

RAPPORT

au nom de

L'OFFICE PARLEMENTAIRE D'ÉVALUATION DES CHOIX SCIENTIFIQUES ET TECHNOLOGIQUES

Sur

LE TOURNANT ÉNERGÉTIQUE ALLEMAND : QUELS ENSEIGNEMENTS POUR LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE FRANÇAISE ?

PAR

M. Jean-Yves LE DÉAUT, député, et M. Bruno SIDO, sénateur

Tome I : Compte rendu de l'audition publique du 25 septembre 2014

TOME II

Déposé sur le Bureau de l'Assemblée nationale

par M. Jean-Yves LE DÉAUT,

Président de l'Office

Déposé sur le Bureau du Sénat

par M. Bruno SIDO,

Premier Vice-président de l'Office

Composition de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques

Président

M. Jean-Yves LE DÉAUT, député

Premier Vice-président

M. Bruno SIDO, sénateur

Vice-présidents

M. Christian BATAILLE, député

Mme Anne-Yvonne LE DAIN, députée

M. Jean-Sébastien VIALATTE, député

M. Roland COURTEAU, sénateur

M. Christian NAMY, sénateur

Mme Catherine PROCACCIA, sénatrice

DÉPUTÉS

M. Gérard BAPT
M. Denis BAUPIN
M. Alain CLAEYS
M. Claude de GANAY
Mme Anne GROMMERCH
Mme Françoise GUÉGOT
M. Patrick HETZEL
M. Laurent KALINOWSKI
M. Alain MARTY
M. Philippe NAUCHE
Mme Maud OLIVIER
Mme Dominique ORLIAC
M. Bertrand PANCHER
M. Jean-Louis TOURAINE

SÉNATEURS

M. Gilbert BARBIER
Mme Delphine BATAILLE
M. Michel BERSON
Mme Marie-Christine BLANDIN
M. François COMMEINHES
Mme Dominique GILLOT
Mme Brigitte GONTHIER-MAURIN
M. Alain HOUPERT
Mme Fabienne KELLER
M. Jean-Pierre LELEUX
M. Gérard LONGUET
M. Jean-Pierre MASSERET
M. Pierre MÉDEVIELLE
M. Daniel RAOUL

SOMMAIRE

	<u>Pages</u>
GRAPHIQUES ET CARTES ILLUSTRANT LES INTERVENTIONS DE L'AUDITION PUBLIQUE.....	5
▪ M. Graham Weale, économiste en chef et M. Volker Stehmann, conseiller aux politiques énergétiques, RWE	5
▪ M. Michel Cruciani, chargé de mission au Centre de géopolitique de l'énergie et des matières premières (CGEMP), université Paris-Dauphine	13
▪ Mme Mélanie Persem, directrice de l'Office franco-allemand pour les énergies renouvelables	18
▪ M. Dimitri Pescia, associé senior, Institut Agora Energiewende	23
▪ M. Etienne Beeker, département développement durable, France Stratégie	36
▪ M. François Moisan, directeur exécutif stratégie, recherche et international de l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME).....	39
▪ Mme Emmanuelle Carpentier, directeur des affaires publiques et des affaires réglementaires d'E.ON France	43
▪ M. Jacques Percebois, professeur à l'Université de Montpellier 1	46
▪ M. François Lévêque, professeur d'économie (Mines Paristech).....	53

**AUDITION PUBLIQUE, OUVERTE À LA PRESSE, SUR
« LE TOURNANT ÉNERGÉTIQUE ALLEMAND :
QUELS ENSEIGNEMENTS POUR LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE
FRANÇAISE ? »**

**GRAPHIQUES ET CARTES ILLUSTRANT LES
INTERVENTIONS DE L'AUDITION PUBLIQUE**

M. Graham Weale, économiste en chef et M. Volker Stehmann, conseiller aux politiques énergétiques, RWE

Le tournant énergétique allemand : Objectifs, difficultés, réforme

Graham Weale, Chef Économiste
Volker Stehmann, Conseiller Senior chargé
de la politique énergétique } RWE AG

Audition - OPECST, Parlement français, Paris, 25 sept. 2014

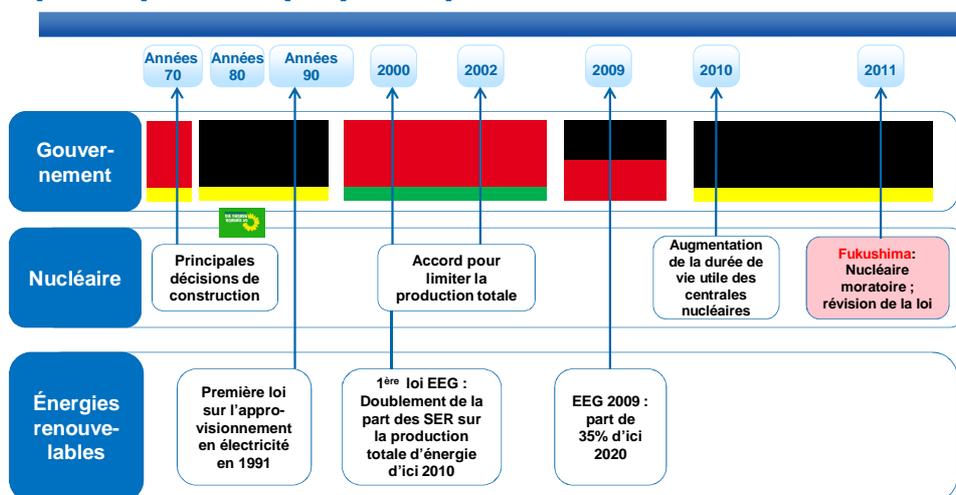
RWE
The energy to lead



Agenda

1. Le tournant énergétique – principales décisions politiques au fil des ans
2. Résultats du tournant énergétique
3. Amendement à la loi allemande sur les énergies renouvelables (EEG) 2014
4. Choix à opérer dans le cadre d'une transition énergétique

1. Le tournant énergétique – passer du nucléaire et du charbon aux énergies renouvelables : les principaux caps politiques franchis



Principaux objectifs définis en 2011 et progrès réalisés

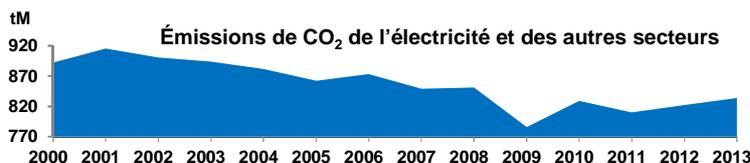
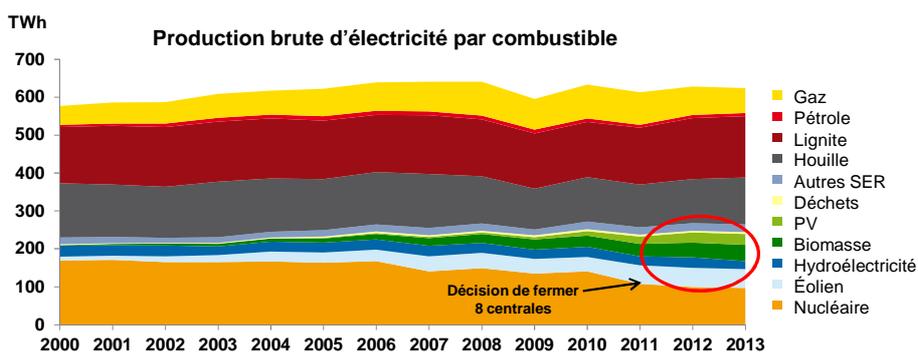
Objectifs	2020	2030	Instrument	2013
1. Émissions de CO ₂ : réduction vs. 1990 de	40%	55%	Régime ETS	23%
2. Énergies renouvelables (SER) : augmentation de la consommation finale brute d'énergie à	18%	30%	Lois SER Chauffage & biomasse	12,3%
Augmentation de la part des SER sur la consommation électrique brute à	35%	50%	Loi EEG	25,4%
Capacité éolienne offshore : augmentation à (en GW)	10	25	Loi EEG	0.6
3. Consommation d'énergie primaire : réduction vs. 2008 de	20%		Taxe environnementale, loi EnEV	4%
Consommation d'électricité : réduction vs. 2008 de	10%		Taxe environnementale	2%
4. Consommation d'énergie dans les transport : réduction vs. 2008 de	10%		Reforme de la taxe sur les voitures	0% (2012)
Véhicules électriques : hausse du nombre à	1 M	6 M	Fonds Énergie et climat	0,013 M
5. Extension du réseau (kilomètres) conformément à ENLAG	1855		Loi ENLAG	352
Raccordement au réseau des parcs éoliens offshore : retards	0		Loi EnWG	11
6. Sécurité d'approvisionnement (minutes d'indisponibilité p.a.)	17	17	Réserve stratégique	16
7. Surtaxe Renouvelables : limite à €cts 3,5/kWh			aucun	6.24



Sources : 1, 4, 5, 6, 9, 10, 11, 12 – Indice Tournant énergétique McKinsey Sept 2014
2, 3, 7: BMWi (Ministère fédéral allemand de l'Économie et de l'Énergie), 8: KBA (Office fédéral des véhicules à moteur)

RWE AG - Audition Parlement français 25.09.2014 PAGE 4

2. Résultats : les énergies renouvelables augmentent et compensent la baisse de la production nucléaire



Source : BMWi

RWE AG - Audition Parlement français 25.09.2014 PAGE 5

Baisse du prix de gros de 50% par rapport aux CMLT, conduisant à des fermetures d'installations

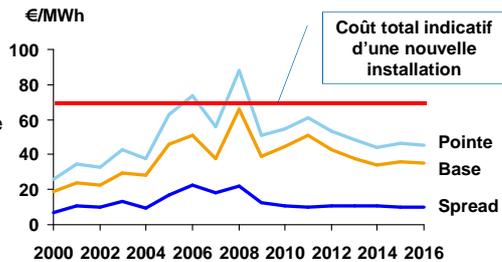
Causes de la baisse des prix

- L'effet volume de SER supérieures aux prévisions a aussi repoussé la courbe d'appel des centrales
- L'effet volume de la récession a réduit le prix de compensation sur la courbe d'appel des centrales
- Le PV a entraîné un aplatissement du prix de pointe quotidien
- Faiblesse du prix du CO₂ et du charbon

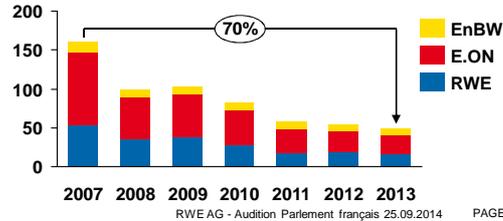
Conséquences

- Fermetures de centrales entraînant des problèmes de sécurité d'approvisionnement
- Importante destruction de valeur et défis financiers pour les compagnies d'électricité

Prix de l'électricité en Allemagne



Valeur des compagnies d'électricité sur le marché

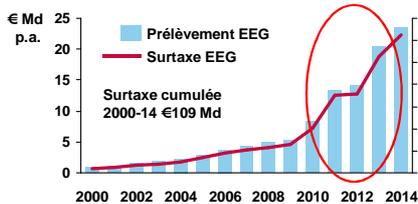


Source : EEX / RWE

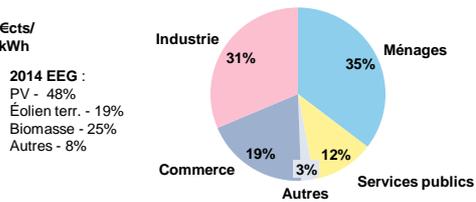
RWE AG - Audition Parlement français 25.09.2014 PAGE 6

La surtaxe sur les renouvelables augmente fortement et fait monter le prix facturé au consommateur malgré la baisse du prix de gros

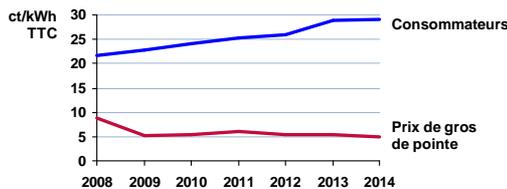
Subventions EEG et surtaxe prix consommateur



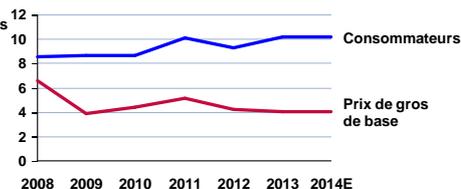
Imputation de la surtaxe sur les renouvelables par secteur



Prix de l'électricité pour les ménages (2.5-5 MWh) €ct/kWh toutes taxes comprises



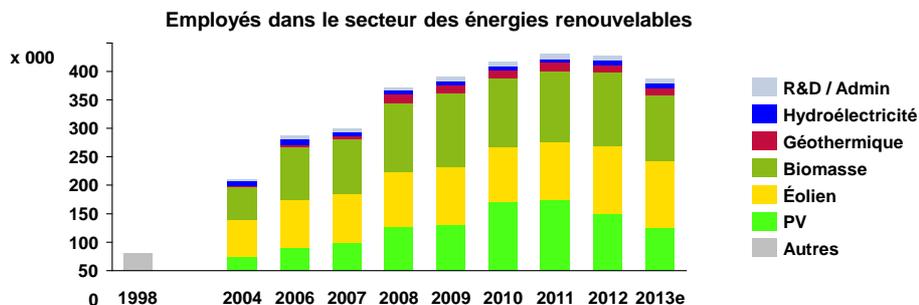
Prix de l'électricité pour les clients industriels (70-150 GWh) €ct/kWh hors TVA



Source : BDEW et EEX

RWE AG - Audition Parlement français 25.09.2014 PAGE 7

Cette politique a créé près de 0,4 million d'emplois (chiffre brut) ; les fabricants d'éoliennes détiennent une part de marché mondiale de 27%



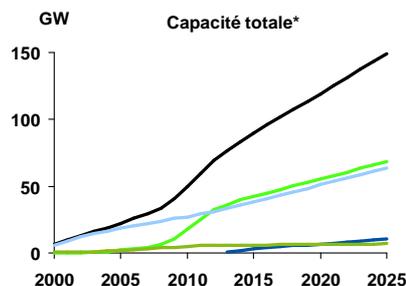
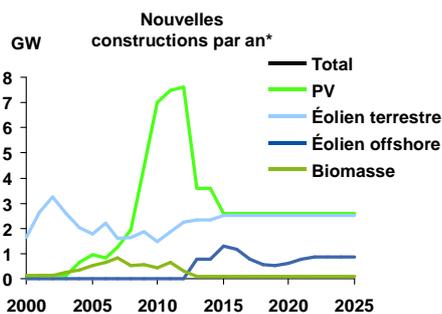
- L'ancienne Coalition Rouge-Vert espérait la création de 0,5 millions d'emplois d'ici 2020
 - mais la destruction d'emplois dans d'autres secteurs devrait être déduite pour déterminer l'incidence nette sur l'emploi
- Quatre fabricants d'éoliennes allemands détiennent conjointement une part de marché mondiale de 27%
- En 2010, les fabricants allemands de panneaux solaires détenaient une part de marché mondiale de 20%, mais cette part a fortement baissé
- Nombre croissant de faillites dans le secteur des énergies renouvelables depuis 2011, notamment dans le PV, mais aussi dans l'éolien



Sources : Make Consulting (données éoliennes) ; Destatis (données modules solaires) RWE AG - Audition Parlement français 25.09.2014 PAGE 8

3. La loi EEG a été révisée pour maintenir les objectifs mais contrôler les coûts

- L'objectif est d'atteindre une part d'énergies renouvelables de 40-45% d'ici 2025, puis de 55-60% d'ici 2035, mais en garantissant toujours l'abordabilité et la sécurité d'approvisionnement
- Réduction du niveau de coût des SER de €cts 17 à 12/kWh
- Le corridor de croissance subventionné des SER est défini dans la loi, avec des instruments spécifiques à la technologie
 - Éolien terrestre et PV : chacun une croissance maximum de 2.5 GW p.a. (hors repowering éolien)
 - Plus de subventions pour le PV au-delà de 52 GW
 - Appel d'offres pour un projet-pilote d'installation PV à grande échelle en 2016
 - Éolien offshore : 6.5 GW d'ici 2020 et 15 GW d'ici 2030, puis 2 parcs éoliens p.a.
 - Biomasse : maximum 100 MW p.a.
- Meilleure intégration du marché par marketing direct obligatoire
- Amendement adopté le 01.08.2014



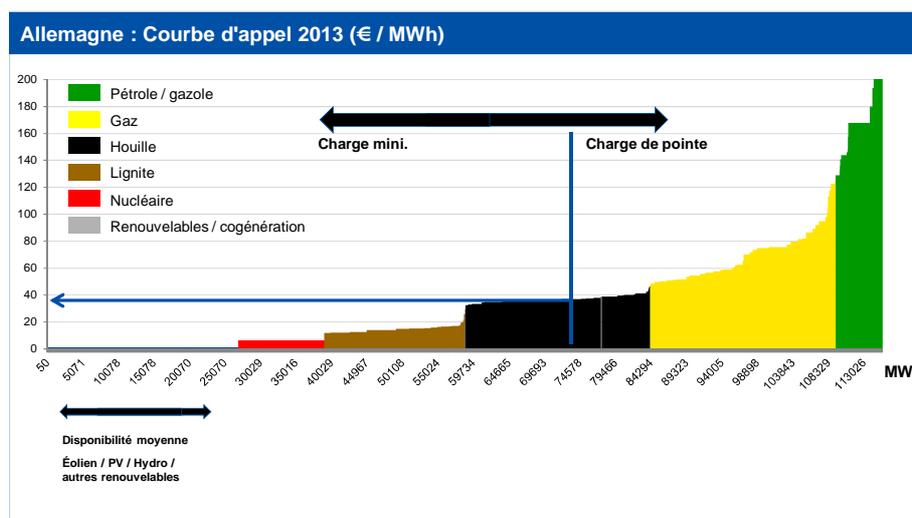
* Développement indicatif - le taux de construction suppose une marge économique suffisante soit avec ou soit sans subvention RWE AG - Audition Parlement français 25.09.2014 PAGE 9

4. Choix à opérer dans le cadre d'une transition énergétique (non-exhaustif)

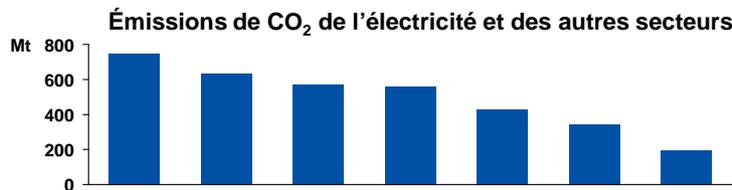
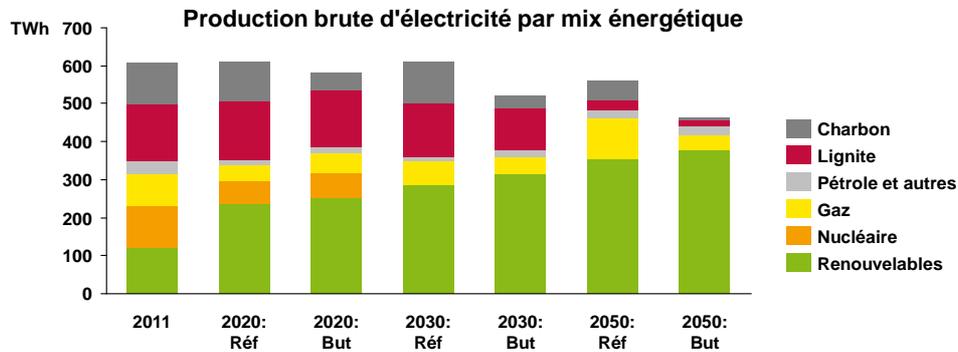
- Nombre d'objectifs et d'instruments à mettre en place
- Formes de soutien aux énergies renouvelables
- Poids de « l'économie » dans les décisions politiques
- Quel rôle pour le marché « energy only » ?
- Restreindre ou non certaines sources électriques ?
- Objectifs nationaux ou européens?
- ...



Courbe d'appel des centrales thermiques en 2013 : Utilisation élevée des centrales au charbon, mais affaiblissement du gaz



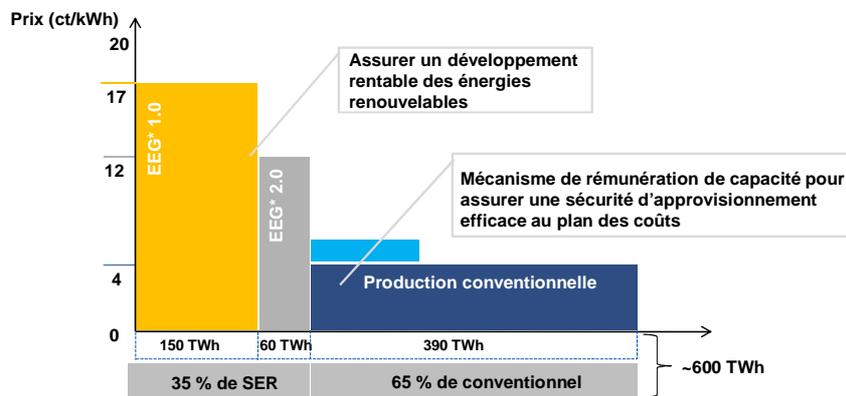
Perspectives d'ici 2050 – tendances et objectifs



Source: Prévisions d'EWI / gws / prognos pour le Ministère fédéral al de l'Économie et de l'Énergie (BMWi)

RWE AG - Audition Parlement français 25.09.2014 PAGE 14

Coût prévu de l'approvisionnement énergétique avec une part d'énergies renouvelables de 35% (objectif 2020)



Source : Ministère fédéral allemand de l'Économie et de l'Énergie

* EEG = loi allemande sur les énergies renouvelables

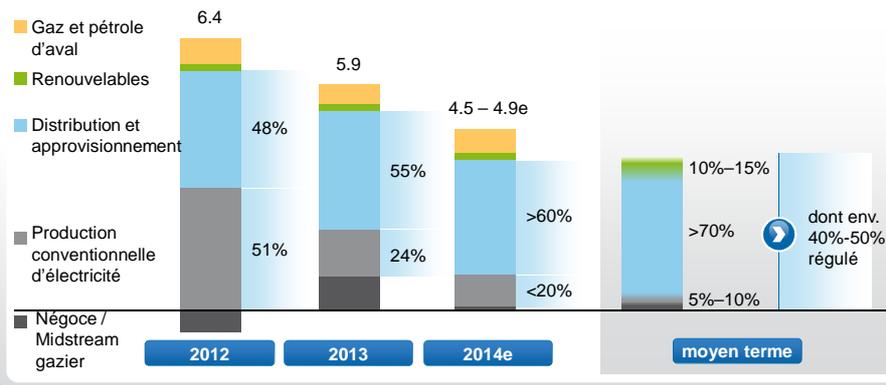


RWE AG - Audition Parlement français 25.09.2014 PAGE 15

Perspectives de revenus pour RWE

RWE se développe pour devenir une entreprise d'aval stable et attrayante, qui se focalise aussi sur les énergies renouvelables et possède un potentiel de croissance dans la production conventionnelle d'électricité

Résultat d'exploitation en € Md

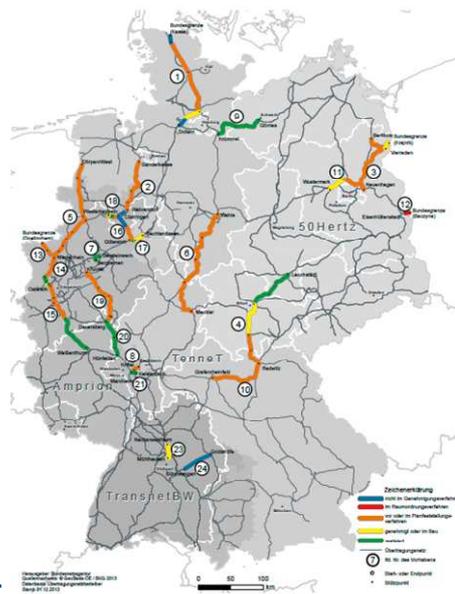


Source : RWE

RWE AG - Audition Parlement français 25.09.2014

16

Construction des lignes de transmission de haute tension - réalisation début 2014



En proces d'admission
Début du proces de planification
Dans le proces de planification
Permit ou en construction
Réalisé

Source: Ministère de l'Industrie (BMWi)
Zweiter Monitoring Bericht



RWE AG - Audition Parlement français 25.09.2014

17

M. Michel Cruciani, chargé de mission au Centre de géopolitique de l'énergie et des matières premières (CGEMP), Université Paris-Dauphine





Le tournant énergétique allemand

OPECST - Paris, 25 Septembre 2014

Le développement rapide des énergies éolienne et photovoltaïque

Michel Cruciani
Centre de Géopolitique de l'Énergie et des Matières Premières (CGEMP)
Université Paris-Dauphine

1

Caractéristiques de la politique énergétique allemande

Depuis l'**Energiekonzept de 2010**, la politique énergétique allemande se caractérise par des **objectifs ambitieux** dans un horizon de **temps bref**.

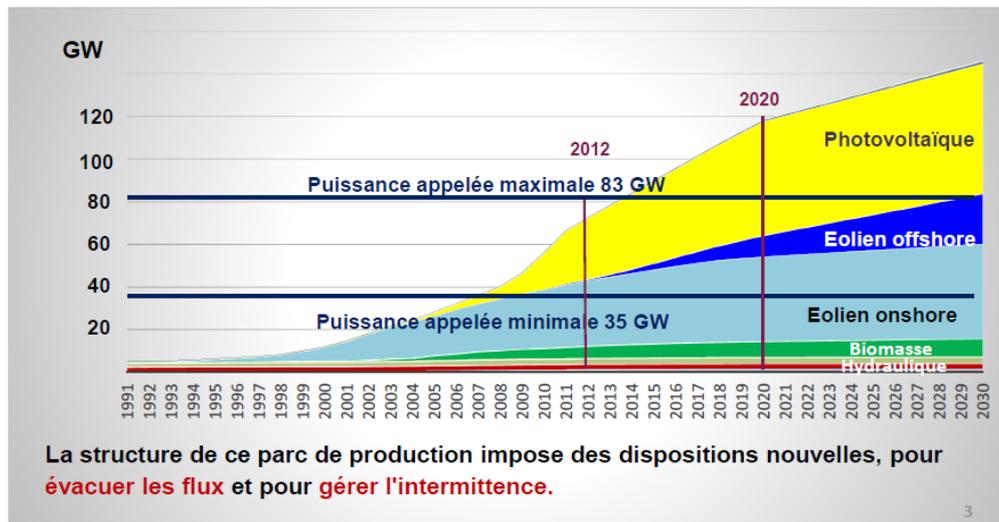
Consommation d'énergie primaire (par rapport à 2008)	2020 : - 20 %	2013 : - 2,6 %
Consommation finale d'électricité (par rapport à 2008)	2020 : - 10 %	2013 : - 2 %
Emissions de CO ₂ (par rapport à 1990)	2020 : - 40 %	2013 : - 24 %
Part des énergies renouvelables dans la consommation d'énergie	18 %	2013 : 12 %
Part des sources renouvelables dans la consommation d'électricité	2025 : 40 à 45 % 2035 : 55 à 60 % 2050 : >80 %	2013 : 25 %

L'**Energiewende** impose d'atteindre ces objectifs malgré la fermeture anticipée du parc nucléaire, d'ici 2022.

2

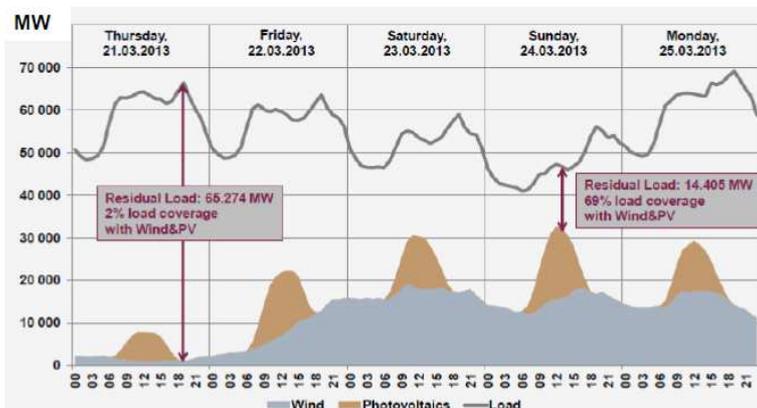
Capacité de production électrique d'origine renouvelable

Compte tenu du faible facteur de charge de l'éolien et du photovoltaïque, une **surcapacité** (en GW) est nécessaire pour atteindre l'objectif (en TWh).

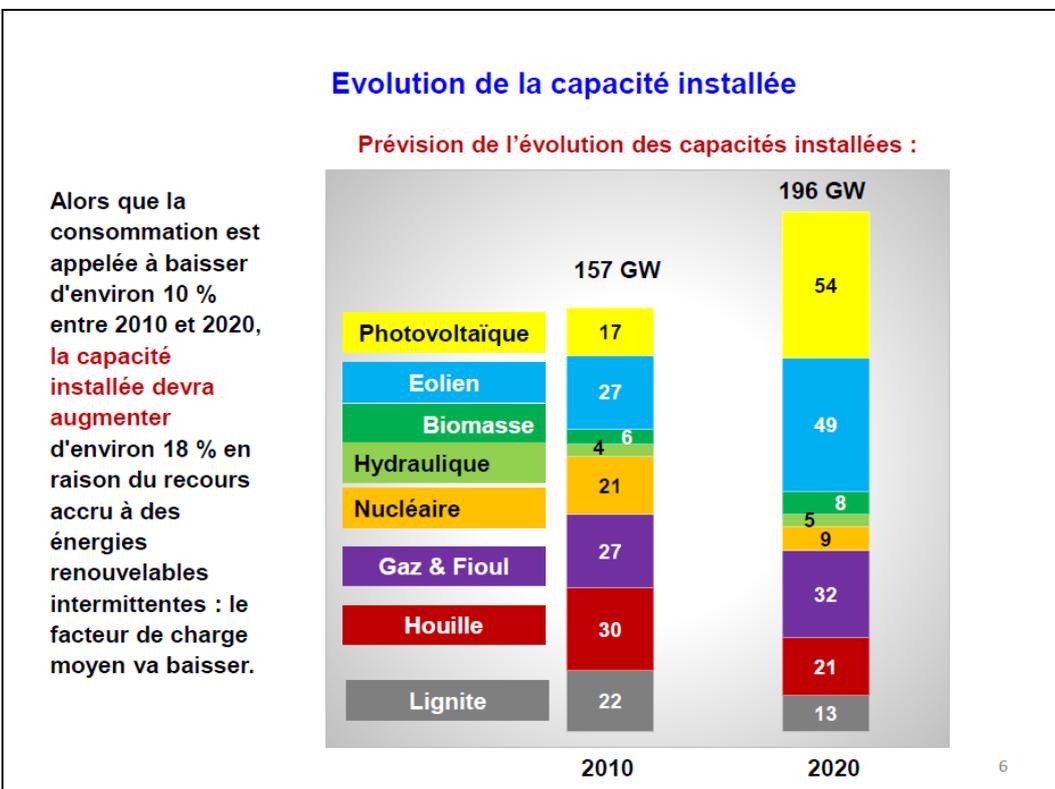
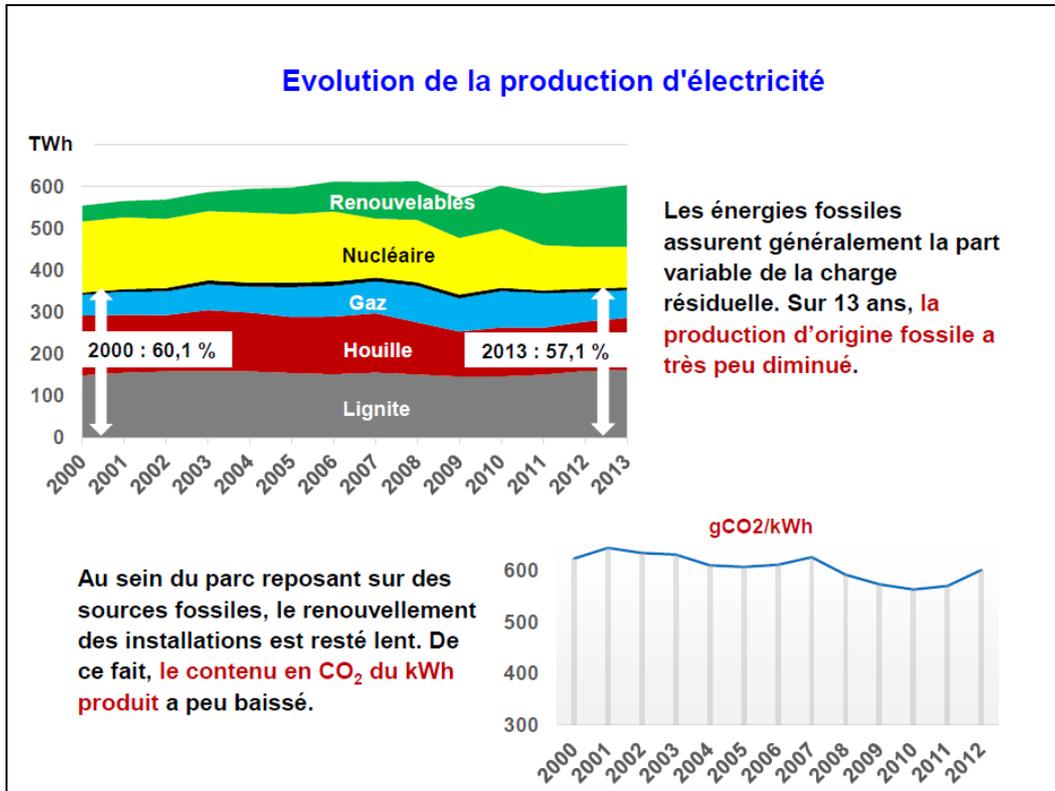


Gestion de la charge résiduelle

Les sources renouvelables bénéficiant d'une injection prioritaire, le système électrique a besoin de sources en relèvement (*backup*) susceptibles de s'adapter à une **charge résiduelle** variant rapidement et fortement.



Avec le **couplage des marchés**, qui facilite l'exportation d'une partie croissante de sa production intermittente, l'Allemagne crée aussi une fluctuation de la charge résiduelle **dans les pays voisins**.



Gestion de l'intermittence

L'absorption de grands volumes d'électricité à caractère intermittent appelle trois séries de mesures :

1. Le **renforcement des réseaux**, afin d'atteindre le plus grand nombre possible de consommateurs
2. La **gestion active de la demande**, pour inciter les clients à adapter leur consommation à la production
3. Le **développement du stockage**, selon les techniques actuelles (stations de pompage, batteries, stockage thermique...) ou à développer (hydrogène, méthanation...)

Dans aucun pays d'Europe ces trois solutions n'ont pu progresser aussi vite que la production de sources intermittentes. En Allemagne, leur mise en œuvre est conçue à travers la création de **filières industrielles**, avec un accent particulier pour le secteur des transports dans le cas du stockage.

La gestion de l'intermittence nécessite par ailleurs un aménagement de la **réglementation**.

7

Conclusion

Parmi les objectifs retenus pour l'Energiewende, la **production d'énergies renouvelables** a clairement été favorisée. L'accent pris par l'**électricité** d'origine éolienne et photovoltaïque a engendré des difficultés spécifiques à ce secteur, liées notamment au retard d'édification des réseaux et à l'absence de solutions matures pour le stockage du courant.

Ces difficultés ont été partiellement répercutées sur les **pays voisins**, l'Allemagne adoptant une démarche peu coopérative.

La loi du 11 Juillet 2014 vise essentiellement à mieux encadrer la rémunération des producteurs d'énergies renouvelables. Le **rythme de pénétration** de l'électricité d'origine éolienne et photovoltaïque va très probablement ralentir, ce qui facilitera le déploiement des solutions relatives à l'intermittence.

8

Sources d'information

Slide 2 :

Energy Concept for an Environmentally Sound, Reliable and Affordable Energy Supply - 28 Septembre 2010 - www.bmwi.de & www.bmu.de et Office Franco Allemand pour les Energies Renouvelables, note de synthèse sur les principales mesures de la loi du 11 Juillet 2014

Slide 3 :

Diagramme présenté par M. Andreas Kuhlmann, Directeur de la stratégie au BDEW, le 31 Mai 2013 lors de la conférence du CGEMP (Université Paris-Dauphine). Source originale : BMU, Leitstudie 2011

Slide 4 :

Diagramme présenté par M. Andreas Kuhlmann, Directeur de la stratégie au BDEW, le 31 Mai 2013 lors de la conférence du CGEMP (Université Paris-Dauphine).

Slide 5 :

Evolution de la production d'électricité :

2000-2012 : BMWi - Energie Daten Mei 2013 - Tabelle 5

2013 : Agora_Energiewende_im_Stromsektor_2013_07012014

Evolution du contenu en CO2 :

Agence Européenne de l'Environnement - National Inventory Report – 2013 - page 61

Graphiques de l'auteur

Slide 6 :

Etude menée par les cabinets DLR, Fraunhofer-IWES et IfnE pour le Ministère Fédéral de l'Environnement, diffusée le 29 Mars 2012 : "Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global", communément appelée "Leitsudie",

Tabelle 4-6, page 122

Présentation de l'auteur

Mme Mélanie Persem, directrice de l'Office franco-allemand pour les énergies renouvelables



Contrat de coalition 2013 | Les priorités gouvernementales 2014-2017

Confirmation des objectifs ambitieux

- ✓ Confirmation de la **sortie du nucléaire à l'horizon 2022**
- ✓ Accompagnement des **énergies renouvelables** vers l'**économie de marché**
 - ✓ **2025 : 40 % à 45 %** d'EnR dans la consommation électrique
 - ✓ **2035 : 55 % à 60 %** d'EnR dans la consommation électrique
 - ✓ **2050 : au moins 80 %** d'EnR dans la consommation électrique
 - ✓ Monitoring annuel
- ✓ **Centrales conventionnelles indispensables** ; mécanismes seront développés afin de maintenir **capacités nécessaires** sur le marché

12



Contrat de coalition 2013 | Les priorités gouvernementales 2014-2017

Éléments clés pour la réussite de la transition énergétique :

- ✓ **Limitation des coûts**
- ✓ **Viabilité du système** dans son intégralité (y compris concernant le développement du réseau électrique et les capacités de réserve)
- ✓ Intégration au sein du **marché européen** de l'électricité
- ✓ **Implication des citoyens**
- ✓ **Confiance des investisseurs**
- ✓ **Flexibilisation de l'offre et de la demande**
 - ✓ Gestion de la charge
 - ✓ Stockage : évaluation des potentiels, neutralité technologique, innovation et recherche

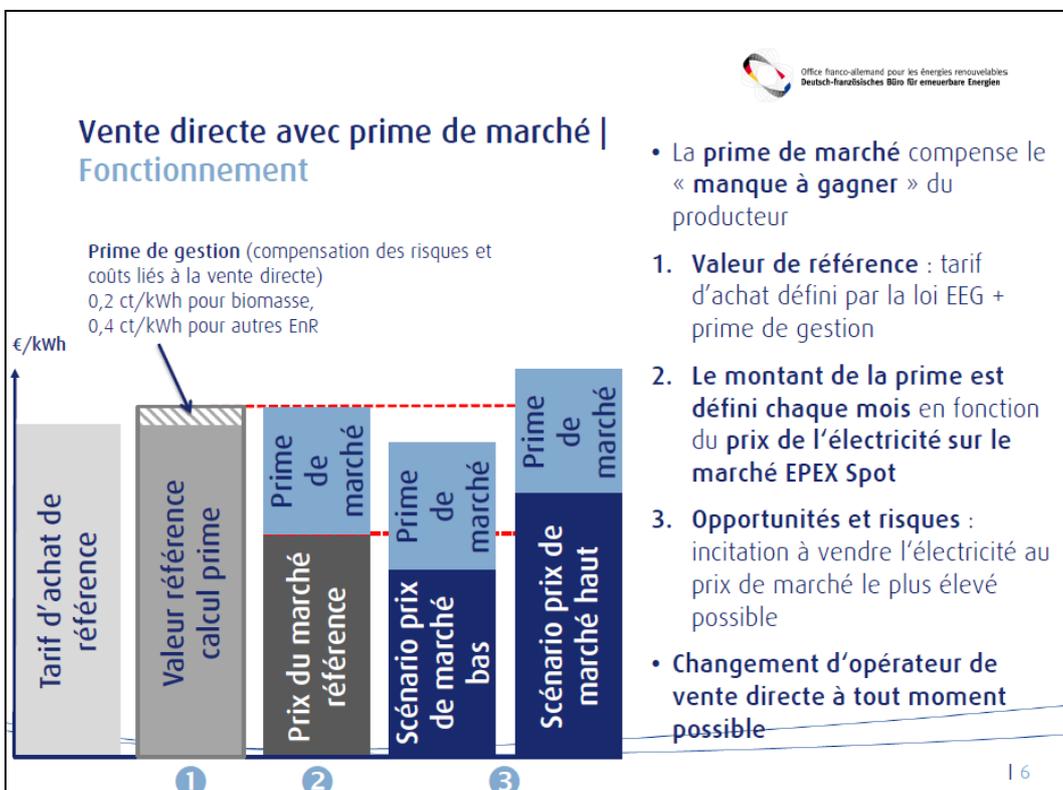
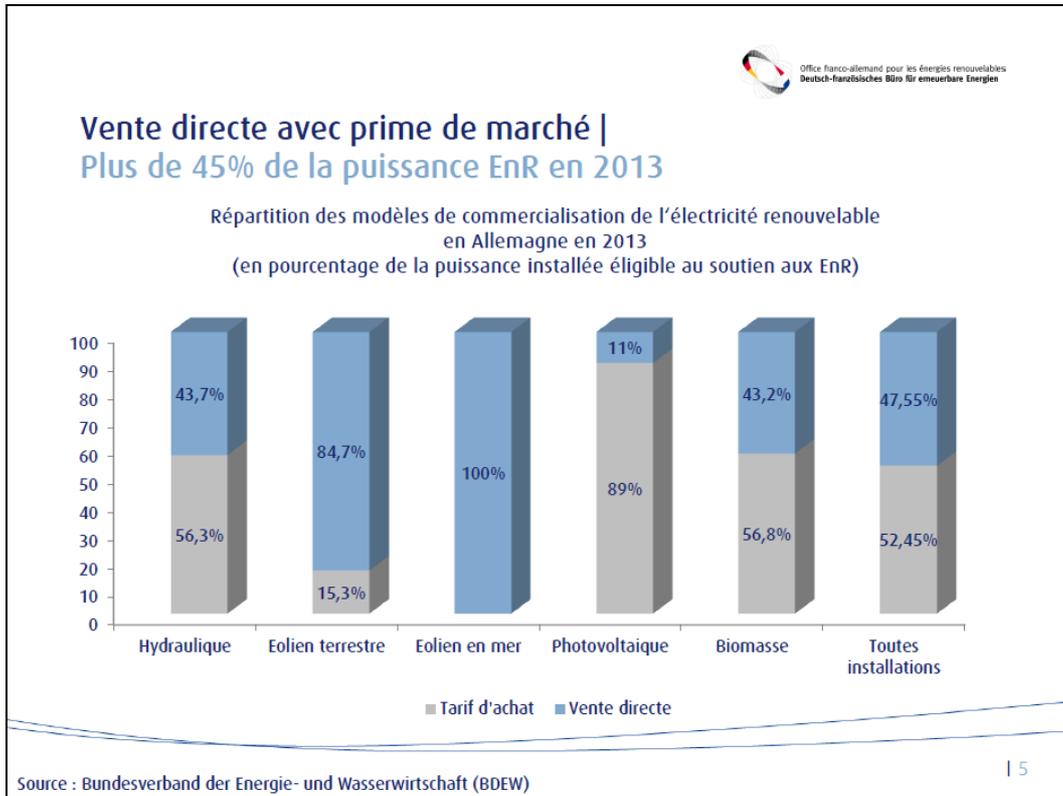
| 3

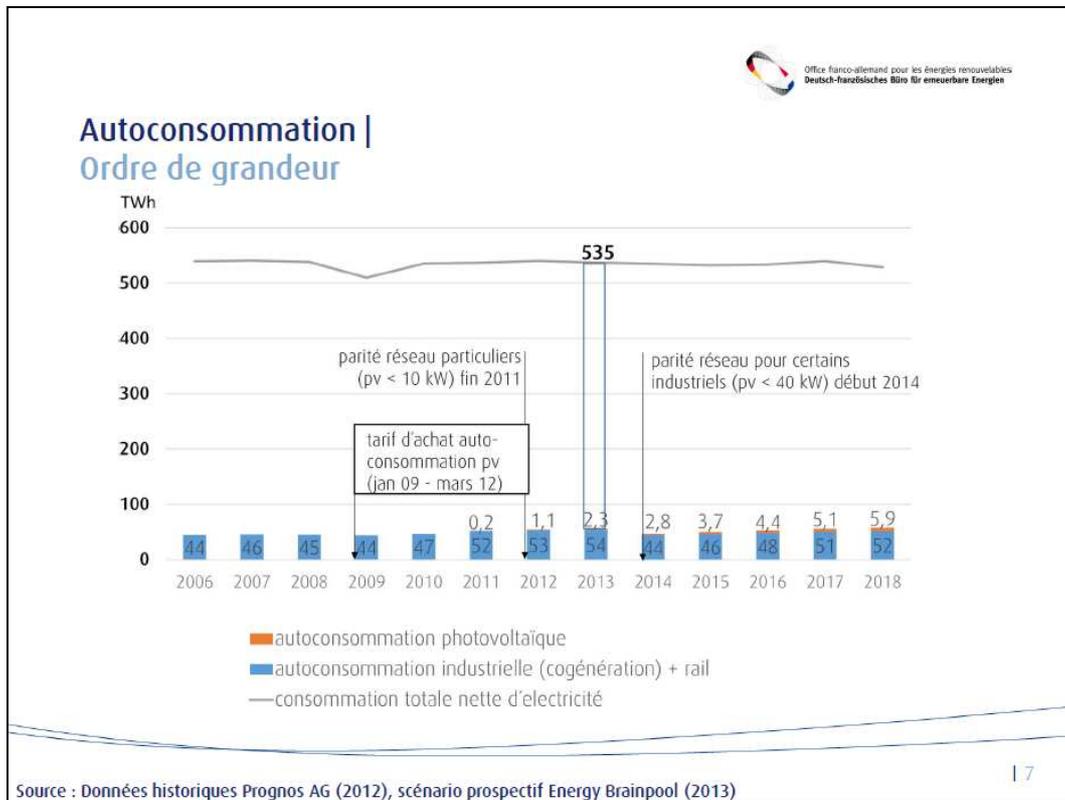


Vente directe avec prime de marché | Règles et objectifs

- A partir du **1.8.2014 / 1.1.2016** : obligatoire pour les **installations >500 kW / >100 kW**
- **Intégration des EnR au marché de l'électricité**
 - Producteur d'EnR **responsable de la vente de son électricité**
 - **Prévisions de production EnR à J-1** et participation des producteurs EnR aux **coûts liés aux actions d'ajustement** offre-demande sur le marché
- **Compétition pour la commercialisation la plus efficace de la production EnR**
 - Producteur EnR fait partie des **acteurs de marché**
 - Recherche de l'**intégration de la production la plus efficace**
 - Amélioration de la **précision des prévisions de production**
 - Amélioration de la « **commandabilité** » de la **production** et de son **adaptation aux besoins** en électricité
 - Incitation à une **flexibilisation** de la production

| 4





17

Office franco-allemand pour les énergies renouvelables
Deutsch-französisches Büro für erneuerbare Energien

Autoconsommation | Exonérations de la contribution EEG

- Exonération complète de la contribution EEG pour :
 - petites installations ≤ 10 kW (limite d'exonération de 10 MWh/an)
 - consommation d'énergie propre au **fonctionnement des centrales**
 - installations **non raccordées** au réseau
 - personnes **s'auto-alimentant intégralement** et ne recevant **aucun soutien financier** pour l'électricité produite mais non autoconsommée
- Réduction de la contribution EEG de 70%/65%/60% pour les installations de production d'EnR mises en service **avant fin 2015/fin 2016/à partir 1^{er} janvier 2017**
- Electro-intensifs répondant aux critères d'éligibilité : **réduction de la contribution EEG de 85 %**

18



Appels d'offres |
Nouveau modèle de définition du niveau de soutien aux EnR à partir de 2017

- Au plus tard à partir du **1^{er} janvier 2017**, le **niveau de soutien aux EnR** sera défini dans le cadre d'appels d'offres
- Un **appel d'offres pilote** pour une capacité installée de **600 MW de centrales au sol PV** sera lancé courant 2015
- Les appels d'offres doivent être ouverts aux **installations développées dans d'autres pays de l'Union Européenne**
 - Au moins **5 % du volume annuel**
 - Condition I : mise en place d'un **accord international** (directive européenne 2009/28/EU)
 - Condition II : la mesure est basée sur un **principe de réciprocité**
 - Condition III : la preuve de l'**export physique** de l'électricité peut être fournie

| 9



Soutenu par : /
Gefördert durch:



Federal Ministry
for Economic Affairs
and Energy

on the basis of a decision
by the German Bundestag

Soutenu par : /
Gefördert durch:



Ministère
de l'Énergie,
du Développement
durable
et de l'Énergie



Office franco-allemand pour les énergies renouvelables
Deutsch-französisches Büro für erneuerbare Energien

Office franco-allemand pour les énergies renouvelables
Mélanie Persem
Tel.: +49 30 18 615 6803
Mail: melanie.persem.extern@bmwi.bund.de
www.ofaenr.eu

M. Dimitri Pescia, associé senior, Institut Agora Energiewende



Transition énergétique allemande

Principaux défis et évolution à long terme :
coût, décarbonisation, dimension européenne

DIMITRI PESCIA, PARIS – 25.09.2014



Qui sommes nous?

- > Think-tank indépendant et non-partisan, 18 experts
- > Financé par deux fondations philanthropiques – la fondation Mercator et la European Climate Foundation (durée du projet 2012-2017 | budget : 15 millions d'euros)
- > Mission: contribuer à la réussite de la transition énergétique allemande
- > Méthodes: dialogue, réflexions, analyses, propositions



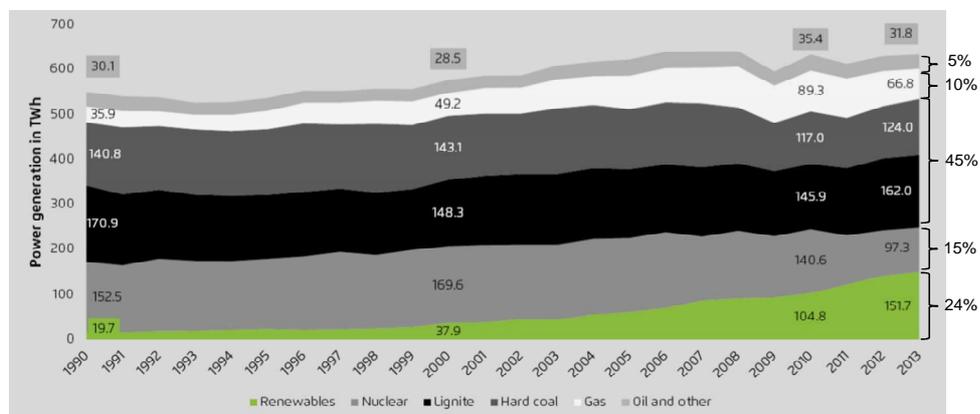


Production d'électricité en Allemagne : Situation actuelle et tendances

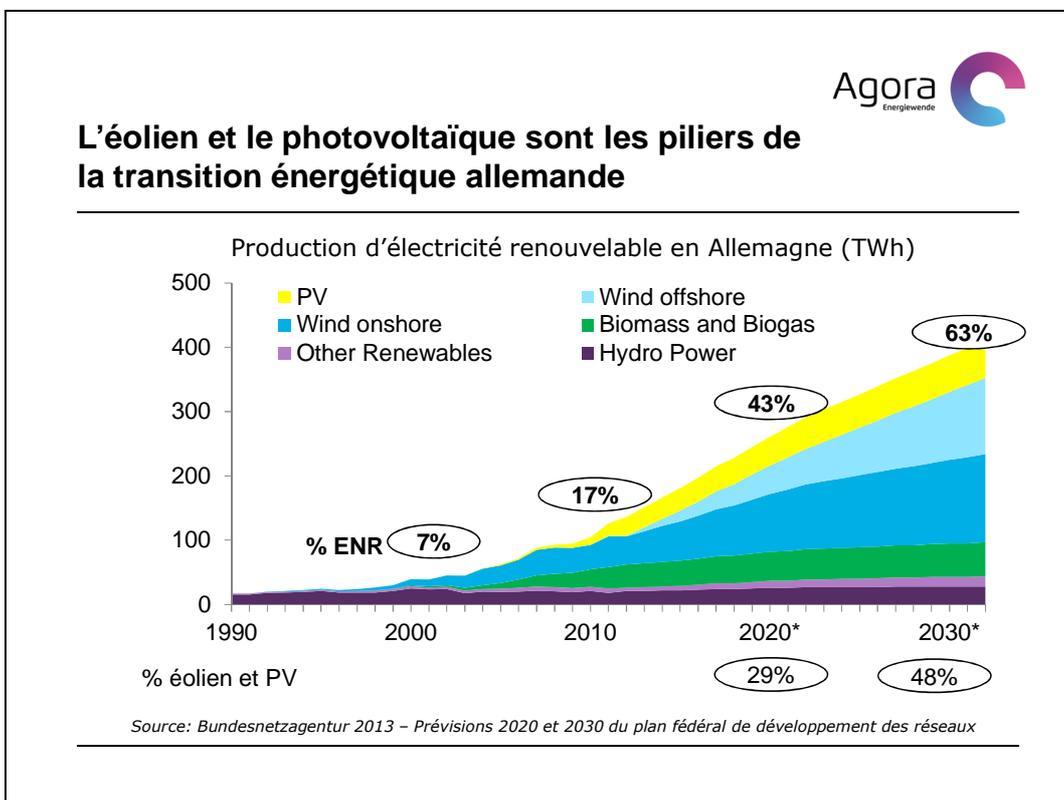
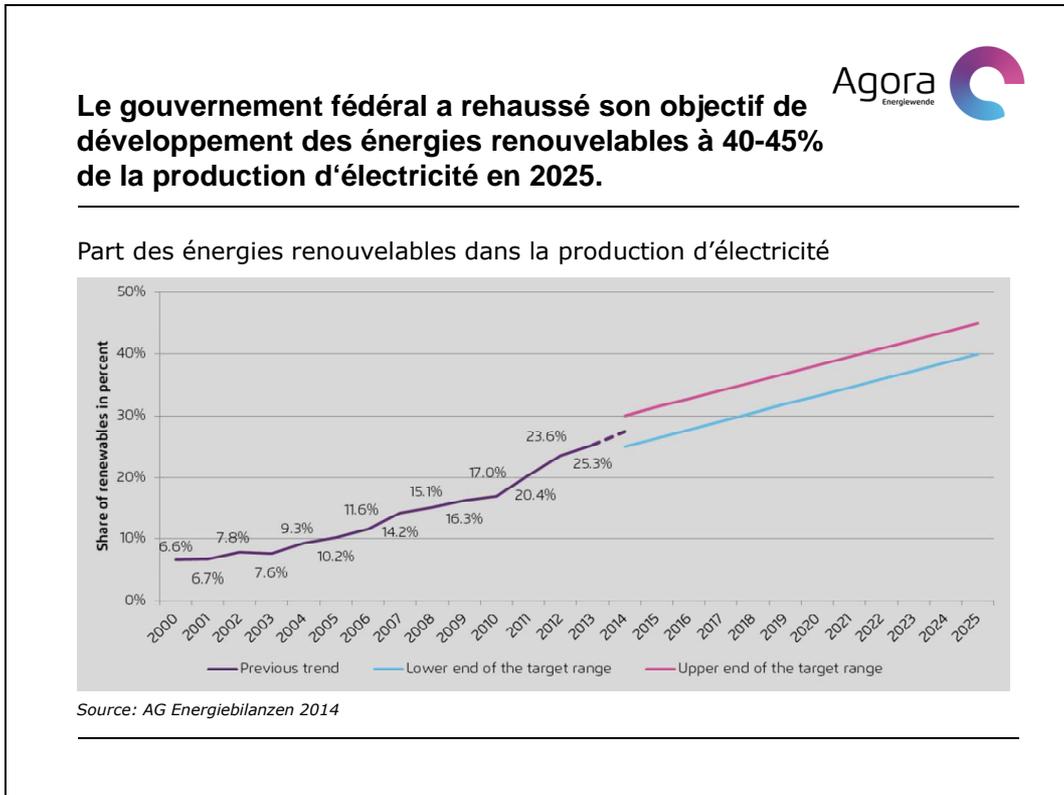
**Depuis 2000, la part des renouvelables
augmente, celle du nucléaire diminue, le
charbon reste prédominant**



Production d'électricité en Allemagne 1990-2013

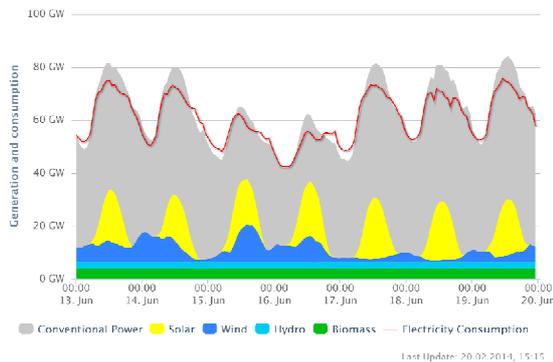


Source: AG Energiebilanzen 2014



Le photovoltaïque et l'éolien sont les piliers de la transformation du système électrique

Production d'électricité en Allemagne juin 2014



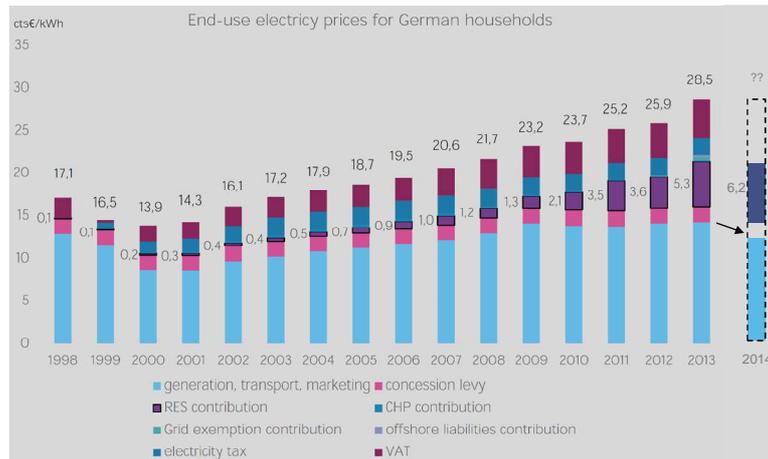
Source: EEX 2014, ENTSO-E 2014

L'éolien et le solaire ont des caractéristiques très spécifiques

- > production qui dépend des conditions météorologiques
- > coûts fixes élevés
- > coûts d'exploitation quasi nuls

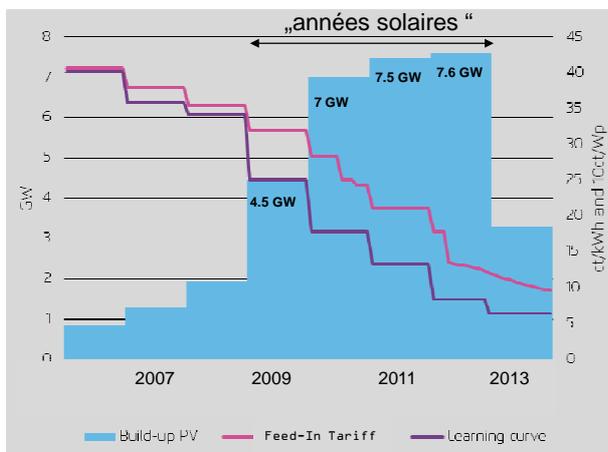
Coûts

Le prix de l'électricité payé par les ménages allemands a augmenté continuellement depuis dix ans ...



Source: BDEW (2014)

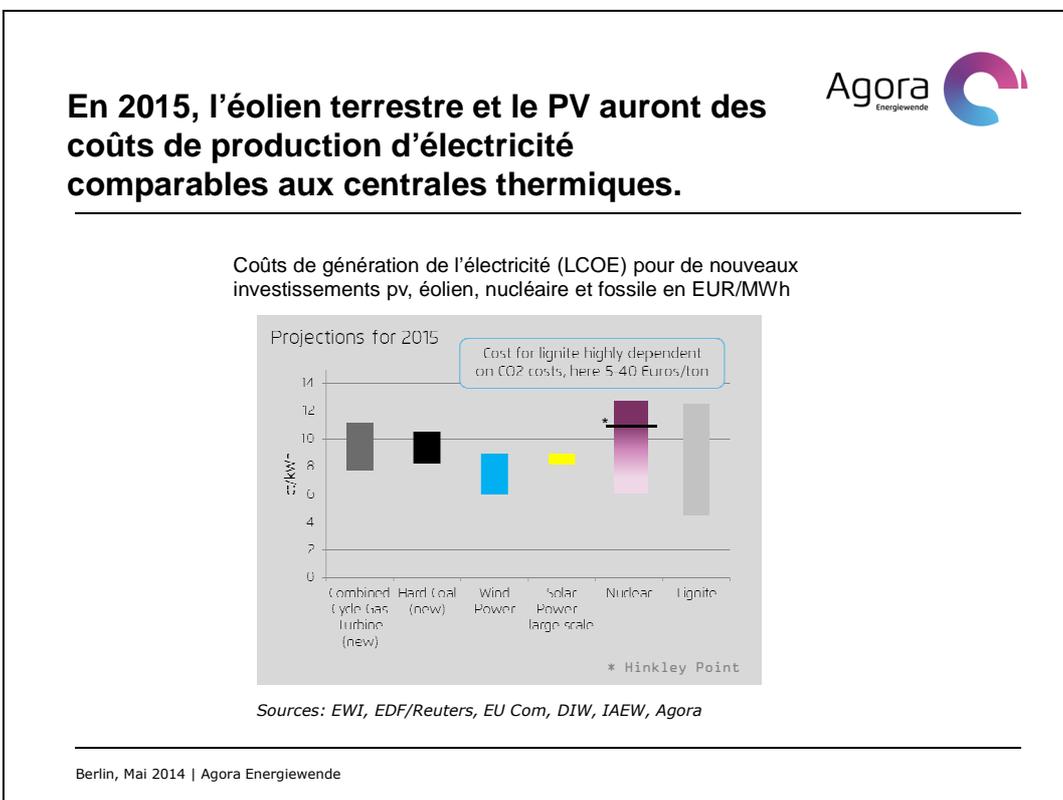
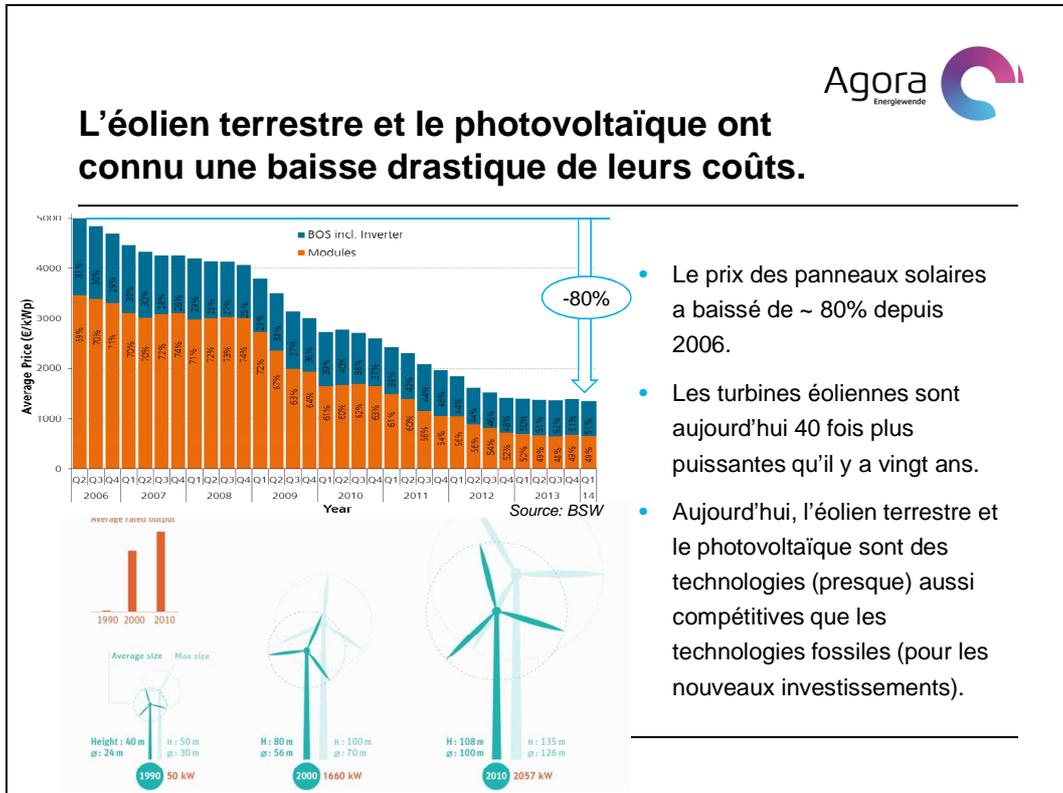
... en partie parce que les consommateurs allemands paient pour les "années solaires", qui ont contribué à accélérer la baisse des coûts du photovoltaïque.

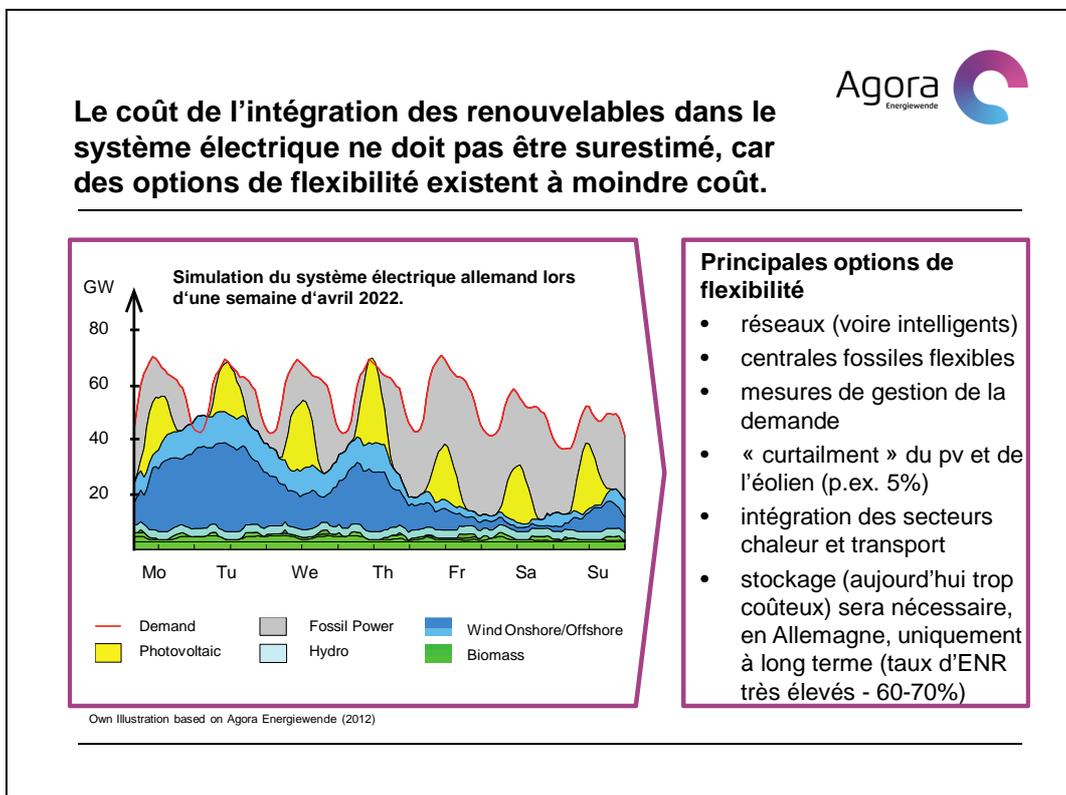
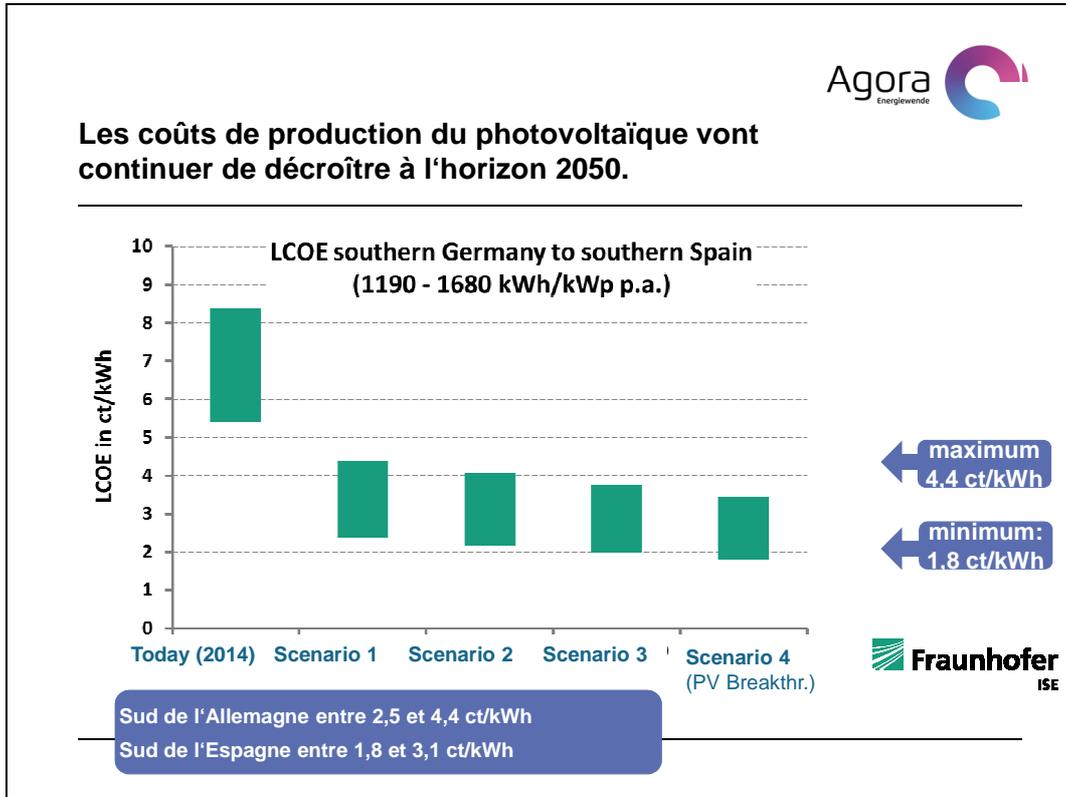


Source: SFV (2014), AGEE (2014), Fraunhofer ISE (2014)

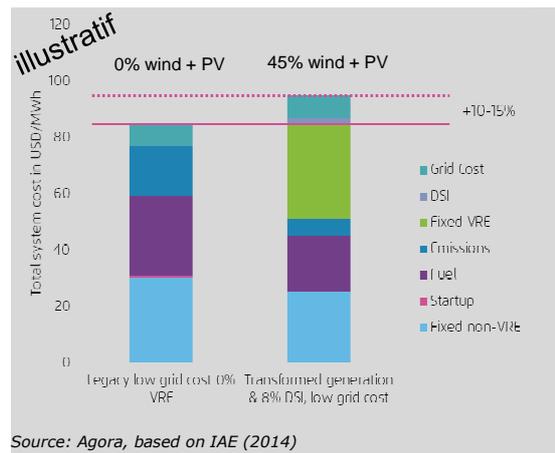
- 25 GW de photovoltaïque installés en 4 ans (!) lorsque les tarifs d'achat étaient encore très élevés.
- Dans la "course" entre les investisseurs et le régulateur, le marché a été le plus rapide.
- Les consommateurs allemands paieront 180 Mds € pour les capacités pv installées de 2000 à 2013. Aux tarifs d'achat d'aujourd'hui, cette somme atteindrait seulement 60 à 80 Mds € (*) (overnight costs)

(*) estimation à affiner





En considérant l'ensemble des coûts, un système basé sur l'éolien et le pv pourrait être seulement 10-15% plus cher qu'un système fossile.



- Les coûts globaux de la transformation dépendent de la flexibilité de l'ensemble du système.
- L'intégration d'éolien et de pv ne consiste pas simplement à les ajouter au-dessus d'un scénario "business as usual". Le système doit être transformé dans son ensemble.
- A long terme, l'intégration des renouvelables variables pourrait même n'induire aucun coûts complémentaires (IEA 2014).



Enjeux de décarbonisation



“Paradoxe de la transition énergétique” : les émissions de CO2 sont à la hausse...

Emissions de gaz à effet de serre du secteur électrique de 2000 à 2013.

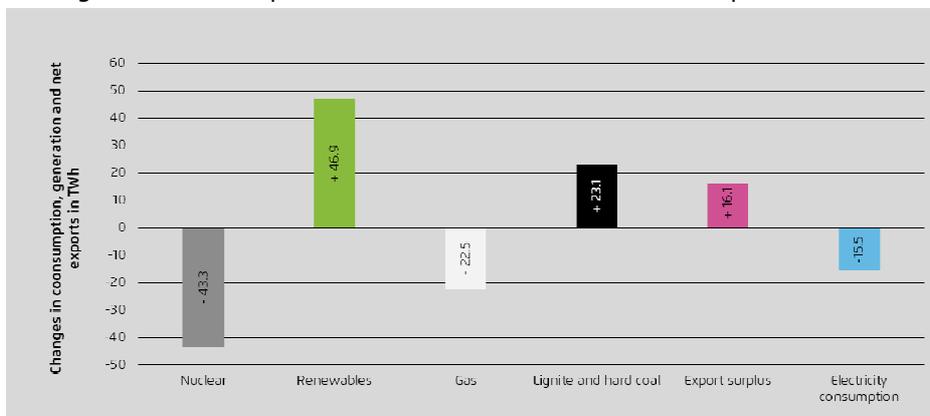


Source: UBA; propres estimations pour 2013



Depuis 2010, les renouvelables compensent la baisse du nucléaire, mais le gaz est remplacé par le charbon, en Allemagne ainsi qu'à l'étranger...

Changement dans la production et la consommation électrique 2010-2013

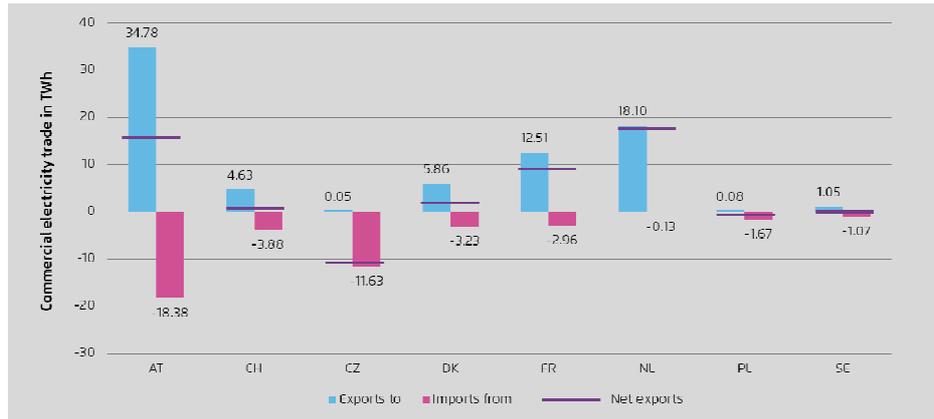


Source : AGE B (2014)



...en particulier aux Pays-Bas et en Autriche.

Echanges commerciaux d'électricité en 2013

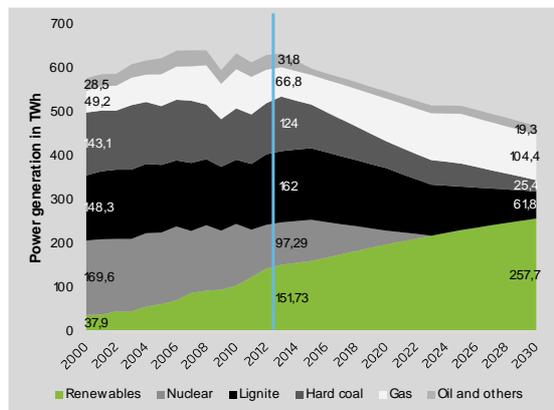


ENTSO-E (2014), calculs d'Agora Energiewende



**Malgré un recours accru à court terme,
le charbon n'a pas de future à long terme.**

Prévision d'évolution du mix électrique allemand



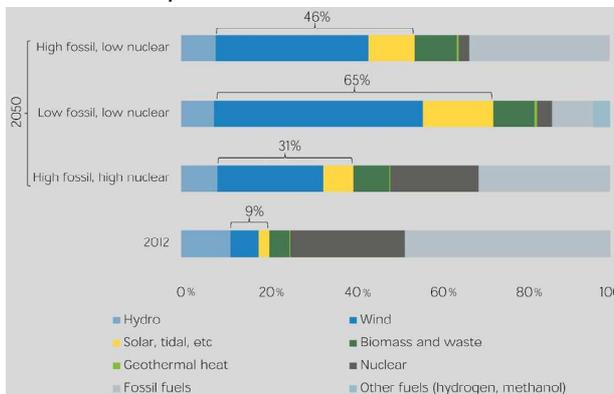
Source: AGEF 2014, Prognos/EWI/GWS 2011

- Plusieurs projets de centrales à charbon, débutés en 2007, viennent seulement d'être connectés au réseau.
- Les conditions économiques actuelles sont favorables aux centrales à charbon existantes, mais défavorables à tous nouveaux investissements.
- Une politique davantage volontariste pour adresser la question du charbon est néanmoins souhaitable.

Intégration européenne

La tendance allemande n'est pas une exception européenne

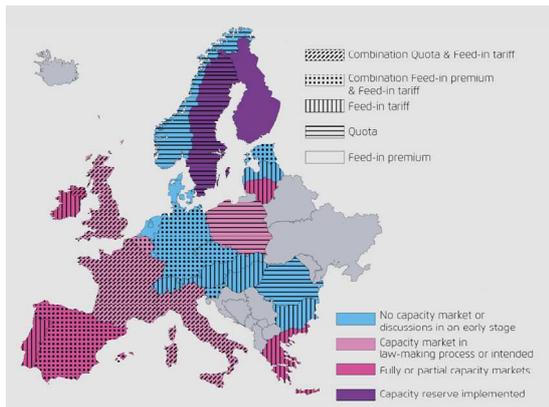
Part des diverses sources d'énergie (%) dans la production électrique de l'UE en 2012 et prévisions 2050.



Source: Feuille de route 2050 de la Commission européenne (2011), Eurostat (2014)

- Les ENR jouent un rôle significatifs en 2050 dans tous les scénarios de mix européen de la Commission.
- L'éolien et le photovoltaïque devraient contribuer à hauteur de 31 à 65% de la production électrique.
- La situation allemande actuelle est un aperçu de ce qui va se produire à moyen terme dans de nombreux autres Etats membres.
- L'enjeu de flexibilisation du système électrique devient un défi européen.

Les instruments de politique énergétique nationaux sont aujourd'hui très fragmentés



Source: Own illustration based on Eurelectric (2012), Öko-Institut (2012), Fraunhofer ISI et al. (2012)

- Des mécanismes de soutien (ENR, rémunération de capacité) non-coordonnés sont coûteux et peuvent conduire à des distorsions.
- Une approche coordonnée, notamment en matière de sécurité d'approvisionnement, serait plus efficace sur le plan économique.
- Une réponse européenne intégrée risque néanmoins d'être lente.
- Des initiatives régionales, notamment au niveau du Forum Pantalatéral, peuvent être une réponse davantage rapide et pragmatique.

Conclusions et messages clés

Messages clés (I)

- Débutée dans les années 1990, la transition énergétique allemande est un processus de transformation sociétal et industriel complexe et de long terme (avec des objectifs de moyen terme clairement définis).
 - Le « pari technologique allemand » : le photovoltaïque et l'éolien sont les piliers de cette transformation. Ceci implique un changement de paradigme vers une flexibilisation du système électrique.
 - Les défis de cette transformation sont nombreux, mais certains – comme la question du coût de production des énergies renouvelables – sont sur le point d'être résolus.
 - Une réforme des marchés de l'électricité est nécessaire, afin d'assurer les investissements dans des moyens de production flexibles et à bas carbone. Le marché allemand est aujourd'hui surcapacitaire, si bien que cette réforme peut se permettre de prendre du temps.
-

Messages clés (II)

- La transition énergétique allemande n'est pas une exception en Europe, mais son rythme et son ampleur sont uniques.
 - Le rythme de la transition énergétique allemande peut conduire à des répercussions sur les pays voisins. Ces effets sont résolus par la voie bilatérale (p.ex. déphaseurs sur la frontière DE-PL).
 - Davantage d'intégration européenne et de coopération régionale (soutien des ENR et sécurité d'approvisionnement) apportent des bénéfices globaux.
 - L'atteinte des objectifs de décarbonisation à moyen et long terme nécessitera un nouveau consensus sur la question du charbon.
 - La transition énergétique bénéficie d'un soutien élevé au sein de la population allemande. Elle conduira néanmoins, de par sa nature même, à créer des "vainqueurs et des perdants".
-

M. Etienne Beeker, département développement durable, France Stratégie

« Energiewende » : le cavalier seul ?

Etienne BEEKER – France Stratégie
Audition à l'OPECST – 25 septembre 2014

Origines de l'Energiewende

- Suite à Fukushima. Fait suite à une première fausse-sortie du nucléaire
- Une volonté de mettre un place un nouveau modèle énergétique révolutionnaire décentralisé basé sur les ENR
- Un modèle qui se veut universel
- Portée avec enthousiasme par la population
- Focalisée sur l'électricité
- Une décision souveraine et unilatérale

- Concomitance avec la mise en service du Northstream
- Un double pari :
 - technique (sur des technologies non matures : stockage et CCS)
 - d'acceptabilité dans la durée

Le premier défi est technique et par ricochet institutionnel

Germany, monthly balance GWh (negative = exports)

Source : Manicore, ENTSOE

● Transformateurs
Déphaseurs

→ Volumes de transit

↻ Flux de transit (loop flows)

- Les flux de courant augmentent, y.c. sur les réseaux voisins
 - Révolution énergétique non « Kantienne »
- Besoins importants de renforcement du réseau
 - Limites de la décentralisation par les ENR « locales »
 - Des Länder gagnants et des Länder perdants
- Le marché européen est en crise : risques de black-out

© Etienne BEEKER

Etienne BEEKER - Audition à l'OPECST – 25 septembre 2014 3

Le deuxième défi est macroéconomique et financier

Couverture du Spiegel
September 04, 2013

- Le coût total sera extrêmement élevé (1000 Mds € ?) comparable à celui de la réunification
- Les prix du kWh ont explosé, et deviennent un enjeu politique majeur
- La compétitivité de l'industrie est menacée : débat sur une possible perte en PIB depuis 2011
- Les emplois dans les nouveaux secteurs ne s'avèrent pas tous pérennes (50.000 emplois perdus dans le PV en 2013)

© Etienne BEEKER

Etienne BEEKER - Audition à l'OPECST – 25 septembre 2014 4

Le troisième défi est climatique



Le charbon : une énergie chère au cœur des Allemands

Ernst Ferdinand OEHME, Paysage du Erzgebirge avec deux ouvriers de la mine, en prière, 1826. Musée du Louvre

- « On ne peut pas sortir à la fois du charbon et du nucléaire en même temps » (S.Gabriel, vice-chancelier)
- Le lignite : une énergie à la fois nationale et très bon marché
- La révolution des shale gas parvient en Europe via le charbon
- Le niveau de recours au gaz est lié à l'issue de la crise ukrainienne

Etienne BEEKER - Audition à l'OPECST – 25 septembre 2014

© Etienne BEEKER

5

Quelles évolutions à court terme ?

- « Le temps de la complexité est arrivé » (S.Gabriel)
- Dans l'urgence, la nouvelle loi EEG 2.0 fixe des corridors de développement au PV et à l'éolien terrestre (2,5 GW/an)
- Les buts de l'Energiewende ont tendance à se diluer
- L'adhésion de la population reste forte sauf si le prix de l'électricité doit encore augmenter sous l'effet :
 - des coûts inconnus de l'éolien-offshore
 - d'une autoconsommation incontrôlée (défi pour le réseau, assiette de l'EEG-U diminuée)
 - des coûts de réseau et d'équilibrage
- Une transition nécessitant des capacités financières particulièrement importantes

Etienne BEEKER - Audition à l'OPECST – 25 septembre 2014

© Etienne BEEKER

6

M. François Moisan, directeur exécutif Stratégie, recherche et international de l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME)



les objectifs de maîtrise des consommations et de production d'énergies renouvelables de la transition énergétique en France au regard de l'expérience allemande

François MOISAN
 Directeur exécutif Stratégie, Recherche, International
 Directeur Scientifique
 ADEME
 France



Objectifs globaux d'amélioration de l'efficacité énergétique

1. Consommation d'énergie finale (source Ministère fédéral économie et énergie)

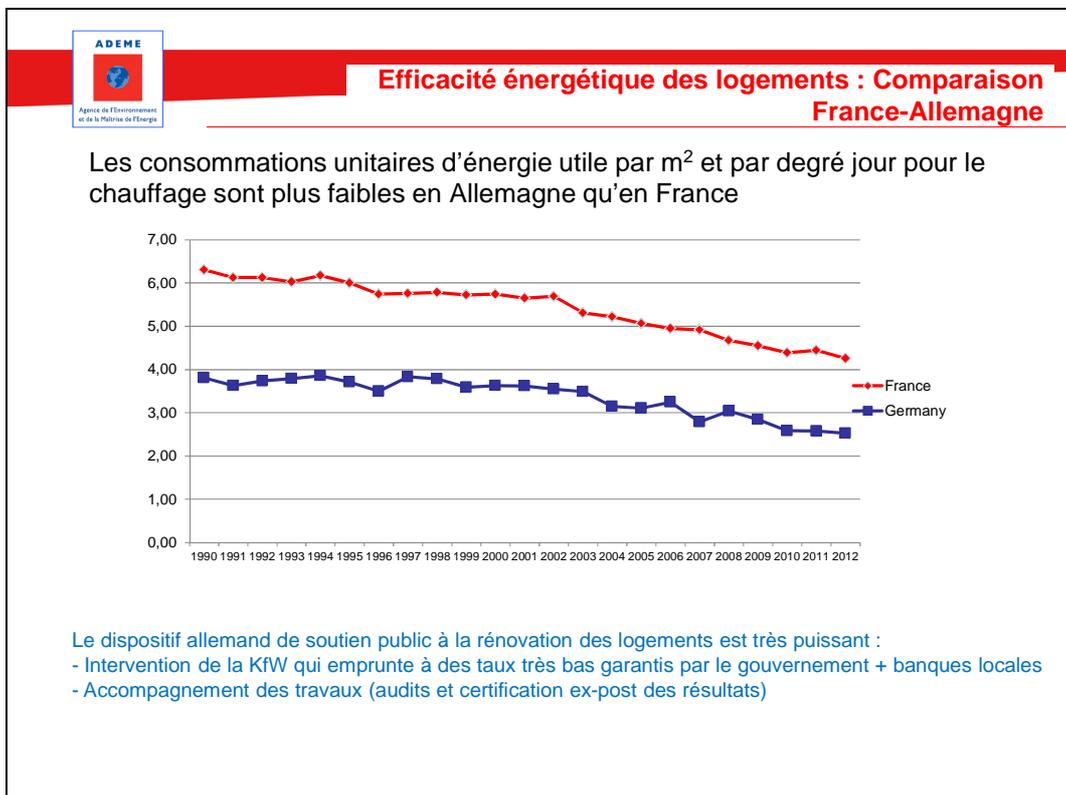
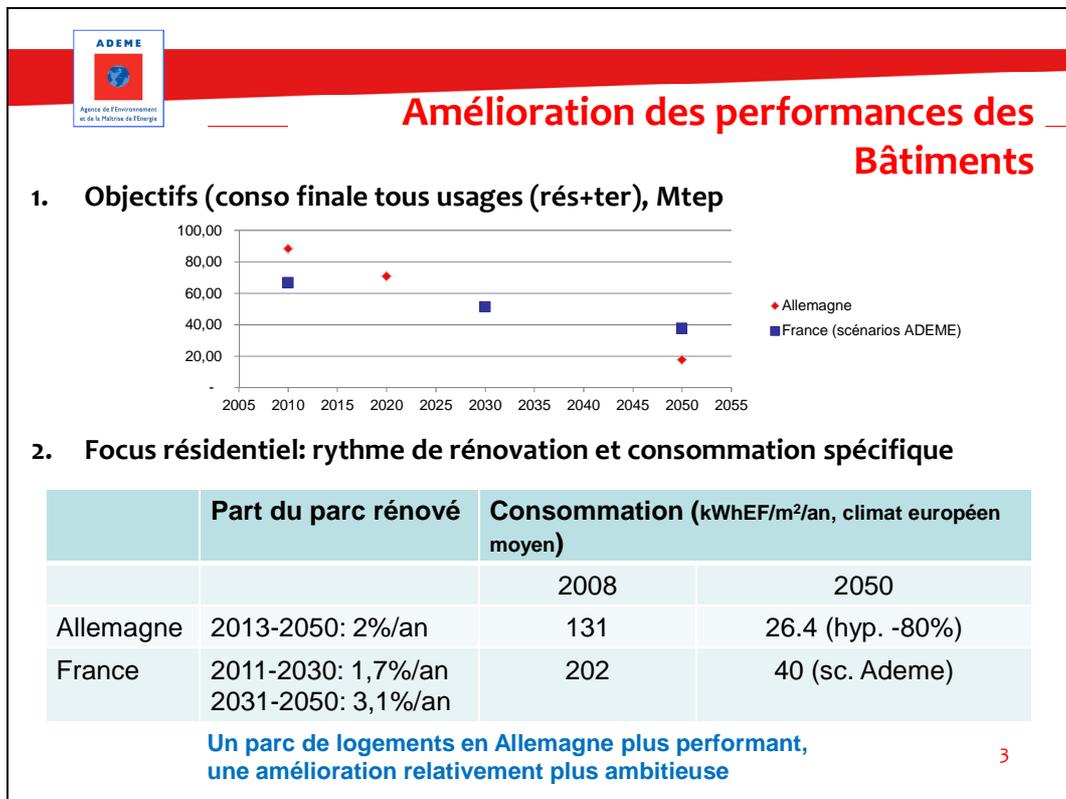
	Référence	2020	2030	2050
Allemagne (*)	2008	-20%		-50%
France	2012		-18% (**)	-50%

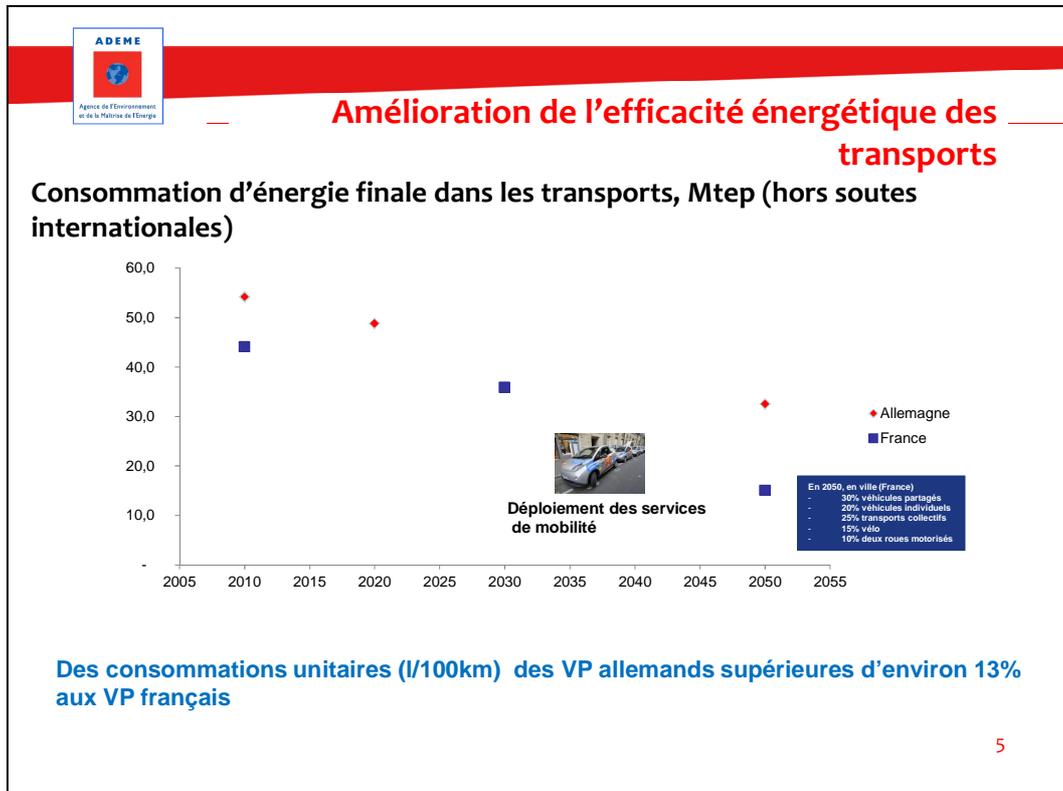
(*) énergie primaire,
 (**) scénario « Efficacité énergétique » ADEME

2. Intensité énergétique

Allemagne: -2,1%/an
 France: -2,5%/an d'ici 2030

Des objectifs très comparables de baisse des consommations d'énergie à 2050 ²





ADEME
Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie

Energies renouvelables

Part des EnR dans le mix énergétique final

	2012	2020	2030	2040	2050
Allemagne	12.4%		30%	45%	60%
France	13.4%	23%	32%**		> 55%*

Part des EnR dans le mix électrique

	2012	2020	2030	2040	2050
Allemagne	23,6%	>35%	>50%	>65%	>80%
France	17%***	23%	47%*		49%-79%*

Des objectifs beaucoup plus ambitieux pour les énergies renouvelables électriques en Allemagne

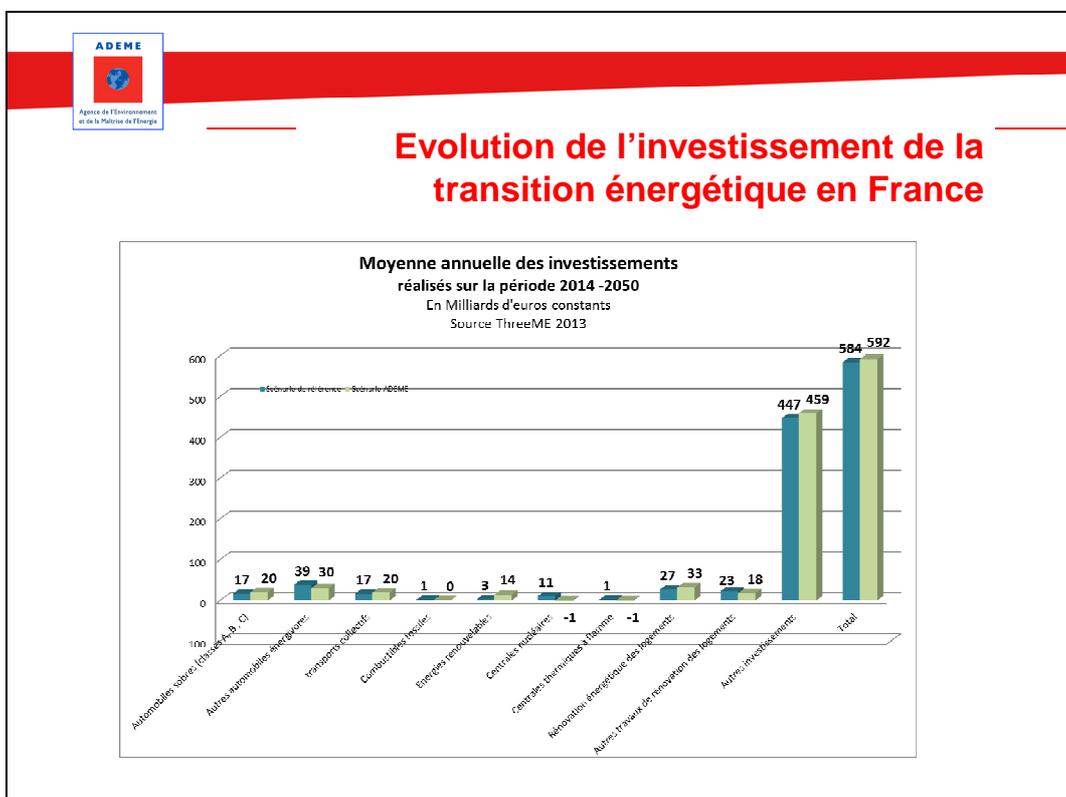
*(scenario Ademe) ** projet de loi *** 2010

6



Mix électrique en 2030 en France (énergies finales)

- Éolien : 7,2 Mtep : 34 GW terrestre (5,6 Mtep) + 12 GW en mer (3,2 Mtep)
- PV : 2,9 Mtep (33 GW)
 - 8 à 10 GW décentralisé (20% du gisement disponible)
 - 23 à 25 GW centralisé (potentiel estimé à 115 GW dont 12 centrales au sol)
- Hydraulique : 38 TWh fil de l'eau : 3,4 Mtep + flexible (cf ci-dessous)
- Énergies marines : 0,4 Mtep (1,5 GW)
- Biomasse (bois, méthanisation, déchets) : 1,2 Mtep
- Nucléaire : 15,6 Mtep
- Réseau de gaz : 1,7 Mtep
- Moyens flexibles :
 - Stockage : 7 GW de STEP (5,4 en 2011)
 - Effacement : 3 GW (hypothèse RTE pour 2016)
 - Interconnexions : 21 GW (RTE)



Mme Emmanuelle Carpentier, directeur des affaires publiques et des affaires réglementaires d'E.ON France

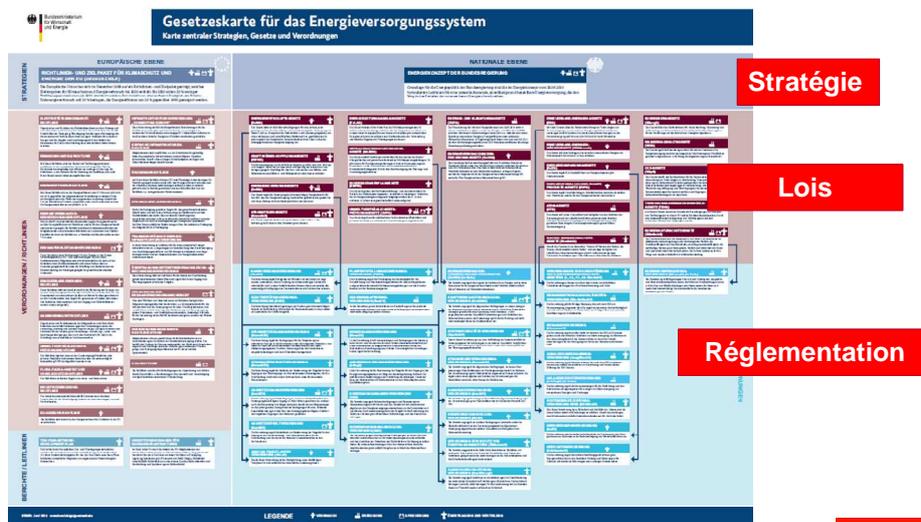
OPECST : « Le tournant énergétique allemand : quels enseignements pour la transition énergétique »

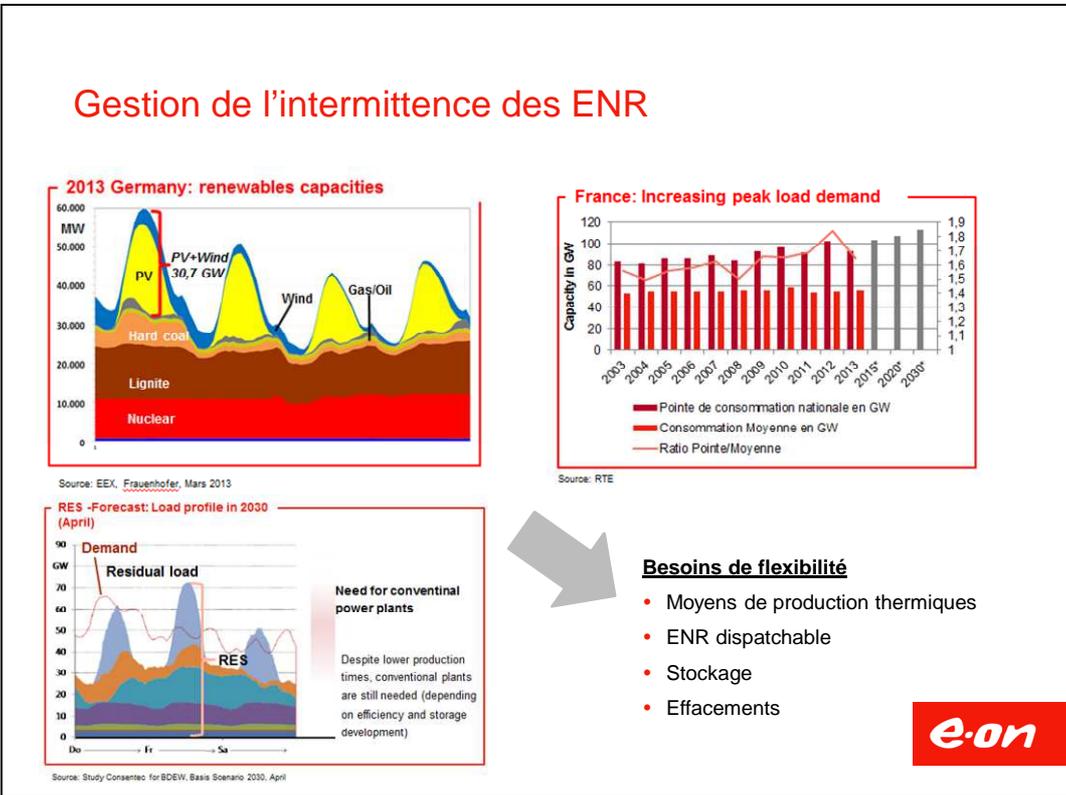
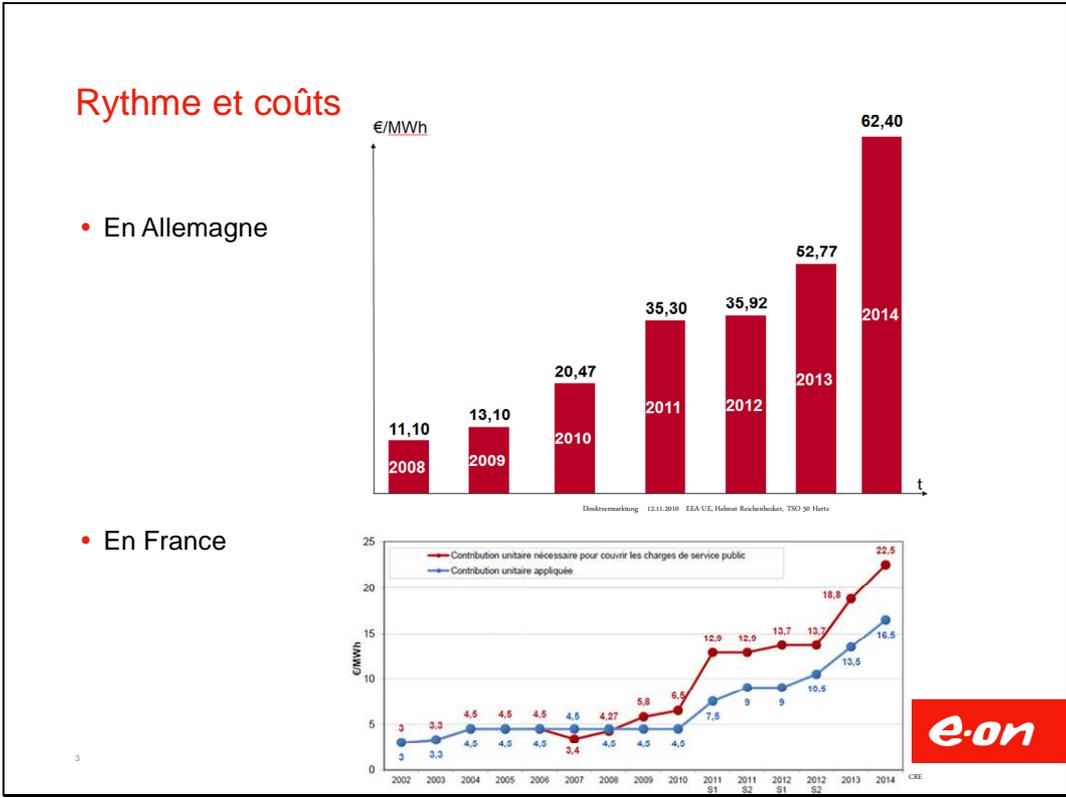
Luc Poyer, président du Directoire, E.ON France

25 septembre 2014



Lost in Transition ?





Retour des marchés

Au niveau politique

- Gestion des réseaux
Sécurité d'approvisionnement
- Ouverture des marchés
Fin des TRV
- Soutien au développement
des ENR

Marché de l'énergie
(MWh)

Marché de capacités
(MW)

Marché carbone
(t CO2)

Réforme du dispositif de soutien aux ENR

Tarifs
d'achat

➔

Marché de
l'énergie

+

Prime
complémentaire
MW, dégressive

+

Marché de
capacités

+

Marché
flexibilité ?

5

M. Jacques Percebois, professeur à l'Université de Montpellier 1

OPECST

Le tournant énergétique allemand: quels enseignements pour la transition énergétique française?

Table-Ronde n°2: les enseignements

« L'expérience allemande: deux idées, l'une à conserver, l'autre à rejeter »

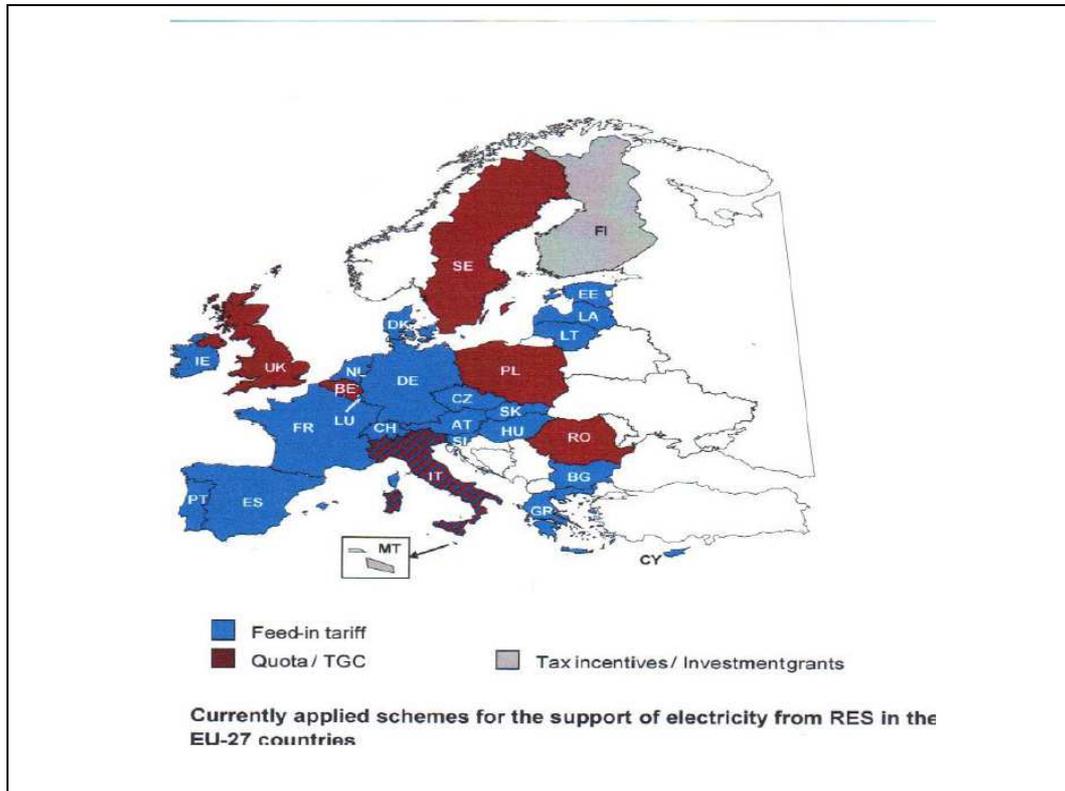
Jacques PERCEBOIS

Professeur à l'université de Montpellier (CREDEN)

Paris, Palais du Luxembourg, 25 septembre 2014

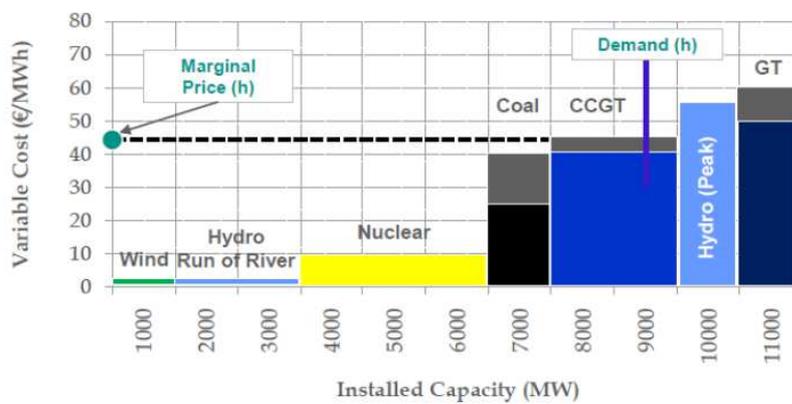
Idée n°1 à conserver

- Réformer le mécanisme de soutien aux énergies renouvelables intermittentes
- Plusieurs mécanismes sont disponibles:
 - FIT (feed-in tariffs)
 - FIP (feed-in premiums)
 - Contrats pour différences (CfD)
 - Certificats verts
 - Appels d'offres (enchères à prix-limite ou enchères discriminatoires)
- Le mécanisme qui domine en Europe est le FIT (prix garantis rémunérateurs) qui a conduit à des «effets pervers » sur le marché spot de l'électricité (apparition de « prix négatifs »)
- **L'Allemagne a décidé qu'à compter d'août 2014 le système du FIP serait privilégié: bonne idée à suivre! Obliger les producteurs d'électricité renouvelable à consommer une partie de leur électricité, à en stocker une partie (« power to gas ») et à vendre le solde sur le marché spot (quitte à leur donner une aide complémentaire sous forme d'une prime par MW installé ou par MWh injecté).**



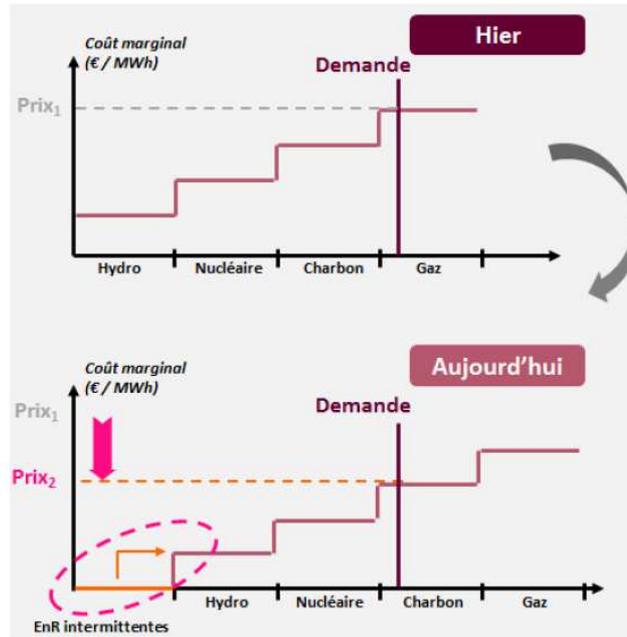
La formation des prix de gros de l'électricité (marché)

- A chaque instant, le prix correspond au coût marginal de fonctionnement de la centrale marginale – hors période d'extrême pointe (« coût de défaillance »)
- A l'équilibre, en moyenne sur l'année, le prix couvre le coût complet des moyens de production.

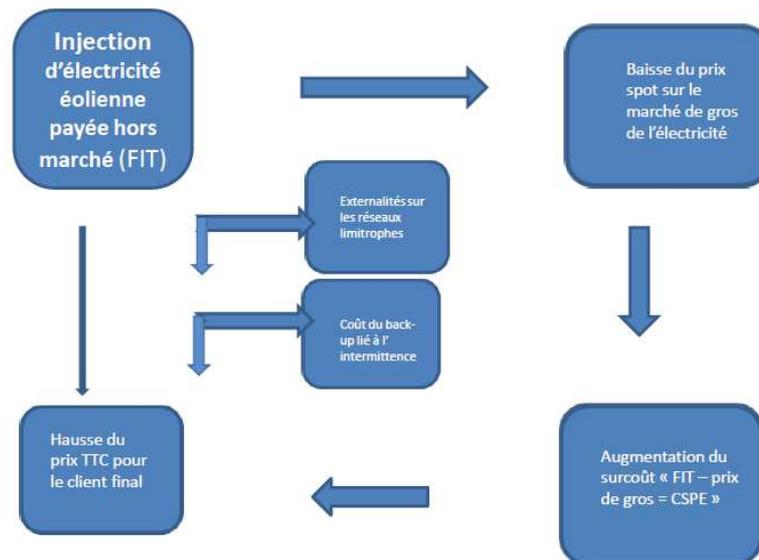


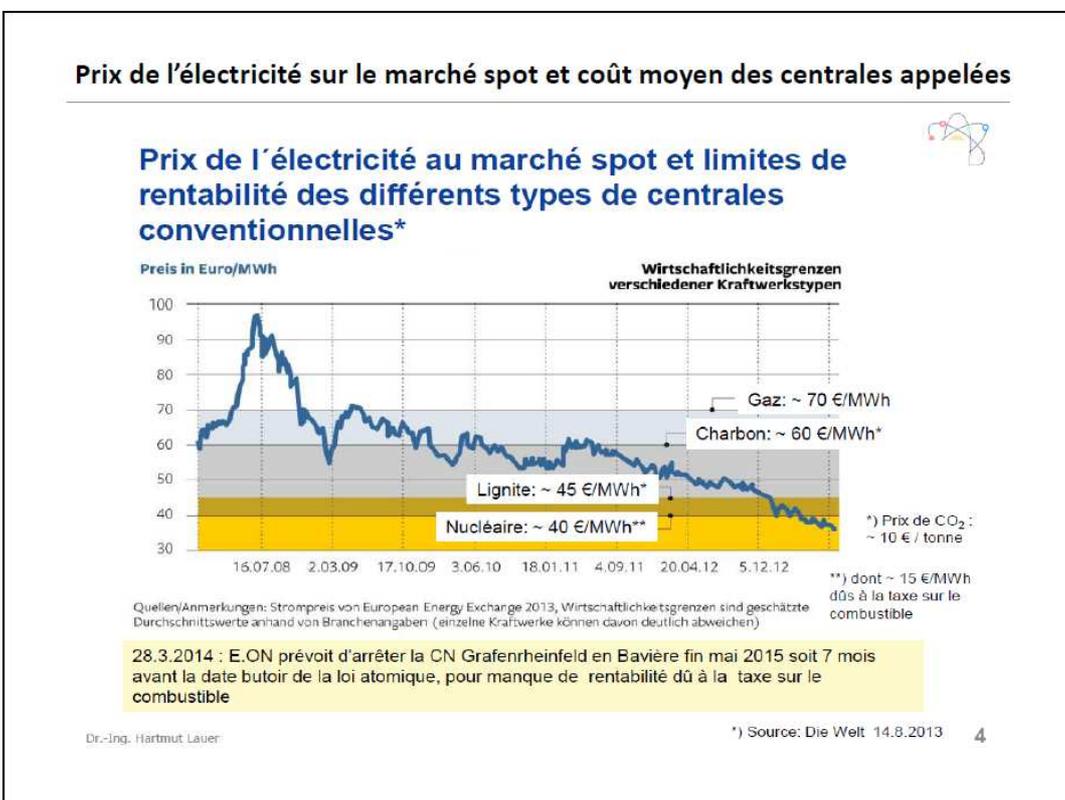
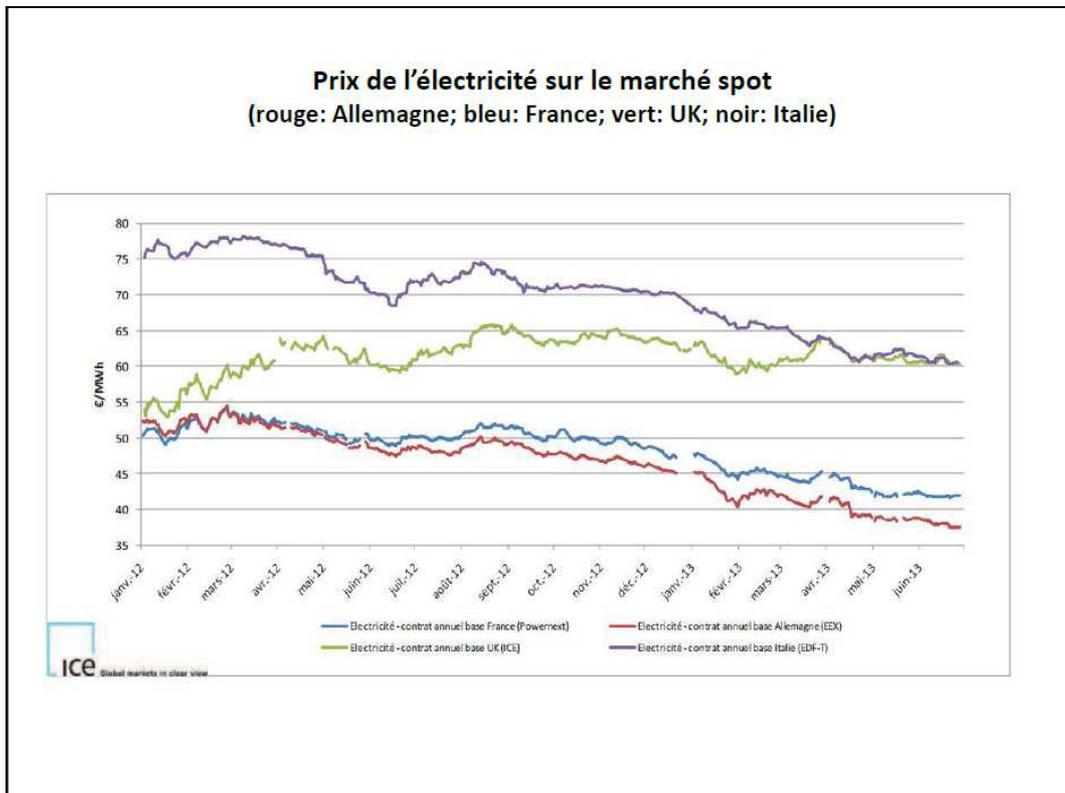
Source: CEEME, GDF Suez

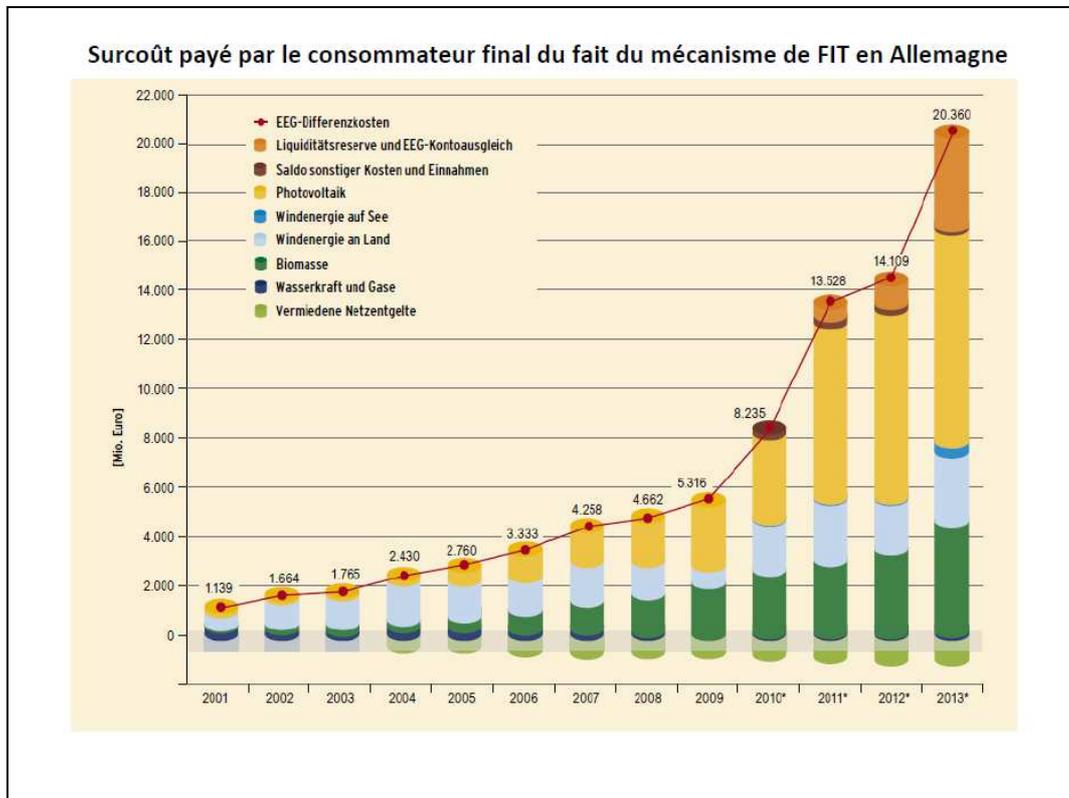
Translation de la courbe de « merit order » du fait de l'injection d'une électricité payée hors marché



Les effets pervers des énergies renouvelables: baisse du prix spot sur le marché de gros et hausse du prix TTC payé par le consommateur final du fait de la hausse de la CSPE
Le producteur d'électricité éolienne n'est pas sensible au signal-prix du marché (source J Percebois CREDEN)

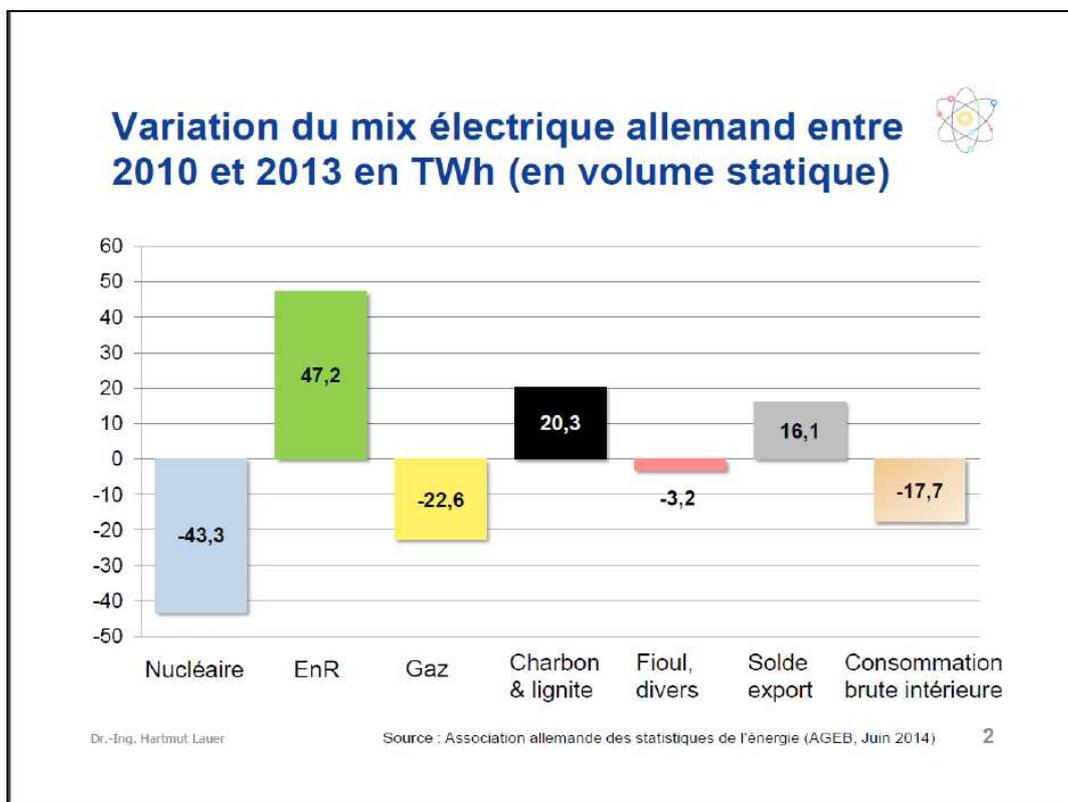






Idée n°2 à rejeter

- Sortir totalement du nucléaire alors que le coût du kWh nucléaire demeure compétitif (bien qu'orienté à la hausse du fait des « coûts de jouvence »; cf Rapport de la Cour des Comptes)
- En contrepartie recours à des centrales à charbon polluantes (dans un contexte où l'on ferme les centrales à gaz: « le gaz de schiste américain bon marché chasse le charbon du secteur de la production d'électricité aux Etats-Unis et le charbon américain importé chasse le gaz du secteur de la production d'électricité en Europe »)
- Le contexte mondial n'est pas à l'abandon du nucléaire
- En abandonnant le nucléaire de 2^{ème} et de 3^{ème} générations on se prive des perspectives prometteuses des réacteurs de 4^{ème} génération



Evolution du nombre de réacteurs en construction dans le monde

(nouveaux projets, surtout en Asie mais aussi en Europe cf le Royaume-Uni)
source World Nuclear-industry Status Report 2013

1979	1985	1990	1995	2000	2005	2013
186	110	49	27	26	25	72
						Among them 28 in China 9 in Russia 7 in India 5 in Korea 3 in the US 1 in France 1 in Finland
						New Projects (2 EPR in the UK)

Préserver des compétences dans le domaine des réacteurs du futur (Gen IV): enjeux industriels forts

- Projet ASTRID: l'intérêt c'est le multi-recyclage du plutonium mais aussi de tester la transmutation de certains actinides mineurs
- Tous les grands pays industriels sont présents dans ce domaine: USA, Chine, Inde, France, R.U, Russie, et même le Japon
- Nombreux accords de coopération entre le CEA (en partenariat avec EDF et Areva) et
 - La Russie
 - L'Inde
 - La Chine
 - Les USA
 - Le Japon

M. François Lévêque, professeur d'économie (Mines ParisTech)

Calendrier et pilotage de la durée de vie des centrales nucléaires

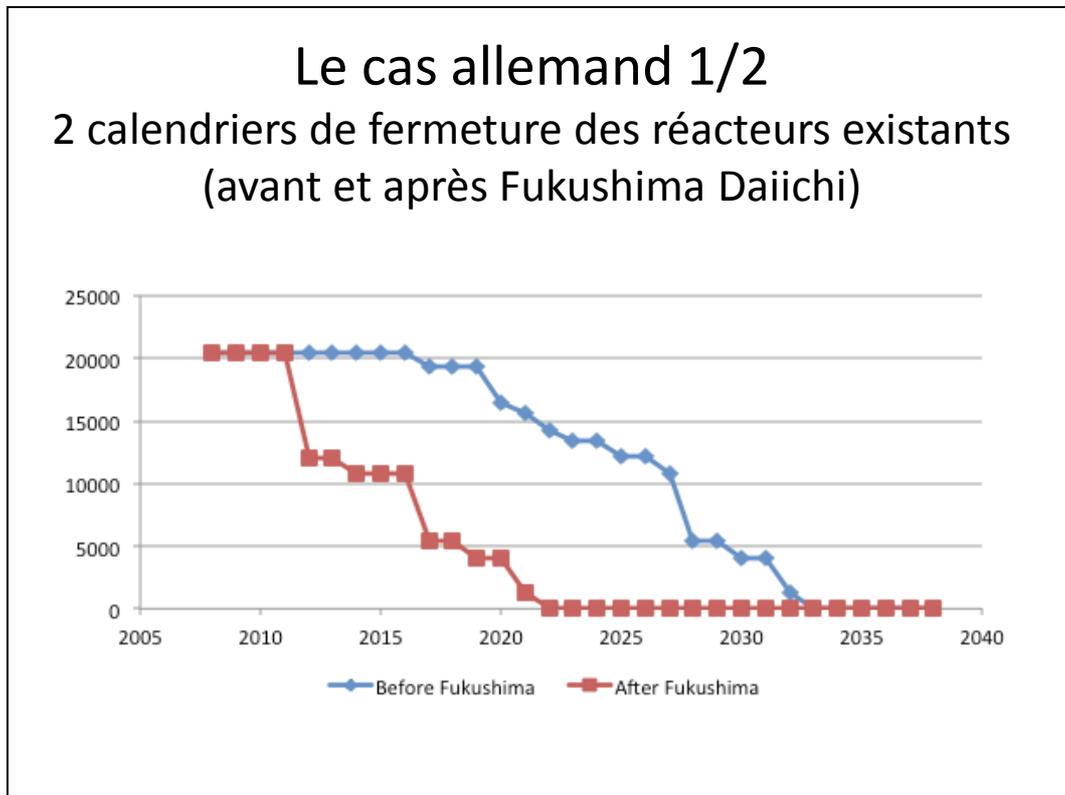
François Lévêque,
Professeur d'économie à Mines
ParisTech

Le tournant énergétique allemand :
quels enseignements pour la transition
énergétique française ?

OPECST, Sénat, 25 mars 2014

Les réacteurs nucléaires existants doivent nécessairement fermer un jour

- Quand ? Sur la base de quel ensemble de critères (sûreté, rentabilité, sécurité énergétique, etc.)
- Qui doit décider ?
 - Seulement l'autorité de sûreté et l'opérateur (cas des USA)
 - Avec intervention publique
 - Laisant une marge de liberté à l'opérateur (par exemple, dans le choix des réacteurs à fermer pour respecter des objectifs de politique publique (ex. : 50% 2025)
 - Fixant l'ensemble des conditions dans une loi (cas de l'Allemagne)



Le cas allemand 2/2

- Le coût microéconomique du calendrier accéléré par rapport au calendrier progressif est estimé entre 45 Mds € et 63 Mds € (Keppler, 2012)
 - 1804 TWh d'origine nucléaire en moins à remplacer par des TWh (ou des Négawh) plus chers
- Sans gains macro-économiques évidents en emplois et exportations (Lévêque, 2014)

Le cas français

- Soient deux objectifs de politique publique à respecter et mettre en œuvre
 - 50% en 2025 (Art. 1) et 63,2 MW (Art. 48)
- Comment atteindre ces deux objectifs au moindre coût pour la France ?
- Par un pilotage léger et souple pour mieux faire face aux incertitudes (demande, coûts, résultats des visites décennales) et car l'ASN et EDF disposent de meilleures informations sur la sûreté et la rentabilité
- En comparaison d'une planification par la loi qui fixerait un âge ou une date de fermeture des réacteurs

Enseignements pour la France

- Choisir un calendrier de fin de vie des réacteurs plus étalé dans le temps évite de perdre de l'argent
 - Fermer prématurément un réacteur sûr et rentable est un gaspillage pour l'économie
 - Par exemple 50% en 2025 est sans doute beaucoup plus coûteux pour la France que 50% en 2035
- Laisser une marge de manœuvre aux opérateurs pour choisir les meilleures façons d'atteindre les objectifs de politique publique