours à

des importations d'électricité provenant des pays voisins. A plus long terme, il faudra prendre en compte l'arrivée de nouvelles capacités de production.

Emissions en hausse d'ici à 2020

A court terme, l'Allemagne ne peut remplacer la production nucléaire « perdue », que par des centrales thermiques à combustion ou des importations d'électricité. Les productions d'électricité d'origine renouvelable fonctionnent déjà à plein régime et ne peuvent être accrues que par de l'investissement sur le long terme. Nous basons nos estimations sur une substitution sur la période 2011-2013 de l'électricité nucléaire allemande par le mix carboné allemand actuel en prenant un facteur d'émission de 0,88 tCO₂/MWh basé sur les données 2010 du syndicat des énergéticiens allemand (voir Annexe 1).

A partir de 2014, nous faisons varier ce facteur d'émission, en fonction d'une substitution progressive du nucléaire par de nouveaux investissements. Dans chacun de ces scénarios, les nouveaux investissements compensent intégralement la production nucléaire perdue à partir de 2020.

Nous construisons 3 scénarios sur les technologies de remplacement :

- Un scénario « très émetteur » où l'électricité nucléaire est substituée par de l'électricité provenant de centrales à charbon.
- Un scénario « moyennement émetteur » où des cycles combinés à gaz de dernière génération prennent le relais.
- Un scénario « peu émetteur » où 50 % de l'électricité de substitution est d'origine renouvelable et 50 % provient de cycles combinés à gaz.

Les facteurs d'émission retenus pour ces nouvelles installations sont de 0,795 tCO₂/MWh pour les centrales à charbon et 0,398 tCO₂/MWh pour le gaz, correspondant aux meilleures technologies disponibles sur le marché.

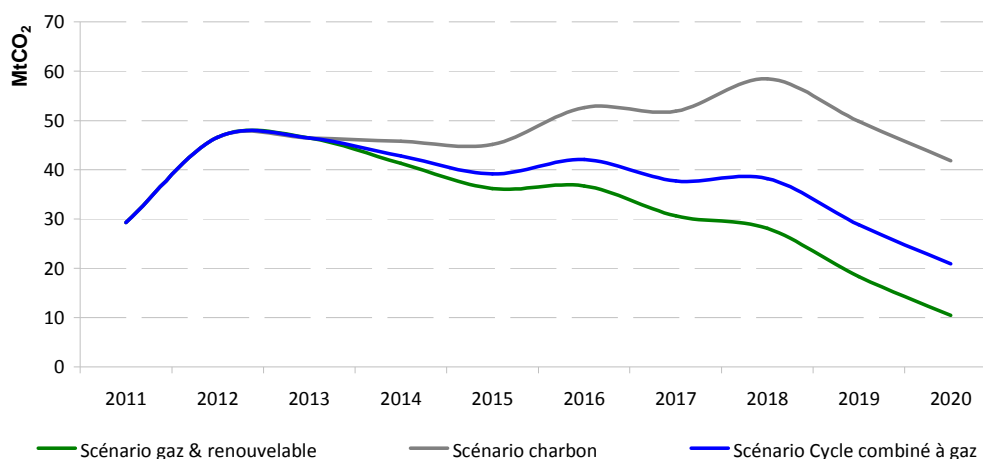
Tableau 1 - Emissions supplémentaires de CO₂ estimées induites par la sortie du nucléaire

Années		2011-2012	2013-2020	2020
Production électrique à substituer (TWh)		86	468	53
Facteur d'émission moyen de la production électrique de substitution (tCO ₂ /MWh)	Scénario Charbon	0,88	0,84	0,80
	Scénario Gaz	0,88	0,63	0,40
	Scénario Renouvelable + Gaz	0,88	0,53	0,20
Emissions supplémentaires (MtCO ₂)	Scénario Charbon	76	392	42
	Scénario Gaz	76	296	21
	Scénario Renouvelable + Gaz	76	248	10

La production électrique à substituer est estimée à partir de facteurs de charge propres à chaque réacteur présentés dans l'Annexe 2. Sur la période 2014-2020, le rythme d'introduction des nouveaux investissements est le même : 1/7 de la production d'électricité « perdue » est compensé la première année par la nouvelle technologie, 2/7 la deuxième etc...

Pour les deux dernières années de la phase 2 de l'EU ETS, le montant d'émissions supplémentaires induites est estimé à 76 MtCO₂, soit une augmentation de 13 % des émissions du secteur électrique allemand en prenant pour référence l'année 2010. Pour la phase 3, les montants divergent selon le développement des technologies de remplacement de 248 à 392 MtCO₂. Au total, la sortie du nucléaire devrait occasionner entre 324 et 468 MtCO₂ jusqu'en 2020, venant accroître la demande pour les quotas de CO₂ européens.

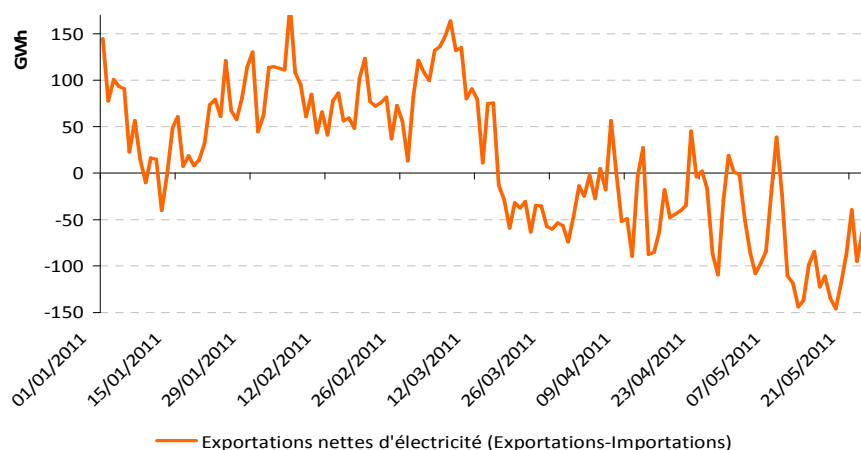
Figure 3 - Emissions supplémentaires par année selon les différents scénarios.



Intégrer la question des importations d'électricité

L'Allemagne possède près de 15 GW de capacité d'interconnexion avec ses voisins. Elle peut importer en permanence jusqu'à 6 GW en permanence en provenance du réseau électrique français et 3 GW des Pays-Bas. Depuis la fermeture des 7 réacteurs à la mi-mars, la position de l'Allemagne dans les échanges internationaux d'électricité s'est infléchi d'exportateur net vis-à-vis du reste de l'Europe à celle d'importateur net (Matthes et al., 2011). La comparaison des exportations nettes de l'Allemagne en 2011 par rapport à 2010 montre que le réseau allemand a pu recevoir en moyenne 3,2 GW¹⁰ supplémentaires soit en important du courant produit à l'étranger, soit en réduisant ses exportations, durant la période allant du 19 mars au 25 mai 2011. Comparé à la perte de capacité nucléaire nette qui s'établit à 5,2 GW en excluant les réacteurs de Krümmel et Brunsbüttel déjà arrêtés, l'Allemagne aurait pu ainsi compenser près des deux tiers de sa perte de production en modifiant la structure de ses échanges transfrontaliers.

Figure 4 - Exportations nettes journalières de l'Allemagne depuis le 1^{er} janvier 2011

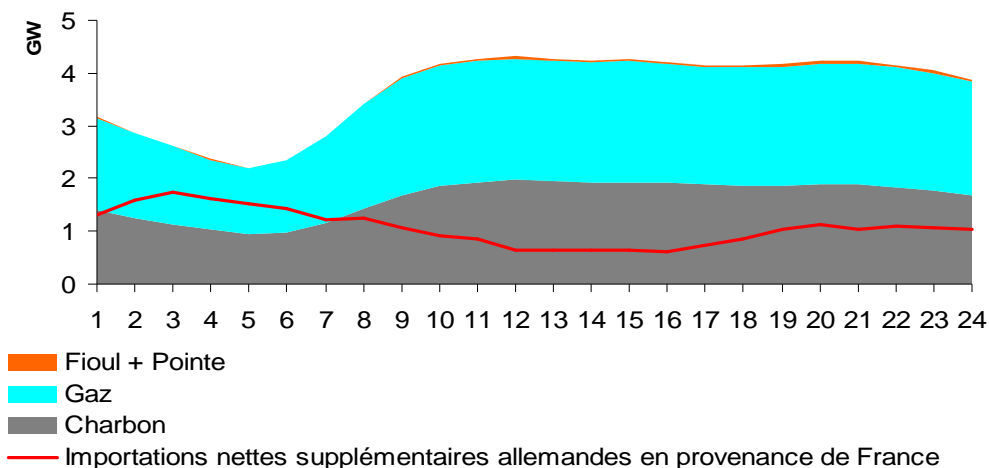


Source : ENTSOE transparency

Si l'Allemagne peut importer de l'électricité en provenance d'autres pays, cela n'implique pas nécessairement une réduction de la hausse des émissions de CO₂ attendues. Tout dépend des centrales qui seront utilisées pour répondre à la demande allemande. Les centrales électriques sont typiquement allumées par ordre croissant de coûts marginaux de production : les dernières centrales sollicitées sont en général les centrales thermiques émettrices de CO₂. En France, une augmentation de la demande d'électricité en provenance d'Allemagne aura donc pour effet d'augmenter la production d'électricité provenant de

centrales à gaz, pétrole ou charbon si les réacteurs nucléaires français fonctionnent déjà à plein régime. La Figure 5 montre que la demande supplémentaire adressée aux centrales françaises en provenance d'Allemagne par rapport à l'année 2010 est en moyenne couverte par la production d'électricité d'origine fossile¹¹.

Figure 5 - Moyenne horaire des importations nettes supplémentaires allemandes en provenance de France et production d'électricité carbonée en France (jours ouvrés uniquement)



Notes : Importations nettes supplémentaires = Importations nettes 2011- Importations nettes 2010 (période du 19 mars au 25 mai)

Source : ENTSOE transparency, RTE.

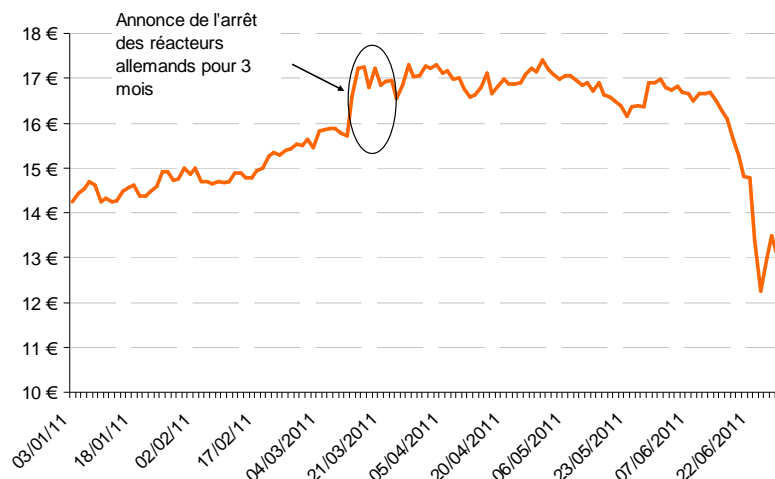
Rapportée à la production horaire par type de combustibles en France entre le 19 mars et le 25 mai, seuls 20 % de l'électricité supplémentaire importée par l'Allemagne depuis la France peut être considérée d'origine nucléaire. D'autre part, une modification de l'équilibre des échanges a été observé également avec la République Tchèque et la Pologne (Matthes et al., 2011) dont les mix électriques sont bien plus émetteur que l'allemand (voir Figure 2). Enfin, en raison d'une demande d'électricité plus importante, la période d'hiver devrait réduire la disponibilité de l'électricité nucléaire.

S'il est avéré que l'arrêt des réacteurs à la mi-mars a changé l'équilibre des échanges d'électricité en Europe, la contribution de l'électricité nucléaire produite en dehors d'Allemagne au remplacement de l'électricité « perdue » en Allemagne apparaît limitée. Le recours aux échanges internationaux d'électricité ne devrait donc pas atténuer dans une grande mesure l'augmentation des émissions de CO₂, mais plutôt contribuer à les disperser géographiquement, l'accroissement de la production se répartissant à travers les pays d'Europe interconnectés avec le réseau allemand.

Impact à la hausse sur le prix de l'EUA

Les centrales thermiques allemandes (ou européennes) ayant augmenté leurs productions à court terme sont dans leur grande majorité incluses dans l'EU ETS. Leur plus grande utilisation va donc augmenter la demande de quotas et avoir un effet haussier sur le prix européen de la tonne de CO₂. Lors de la fermeture des 7 réacteurs à la mi-mars, le prix des EUA à échéance décembre 2011 a bondi de 1,29 €/tCO₂ (voir Figure 6). Un sondage auprès des analystes publié par Point Carbon montrait que ceux-ci anticipaient en moyenne un prix de l'EUA à 43 euros en 2020, dans le cas d'une fermeture anticipée des réacteurs nucléaires allemands contre 35 euros si les réacteurs allemands reprenaient leurs activités comme prévu avant Fukushima¹². Par l'augmentation du prix des droits à émettre, le système d'échange européen incitera à compenser par d'autres installations incluses dans l'EU ETS les émissions supplémentaires dues à la sortie du nucléaire allemand et à en réduire les conséquences environnementales.

Figure 6 - Prix de l'EUA à terme décembre 2011 depuis début 2011



Source : ICE.

Prochaines étapes : nouvelle stratégie énergétique allemande et impact sur les discussions autour de l'EU ETS

L'Allemagne a accompagné sa décision sur la sortie du nucléaire d'une révision de sa politique énergétique établie fin 2010, dont le but principal est d'accélérer le développement des énergies renouvelables. Néanmoins, la sécurité d'approvisionnement du réseau et la volonté politique de ne pas recourir aux importations d'électricité va entraîner à court et moyen terme une hausse des émissions de CO₂ du secteur électrique allemand et pousser à la hausse le prix des quotas européens. Un retour en arrière paraît improbable en Allemagne, tant le consensus politique paraît désormais large. Deux points méritent d'être soulignés au sujet de l'avenir de l'EU ETS :

- 1) L'Allemagne est le premier pays à définir clairement ce qu'elle fera des revenus d'enchères de quotas à partir de 2013. En les dédiant en grande partie à des politiques d'efficacités énergétiques et de renouvelables, elle reconnaît le rôle moteur que peut jouer le marché du carbone pour financer une transition énergétique.
- 2) La nouvelle orientation énergétique allemande ne devrait pas à priori être suivi par d'autres Etats. La Suisse et l'Italie ont certes renoncé à construire de nouveaux réacteurs, mais ces programmes étaient destinés à livrer de nouvelles capacités après la fin de la phase III de l'EU ETS en 2020. Des retards pourraient découler du renforcement des exigences de sécurité, cependant de nombreux pays européens ont renouvelé leurs volontés de poursuivre leurs programmes nucléaires (la France, le Royaume-Uni, la République tchèque et la Pologne notamment).

L'impact à la hausse des émissions d'origine électrique resterait donc limité et ne représenterait pas plus de la moitié du montant des 500 à 800 millions d'EUA que la Commission a proposé de mettre de côté. Ce montant évoqué dans le cadre de sa feuille de route vers une économie à faible intensité carbone à l'horizon 2050 publiée en mars 2011, devait permettre de maintenir le prix de l'EUA en annulant le surplus de la phase 2. De plus, la chute de prix observé au mois de juin, conséquence entre autres de la proposition de directive d'efficacité énergétique, a plus que compensé le saut de prix observé à la mi-mars. Alors que se pose la question de l'adéquation du plafond d'émission de l'EU ETS avec la trajectoire à long terme de l'UE à l'horizon 2050 (-80 % d'émission de GES d'ici là), la sortie du nucléaire allemand ne devrait pas constituer un facteur de perturbation des discussions actuelles sur la contribution de l'EU ETS à l'atteinte des objectifs environnementaux européens.

Pour aller plus loin...

- Bode (2009) "Nucs down in Germany – prices up in Europe?" Energy Policy 37,7, P. 2492-2497
- BDEW, Energiedaten: http://www.bdew.de/internet.nsf/id/DE_Energiedaten
- Base de données PRIS sur le site internet de l'AIEA: <http://www.iaea.org/programmes/a2/>
- ENTSOE-transparency : <http://www.entsoe.net/home.aspx>
- Eurostat, données de production d'électricité : http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/statistics/search_database?piref458_1209540_458_211_810_211810.node_code=ten00087
- Matthes et al. (2011) "Atomstrom aus Frankreich? Kruzfristige Abschaltungen deutscher Kernkraftwerke und die Entwicklung des Strom-Austauschs mit dem Ausland", öko-Institut : http://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/pdf_neu/KKW-Ausstieg%20und%20Stromimporte%20v5final.pdf
- Projet de loi du 6 juin sur la sortie du nucléaire allemand : <http://www.bmu.de/energiewende/doc/47467.php>
- RTE, données de production : <http://fondation.rte-france.com/lang/fr/visiteurs/vie/telecharge.jsp>

Annexe 1 – Emission de CO₂ par production d'électricité d'origine fossile en Allemagne

Carburant fossile	Production 2010 (TWh)	Facteur d'émission (MtCO ₂ /MWh)	Heures d'utilisation moyenne (2007)	Part dans le mix remplaçant
Lignite	140,5	1,21	6000	30,73%
Charbon	147	1,03	6000	29,37%
Gaz	84,5	0,50	3170	35,78%
Pétrole	7,5	0,76	1500	4,12%
Facteur d'émission du mix remplaçant actuel				0,88

Source : Energiebilan 2010 BDEW. La part dans le mix remplaçant est ajustée par la disponibilité de chacun des types de centrale calculée à partir des heures d'utilisation moyenne fournie par BDEW.

Annexe 2 - Réacteurs nucléaires allemands par date de fermeture envisagée

Réacteur en service début 2010	Puissance nette (MW)	Date de mise en service	Facteur de charge*	Date de fermeture estimée (loi 2010)	Date de fermeture (projet de loi du 6 juin)
BIBLIS A	1167	26/02/1975	84%	janv-20	mars-11
NECKAR 1	785	01/12/1976	93%	janv-19	mars-11
BIBLIS B	1227	31/01/1977	82%	mars-20	mars-11
BRUNSBUTTEL	771	09/02/1977	76%	juin-21	mars-11
ISAR 1	878	21/03/1979	89%	juin-19	mars-11
UNTERWESER	1345	06/09/1979	84%	juil-20	mars-11
PHILIPPSBURG 1	890	26/03/1980	89%	mai-20	mars-11
KRUMMEL	1346	28/03/1984	0%	juil-09	mars-11
GRAFENRHEINFELD	1275	17/06/1982	87%	mars-27	déc-15
GUNDREMMINGEN B	1284	19/07/1984	80%	août-27	déc-17
GUNDREMMINGEN C	1288	18/01/1985	80%	avr-28	déc-21
GROHNDE	1360	01/02/1985	90%	juil-30	déc-21
PHILIPPSBURG 2	1392	18/04/1985	86%	déc-29	déc-19
BROKDORF	1410	22/12/1986	85%	déc-30	déc-21
ISAR 2	1400	09/04/1988	84%	nov-31	déc-22
EMSLAND	1329	20/06/1988	87%	nov-32	déc-22
NECKAR 2	1305	15/04/1989	87%	déc-33	déc-22

*Facteur de charge = Volume de production sur une période t (MWh)/ (puissance net (MW) * nombres d'heures dans la période t). Les facteurs de charge pris en compte dans l'estimation sont déduits des volumes de productions accordés pour chaque réacteur fin 2010 pour des prolongations de 8 ou 14 ans.

Source : CDC Climat recherche d'après le projet de loi du 6 juin amendant la loi sur l'utilisation pacifique de l'énergie nucléaire allemande et base de données PRIS-AIEA.

¹ En supposant une durée de vie de 40 ans pour tous les réacteurs nucléaires.

² Eurobaromètre spécial 324 « Les Européens et la sûreté nucléaire », mars 2010, Commission européenne. Seul l'Autriche (66 %) et la Grèce (65 %) sont plus hostiles que l'Allemagne sur ce point, mais ces deux pays ne possèdent pas de centrales nucléaires sur leurs territoires.

³ “Energy Concept : for an Environmentally Sound, Reliable and Affordable Energy Supply“, Ministère de l'Environnement allemand, Septembre 2010.

⁴ Voir le Conseil européen des 24 et 25 mars 2011.

⁵ D'ici septembre, l'agence fédérale des réseaux électriques peut décider de maintenir jusqu'à 2013 une partie de ces réacteurs en réserve pour pallier une éventuelle pénurie d'électricité en hiver.

⁶ Ainsi qu'un quota accordé à RWE en compensation pour la fermeture au bout de quelques mois de la centrale nucléaire de Mülheim-Kärlich.

⁷ Voir : <http://www.bmu.de/energiewende/doc/47465.php>

⁸ Ce fond devait initialement être financé par une taxe sur le combustible nucléaire contesté par les électriciens allemands. L'apport des revenus d'enchères compensera la perte de revenu de cette taxe suite à la fermeture anticipée des réacteurs nucléaires ?

⁹ La centrale de Krümmel arrêté depuis juillet 2009 n'est pas incluse dans ce calcul, son extinction définitive, bien que comprise dans les dernières décisions peut-être considéré comme une conséquence de ses avaries à répétition.

¹⁰ Ce résultat peut être en partie dû à d'autres facteurs que la fermeture des centrales allemandes (par exemple : une différence dans la croissance de la demande d'électricité de l'Allemagne vis-à-vis des autres pays).

¹¹ Seuls les échanges bilatéraux entre la France et l'Allemagne sont ici considérés.

¹² “German nuclear report to boost prices: analysts”, Point Carbon, 25 mai 2011.