

La transition énergétique en Allemagne



asder
partageons l'énergie

Didier CHOMAZ

Partenaires financiers





Pourquoi en Allemagne?

- Une prise de conscience plus précoce des problèmes engendrés par la consommation d'énergie.
- Une volonté de préserver la nature
- Une opinion publique très majoritairement contre l'utilisation du nucléaire
- C'est le grand défi du 21^{ème} siècle



Organisation politique

Organisation politique issue de la Loi Fondamentale de 1949

Etat fédéral composé de 16 « Länder »

Président de la république (fonction honorifique)

Chancelier (véritable chef de l'Etat), élu par le Bundestag

Pouvoir législatif:

- Chambre basse des députés (Bundestag)

620 députés élus pour 4 ans

- Chambre haute des députés (Bundesrat)

69 députés désignés par les Länder

Pouvoir exécutif:

- ministres nommés par le chancelier sur le principe de la coalition des partis.



L'économie allemande

- 4^{ème} puissance économique mondiale
- 1^{er} puissance économique de l'union européenne
- Pays fortement industrialisé (industrie électro-intensive) et fortement exportateur de biens d'équipement. L'industrie représente 21 % de l'économie allemande. En France, c'est 12%.
- Agriculture: 17 % du territoire (27 % en France), grosses exploitations particulièrement en ex RDA mais 2,3 fois moins d'herbicide et 40 % d'engrais chimique en moins sont utilisés en comparaison de la France (chiffre 2010 Eurostat).
- Taux de croissance économique de 1,9% en 2016
- Excédent de l'Etat: + 20 Milliard d'€ en 2016

Les ressources énergétiques de l'Allemagne

Le charbon a été à la base du développement industriel de l'Allemagne au 19^{ème} siècle

A part le charbon (lignite et charbon de houille), l'Allemagne dispose de peu de ressources énergétiques fossiles dans son sol.

L'Allemagne doit importer actuellement près de 59 % de l'énergie qu'elle consomme.

Elle doit donc importer:

du pétrole:

- de Russie, du Royaume Uni et de la Norvège,

du gaz naturel:

- de Russie, de la Norvège et des Pays Bas.

Pour des raisons économiques, elle exploite très peu de charbon de houille et l'importe essentiellement de Russie, des Etats-Unis et de Colombie.



L'activité du charbon en Allemagne

- Selon le FÖS (Forum Ökologisch-Soziale Marktwirtschaft), 327 milliards d'aides publiques ont été engloutis par l'exploitation de la houille depuis 1970. On estime qu'en 2008, chaque emploi dans les mines de charbon était subventionné à hauteur de **80 376 €**.
- L'exploitation de la lignite est par contre compétitive avec un niveau d'aides publiques moindre.
- Fin 2014, le secteur du charbon n'emploie plus que **33 500 personnes** (exploitation minière et production d'électricité confondue) alors qu'il employait 752 000 personnes en 1957 (RDA et RFA confondus) et fournissaient 80 à 85 % de l'énergie du pays.
 - (voir livre de Vincent Boulanger « Transition énergétique, comment fait l'Allemagne » page 27 - 28)

La lignite

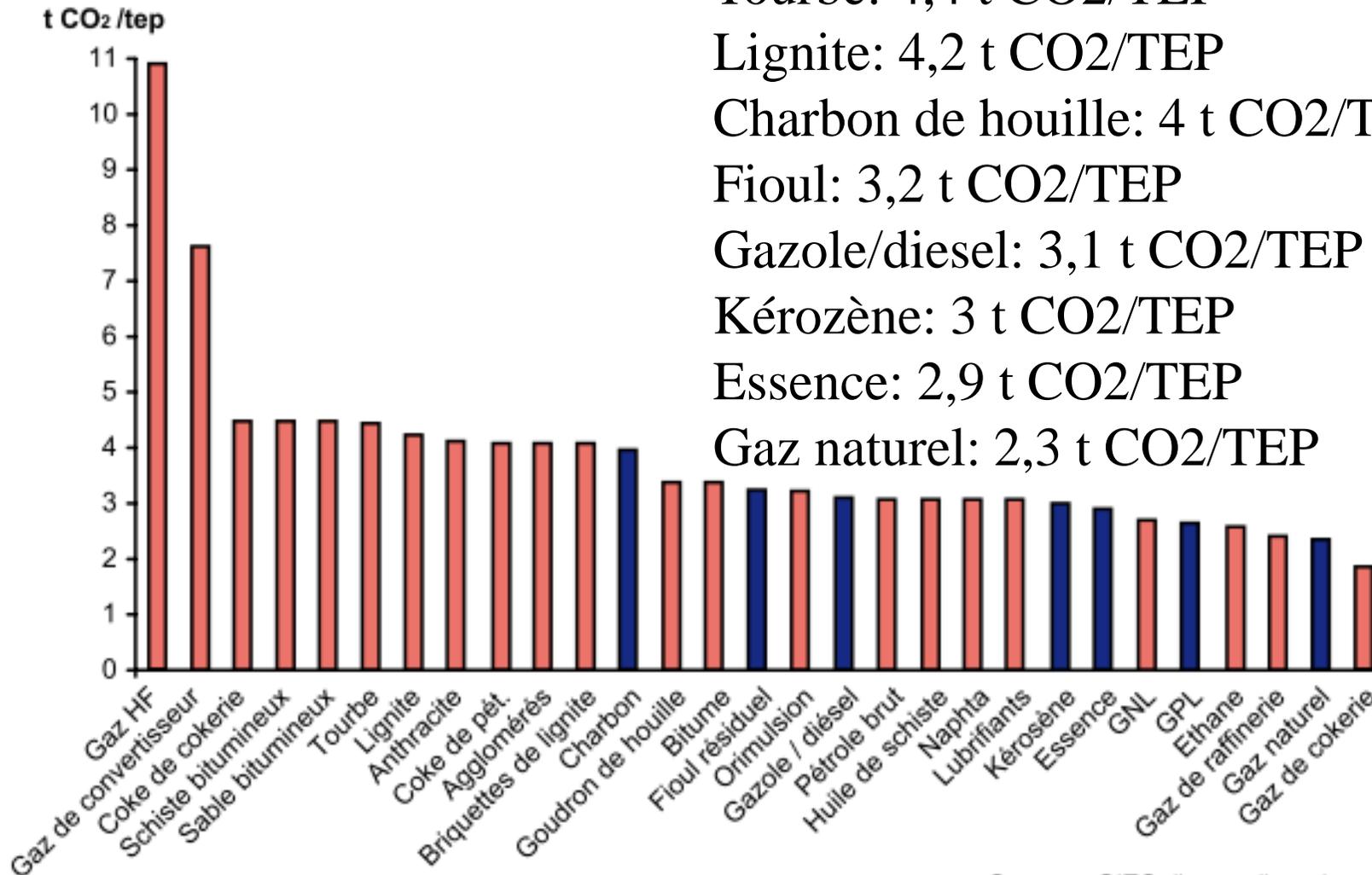
- La lignite est un combustible facile à exploiter (mines à ciel ouvert) mais dont la combustion est fortement émettrice de gaz à effet de serre



Mine à ciel ouvert de lignite dans l'ouest de l'Allemagne

C'est une roche d'origine organique qui résulte de la décomposition incomplète de débris végétaux. De couleur brune, son pouvoir calorifique est environ 3 fois inférieur au charbon de houille

Impact sur l'effet de serre des différents combustibles



Tourbe: 4,4 t CO₂/TEP

Lignite: 4,2 t CO₂/TEP

Charbon de houille: 4 t CO₂/TEP

Fioul: 3,2 t CO₂/TEP

Gazole/diesel: 3,1 t CO₂/TEP

Kérosène: 3 t CO₂/TEP

Essence: 2,9 t CO₂/TEP

Gaz naturel: 2,3 t CO₂/TEP

La situation énergétique de l'Allemagne en 1990

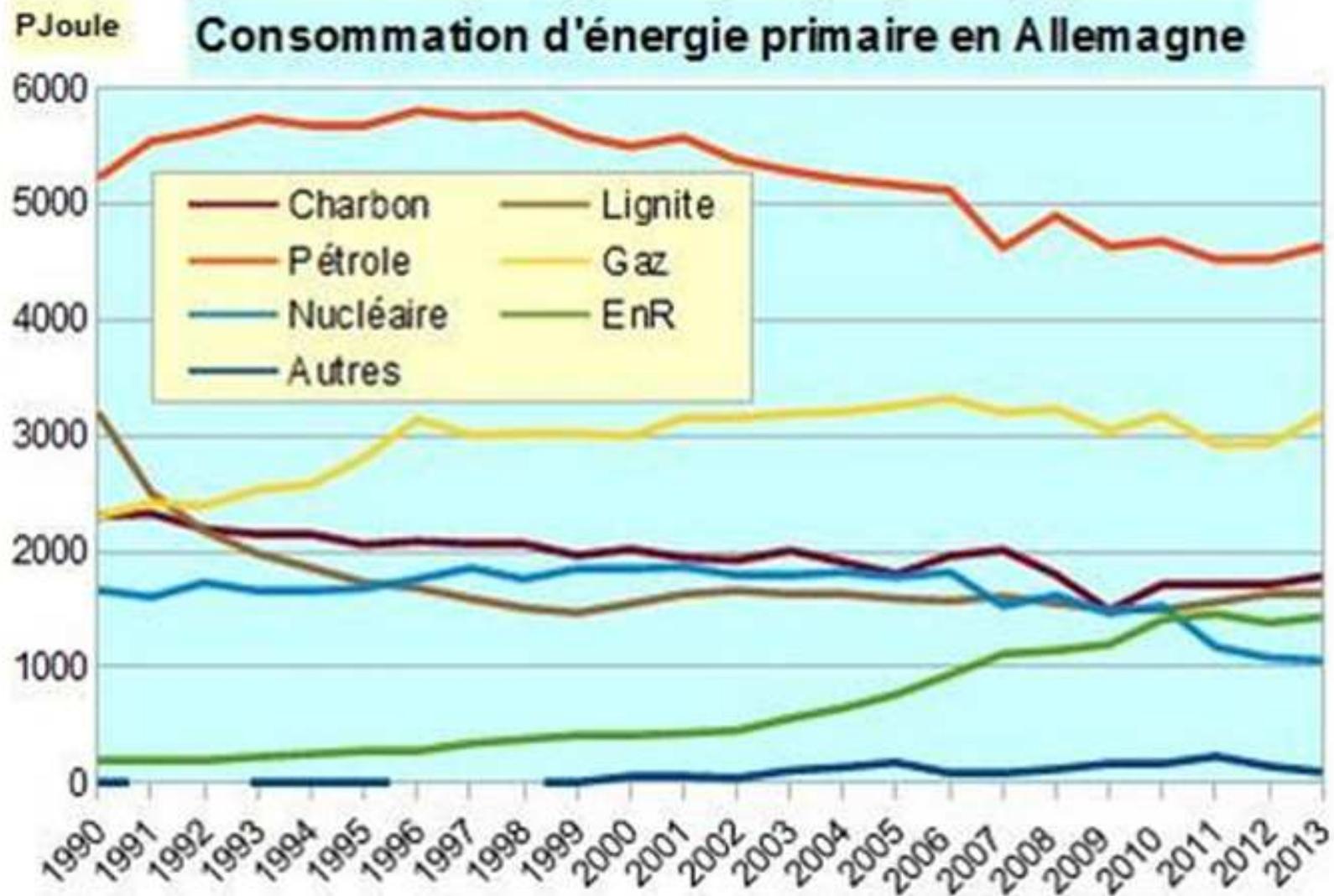
Le 3 Octobre 1990, c'est la réunification de l'Allemagne.

Le charbon est encore fortement utilisé non seulement pour la production d'électricité mais encore beaucoup pour le chauffage particulièrement dans l'ex RDA.



En 1990, l'Allemagne consommait plus de charbon (houille + lignite) que de pétrole
En ex Allemagne de l'Est, de la tourbe qui est un fort gaz émetteur d'effet de serre était encore utilisé pour le chauffage

Evolution de la consommation d'énergie primaire en Allemagne depuis 1990



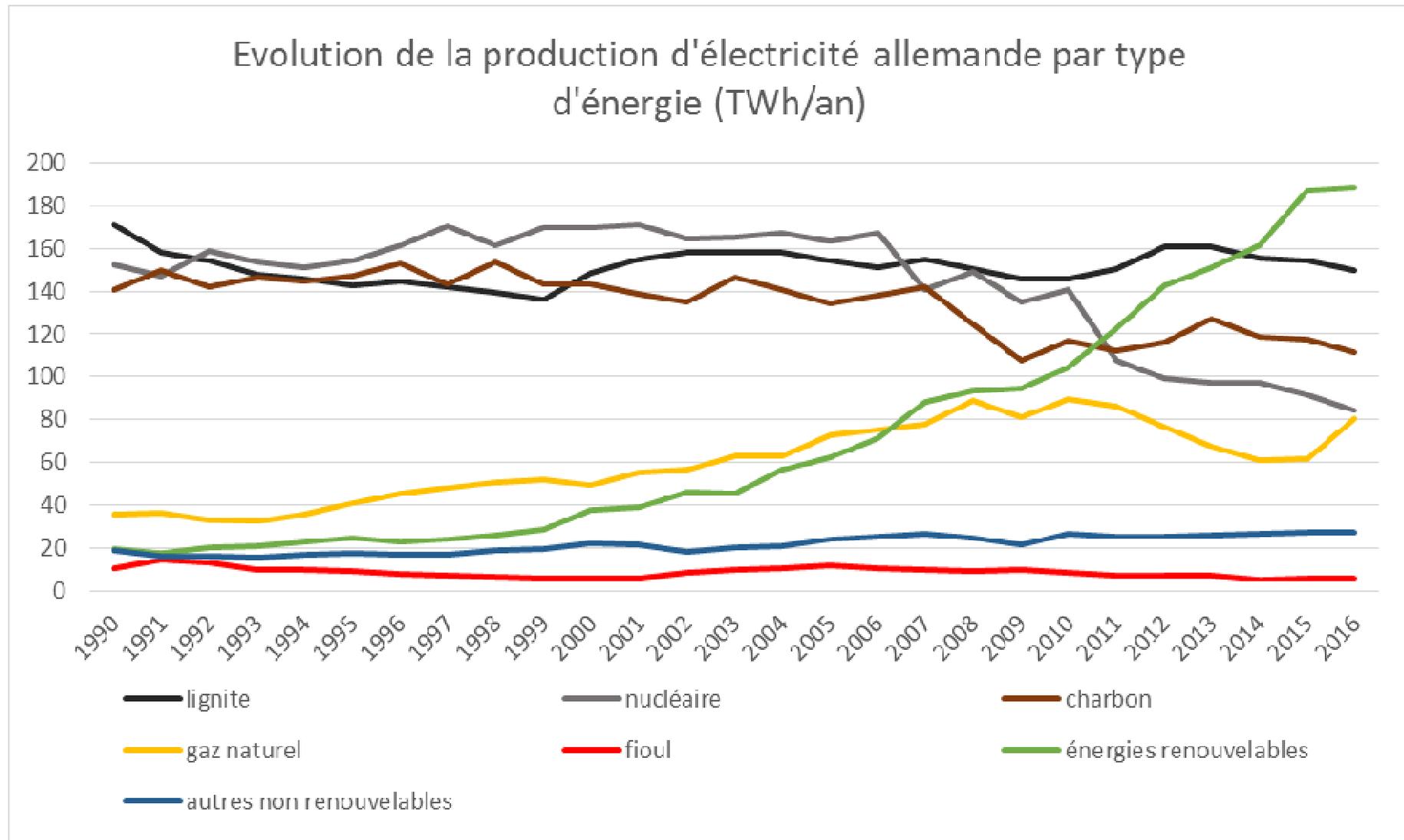
Source AGEBA



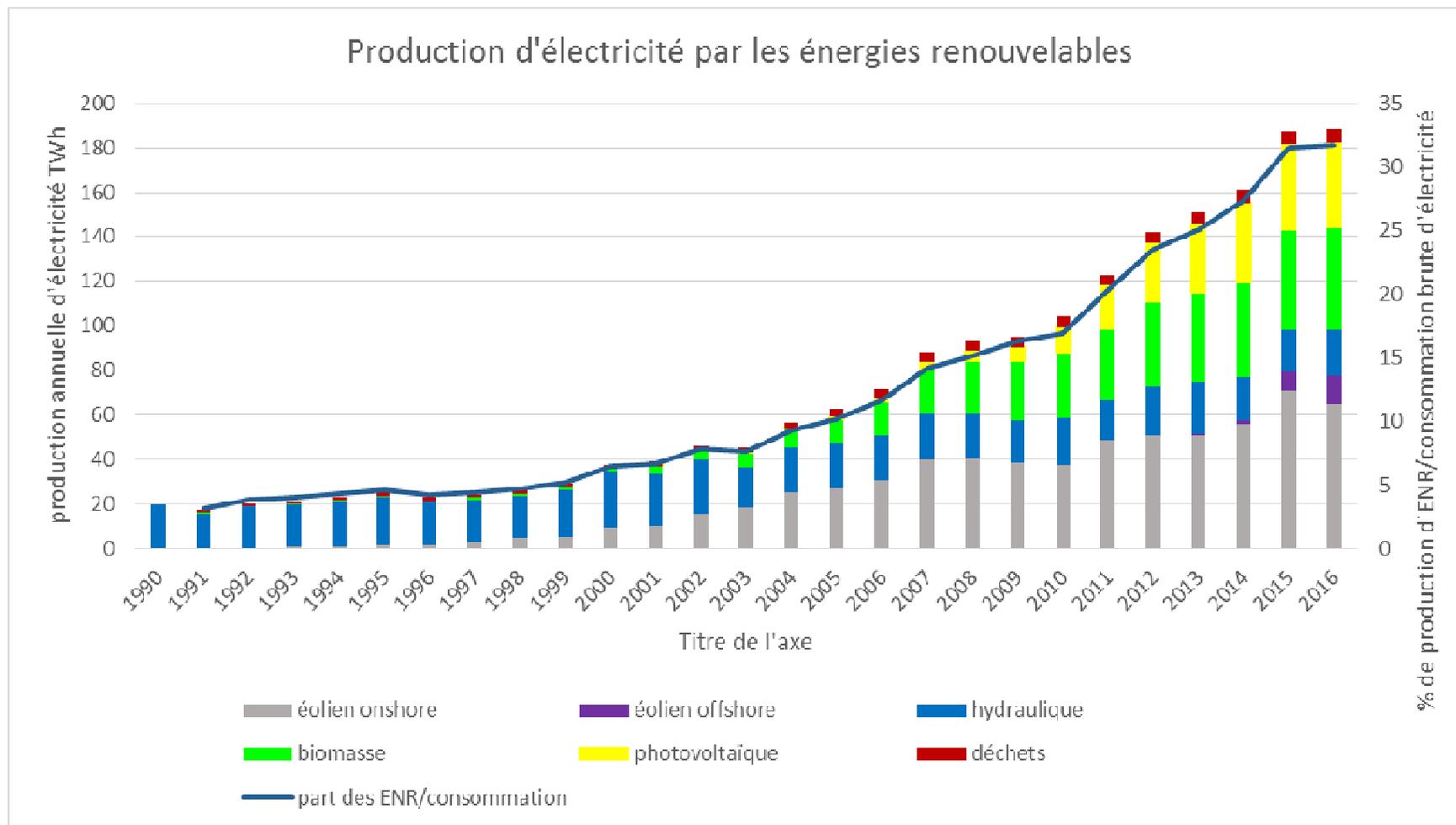
Bilan énergétique 1990-2015

- Diminution de la consommation de lignite dans les années 1990. Désindustrialisation de l'ex RDA
- Augmentation de la consommation de gaz naturel (années 1990). Développement du chauffage au gaz naturel dans l'habitat
- Augmentation de l'utilisation des énergies renouvelables pour l'électricité (à partir des années 2000). Effet des premières lois dites EEG (Erneuerbare Energie Gesetz) pour le développement des énergies renouvelables.
- Diminution de la consommation de pétrole (année 2000). Diminution de la consommation du chauffage des bâtiments. Utilisation des énergies renouvelables pour des besoins de chaleur. Granulés bois et solaire thermique.
- Diminution régulière de la consommation de charbon noir. Suppression des systèmes de chauffage au charbon

Production d'électricité en Allemagne depuis 1990



Les énergies renouvelables pour l'électricité



Qui investit dans les énergies renouvelables électriques en Allemagne?



- Les collectivités à travers les régions d'électricité, les coopératives de citoyens, les agriculteurs ont investi surtout dans les énergies renouvelables électriques.
- Les 4 gros producteurs d'électricité allemand (Vattenfall, Eon, EnWb, RWE) ont jusqu' à présent très peu investi dans les énergies renouvelables électriques.
 - Ces entreprises réorientent maintenant leur stratégie vers plus d'énergies renouvelables

Concessionnaires du réseau de transport et de distribution d'électricité en Allemagne. Sociétés filiales ou issus des 4 grands producteurs allemands d'électricité

Comment l'Allemagne a financé le développement des énergies renouvelables pour l'électricité

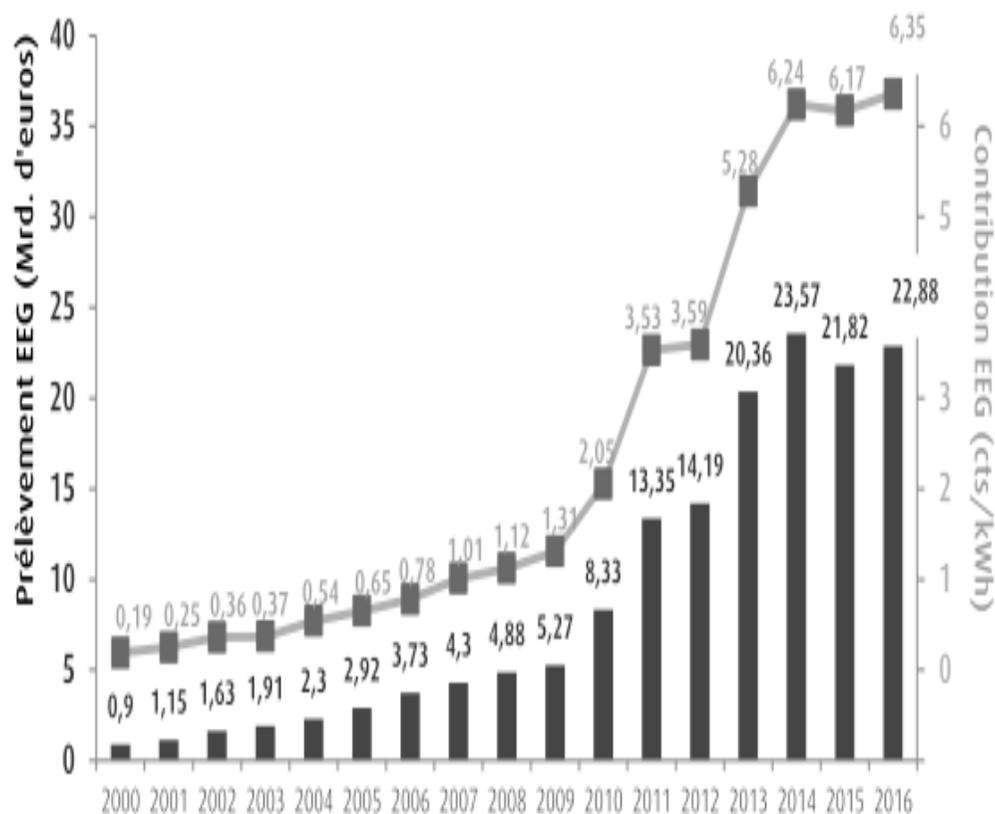


Figure 1 : Evolution du prélèvement et de la contribution EEG⁴

Source OFATE

- Prélèvement sur les consommateurs et les petites entreprises d'une taxe finançant des tarifs d'achat garantis pendant 20 ans de l'électricité issue des énergies renouvelables. C'est la contribution EEG « Erneuerbare Energie Gesetz » affectée à 100 % pour financer les tarifs d'achat de l'électricité issue des énergies renouvelables, l'équivalent de la CSPE en France

Contribution des différentes énergies renouvelables dans la contribution EEG

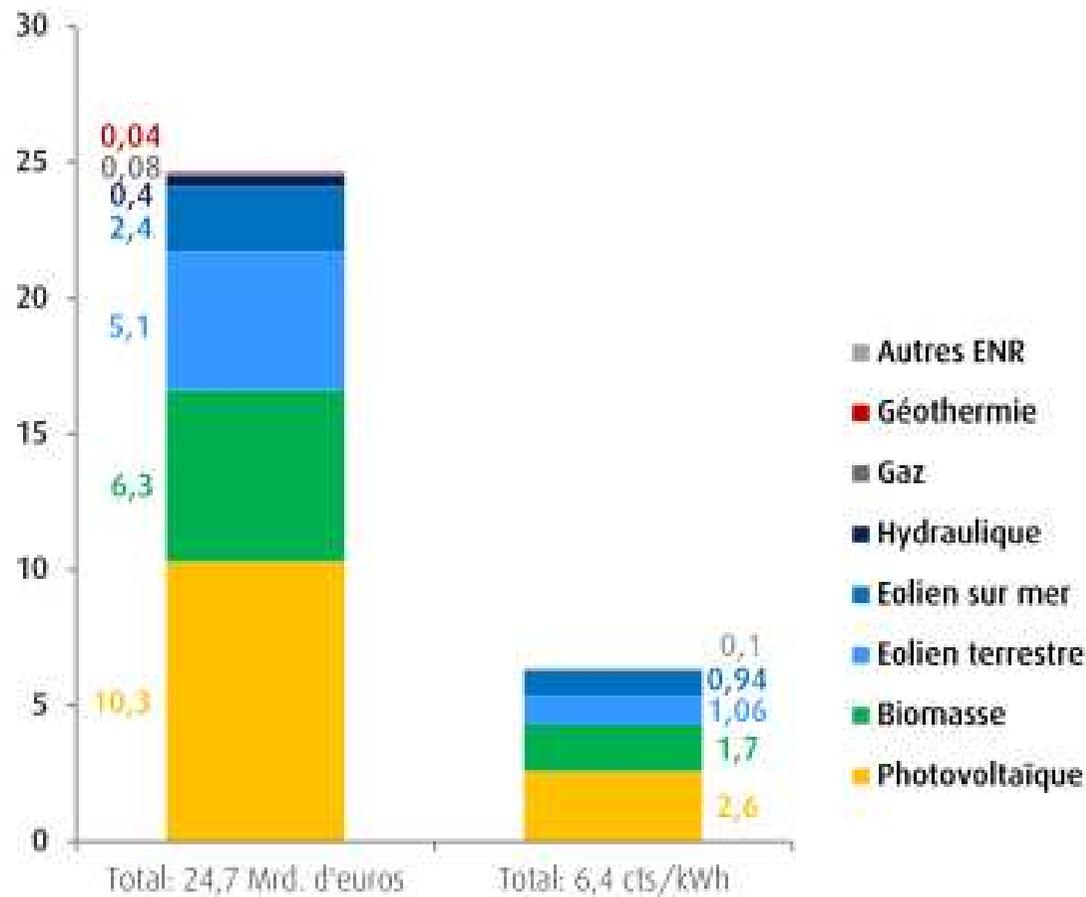


Figure 2 : Répartition du coût du mécanisme de soutien par technologie en 2016'

Source OFATE

asder

Le prix de l'électricité en Allemagne pour les ménages

Environ deux fois plus cher qu'en France

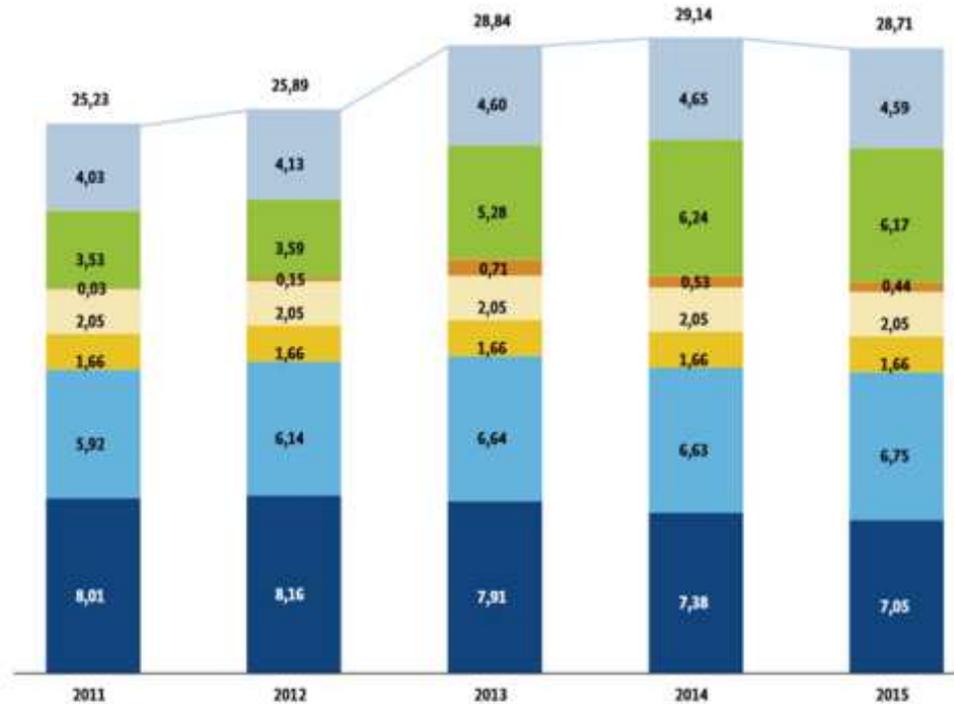


Figure 3 : Prix d'électricité moyen pour un foyer sur la base d'une consommation annuelle de 3 500 kWh (en cts/kWh)



Stabilisation du prix de l'électricité depuis 2013

Les énergies renouvelables contribuent à faire baisser le prix de gros de l'électricité qui compense l'augmentation de la taxe prélevée pour financer les énergies renouvelables. La taxe de prélèvement devrait plafonner à 7,5 cts d'€/kWh avant de baisser avec la sortie de l'obligation d'achat des contrats de plus de 20 ans.

Source: OFATE

asder

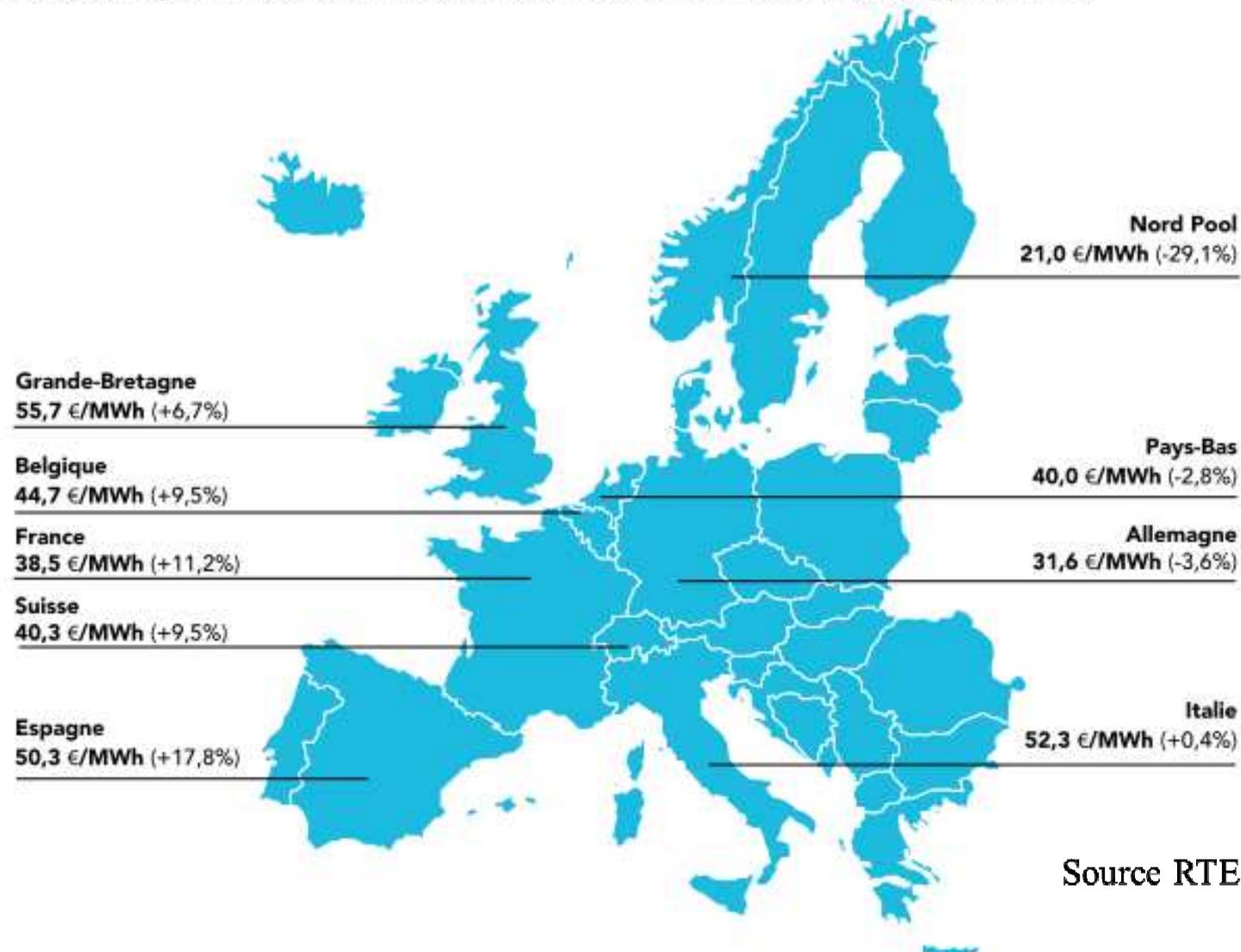
La consommation électrique moyenne des ménages en Allemagne

Comparatif avec la France

- Consommation moyenne d'électricité dans le résidentiel (chiffre 2009)
 - d'un français: 2 553 kWh
 - d'un allemand: 1 692 kWh
 - Un français consomme en moyenne 50 % d'électricité en plus (27 % sans tenir compte du chauffage électrique)
- Dans le tertiaire, consommation d'électricité supérieure de 36 % en France ramené au nombre d'habitants.
- Au final selon une étude de l'ADEME, la facture énergétique d'un ménage s'élève en moyenne à 720 € en France et à 840 € en Allemagne.
- La part de l'énergie (hors transport et carburant) dans le budget familial s'établit en moyenne à 4,2 % en France et à 4,8 % en Allemagne.

Le prix de gros de l'électricité en Europe

Prix spot moyens sur les bourses de l'électricité en 2015 et évolution par rapport à 2014



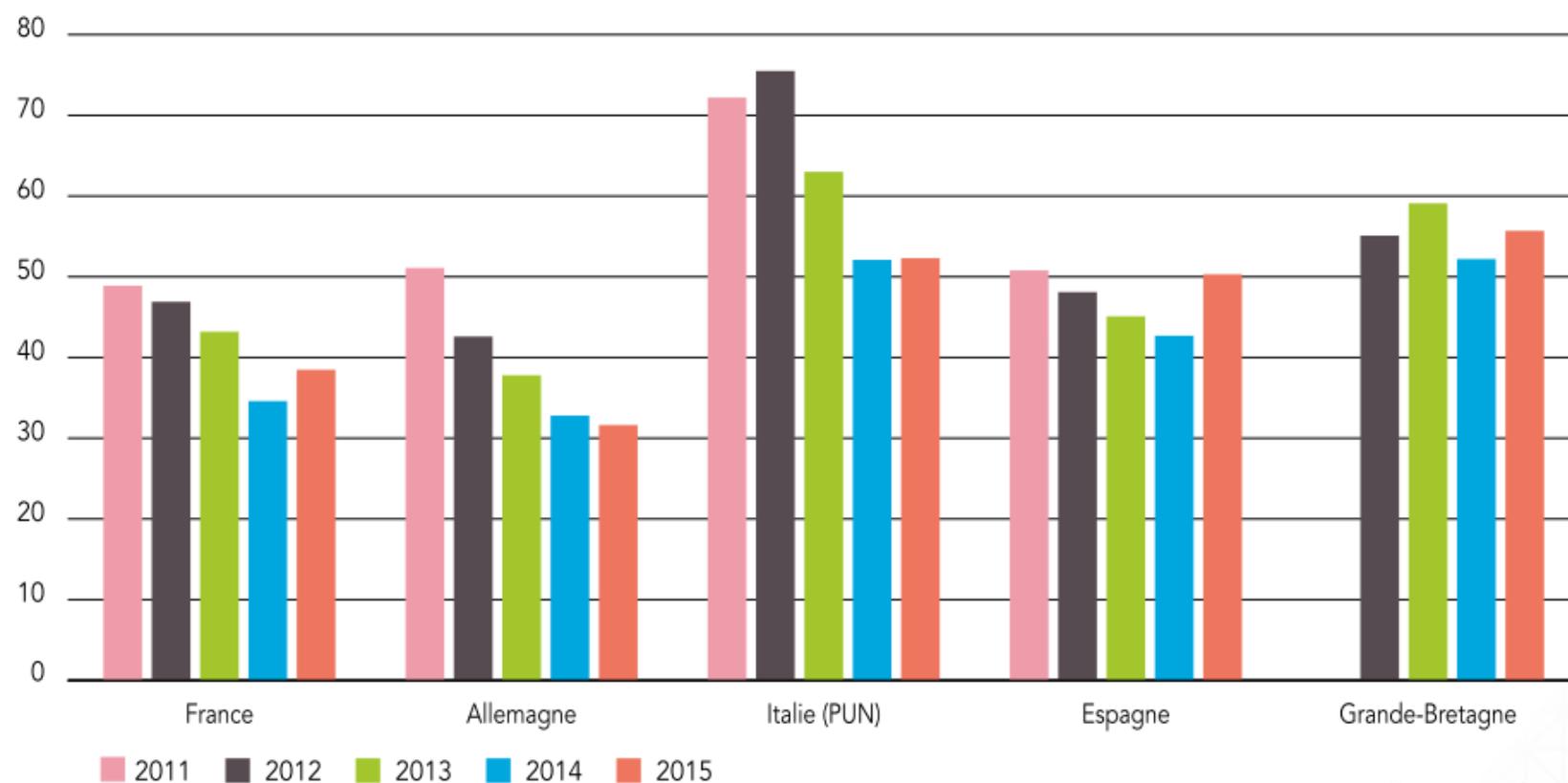
Source RTE

Sources : bourses européennes de l'électricité (pour Nord Pool : prix système ; pour l'Italie : Prezzo Unico Nazionale ou PUN)

Evolution du prix de gros de l'électricité en Europe

Evolution des prix spot des cinq dernières années

€/MWh



Source RTE

Le développement des énergies renouvelables électriques font baisser le prix de gros de l'électricité en Allemagne

asder

Le nucléaire en Allemagne



En gris, les réacteurs arrêtés
après l'accident de Fukushima

- Il n'y a plus de réacteurs nucléaires en fonctionnement en ex Allemagne de l'Est depuis la réunification. 6 réacteurs ont été mis à l'arrêt pour des raisons de sécurité en 1990.
- Les réacteurs nucléaires restant en fonctionnement sont situés dans le sud de l'Allemagne (Bavière, Bade-Wurtemberg) pour 4 d'entre eux et dans le nord ouest pour 3 d'entre eux.
- La centrale nucléaire de Grafenrheinfeld a été arrêtée en 2015.

Les allemands et le nucléaire

- Traumatisme de la bombe Hiroshima Nagasaki
- Scandale du stockage des déchets nucléaires dans les mines de sel de Gorleben
- Des mouvements anti-nucléaires très forts
- Le nuage de Tchernobyl ne s'est pas arrêté sur la frontière polonaise
- L'accident de Fukushima a été l'évènement de trop





La sortie du nucléaire

- En 2000, le gouvernement « Schröder » de l'époque avait voté une sortie progressive du nucléaire.
- Angela Merkel arrivant au pouvoir avait repoussé cette sortie du nucléaire à 2035
- 3 jours après l'accident de Fukushima, Angela Merkel annonce l'arrêt pour 3 mois des 7 réacteurs nucléaires les plus anciens sur les 17 en fonctionnement.
- Une sortie complète du nucléaire pour 2022 est votée à une large majorité par le parlement 3 mois plus tard.
- En 2010, la production électrique issue des centrales nucléaires étaient de **140,6 TWh**, elle est en 2016 de **84,6 TWh**.
- En 2010, la production électrique issue des énergies renouvelables étaient de **104,2 TWh**, elle est en 2016 de **188,3 TWh**.
- Les énergies renouvelables ont jusque là largement compensé le manque de production nucléaire.

Comment l'Allemagne a géré la fermeture de 7 réacteurs nucléaires en 2011

Fukushima

Source AGEb

production d'électricité en TWh	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
lignite	145,9	150,1	160,7	160,9	155,8	154,5	150
nucléaire	140,6	108	99,5	97,3	97,1	91,8	84,6
charbon noir	117	112,4	116,4	127,3	118,6	117,7	111,5
gaz naturel	89,3	86,1	76,4	67,5	61,1	62	80,5
fioul	8,7	7,2	7,6	7,2	5,7	6,2	5,9
énergies renouvelables	104,2	122,8	142,3	151,3	161,4	187,4	188,3
consommation électricité	614,8	605,9	605,5	603,9	591,1	595,1	594,6
exportation-importation d'électricité	17,7	6,3	23,1	33,8	35,6	51,8	53,7

En 2011: Diminution du bilan exportation – importation (de 17,6 à 6,3 TWh) et baisse de la consommation d'électricité (de 614,8 TWh à 605,9 TWh)

Entre 2010 et 2012: le manque de production d'électricité nucléaire (41,1 TWh) est à 93 % compensé par les énergies renouvelables (38,1 TWh).

L'augmentation de la consommation de charbon en 2012-2013 s'est faite au détriment du gaz naturel compte tenu de la baisse du cours du charbon et de la baisse de la taxe sur les permis de polluer (coût de la tonne de CO2 émise à 16 € au lieu de 30 €)



Comment l'Allemagne va gérer la sortie définitive du nucléaire pour 2022?

- Continuer mais d'une façon ralentie à la mise en place d'installations éoliennes sur terre, d'installations photovoltaïques et de biomasse majoritairement par procédure d'appel d'offre et donc avec une moindre contribution sur la EEG.
- Développer l'éolien en mer
- Adapter les réseaux. 3,5 Milliards d'€/an
- Diminuer la consommation d'électricité. Objectif de diminuer de 10 % la consommation d'électricité en 2020/2008
- Diminuer les exportations d'électricité si l'objectif de diminution de la consommation d'électricité n'est pas atteint

Electricité, les records de production et de consommation en Allemagne entre 1990 et 2016

TWh	1990	1991	1996	2001	2007	2008	2016
lignite	170,9	158,3	144,3	154,8	155,1	150,6	150
nucléaire	152,5	147,4	161,6	171,3	140,5	148,8	84,6
charbon	140,8	149,8	152,7	138,4	142	124,6	111,5
gaz naturel	35,9	36,3	45,6	55,5	78,1	89,1	80,5
fioul	10,8	14,8	8,1	6,1	10	9,7	5,9
énergies renouvelables	19,7	17,5	23	38,9	88,3	93,2	188,3
exportation-importation	-0,8	0,6	5,3	1,3	19,1	22,5	53,7
consommation brute d'électricité	550,7	539,6	547,4	585,1	621,5	618,2	594,7

La lignite, le charbon noir, le fioul ont eu leur pic de production dans les années 1990.

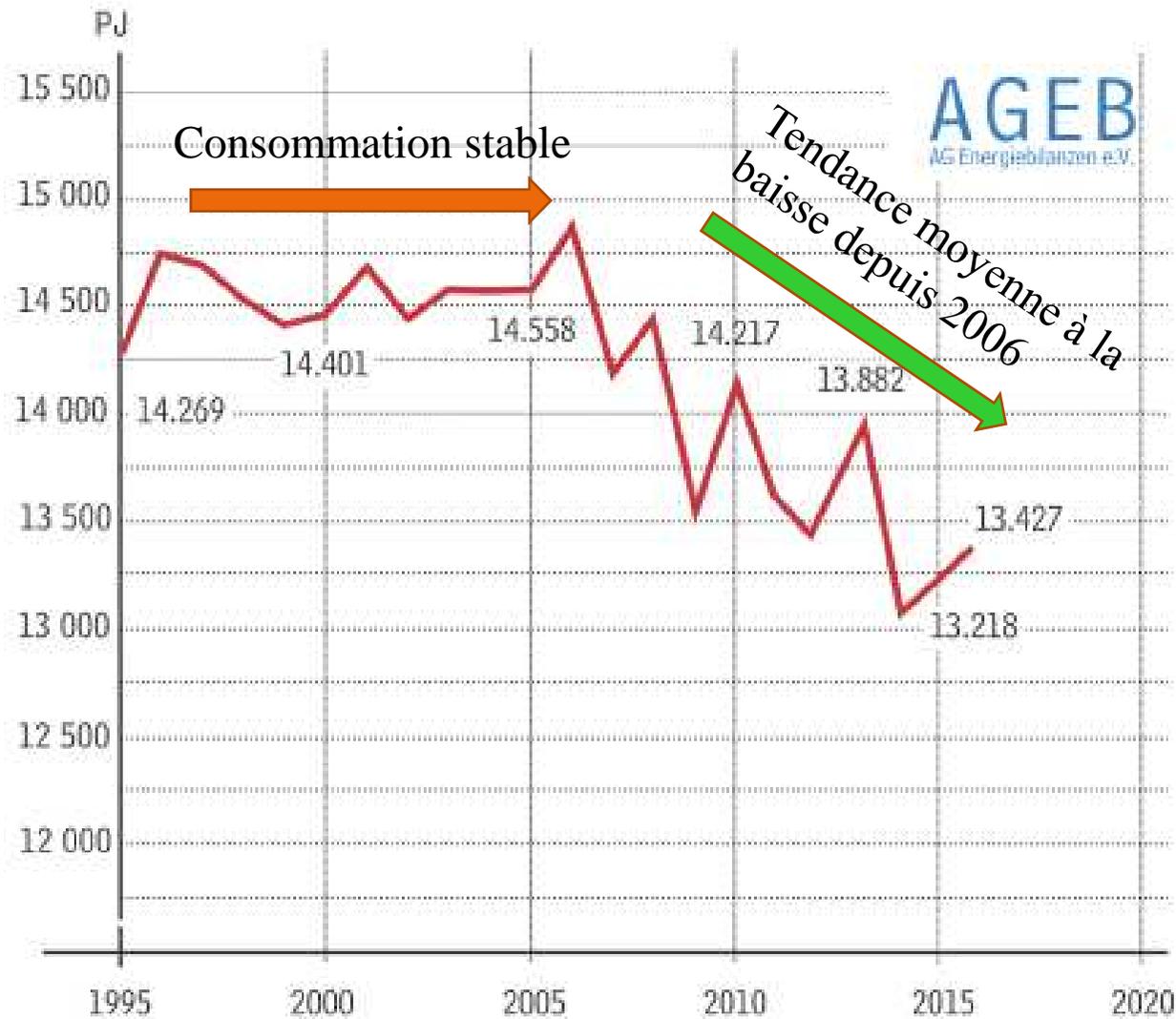
Le nucléaire au début des années 2000

Le pic de consommation d'électricité était en 2007

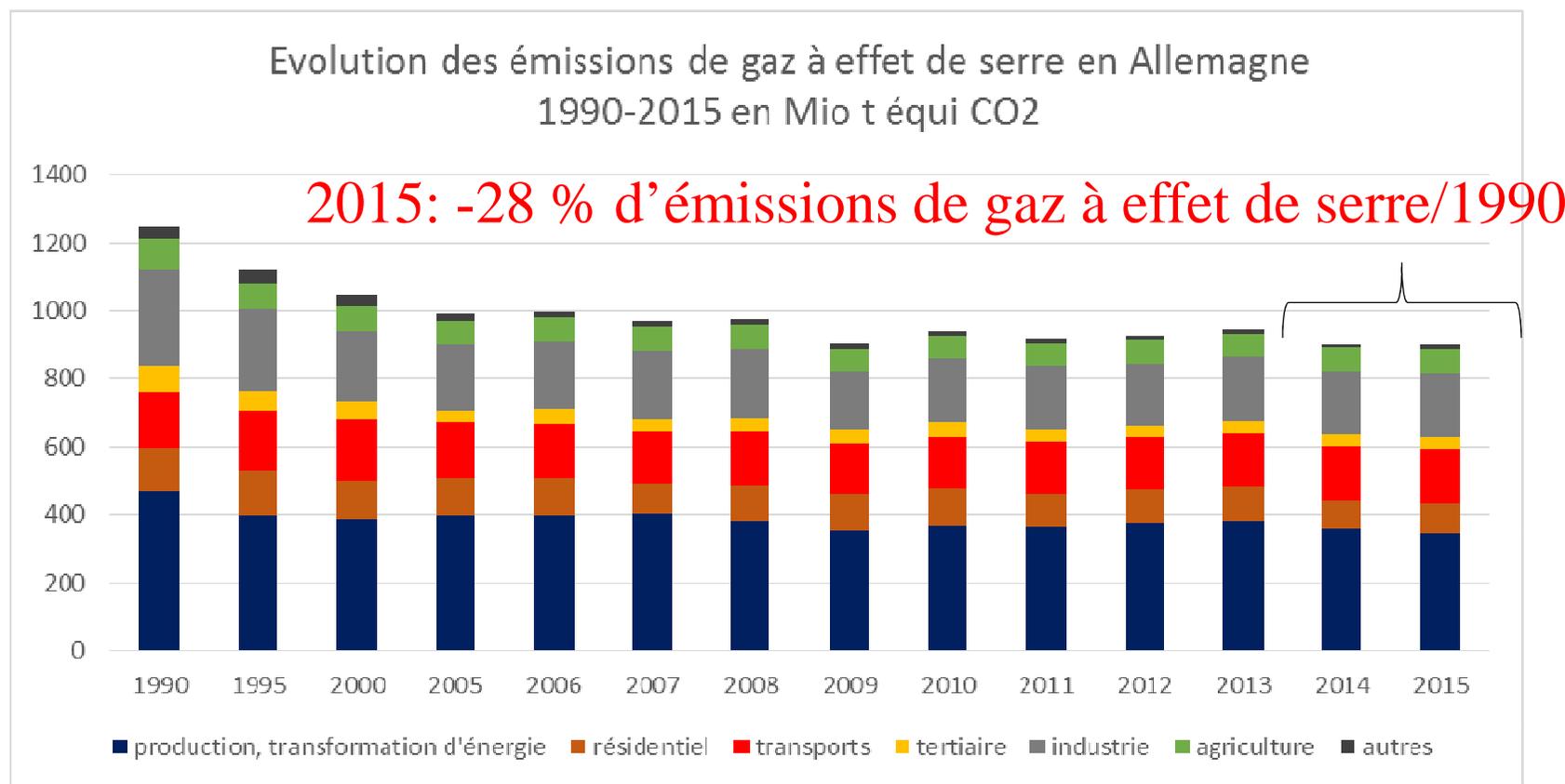
Record pour les énergies renouvelables en 2016, pour le gaz naturel en 2008 (en attendant 2017?)

Bilan (exportations – importations) d'électricité jamais aussi élevé qu'en 2016

Evolution de la consommation d'énergie primaire en Allemagne



Evolution des émissions de gaz à effet de serre en Allemagne



Objectif du protocole de Kyoto atteint: -21 % des émissions de gaz à effet de serre sur les années 2008-2012/1990

Source: Ministère de l'écologie allemand UBA Umweltbundesamt

Emissions de gaz à effet de serre en Allemagne en 2015

Secteur	Emission de gaz à effet de serre 2015		Diminution depuis 1990	
	en Millions t équ CO2	%	en Millions t équ CO2	%
Energie	762,2	84,5	274,5	26,5
Process industriel	61,5	6,8	35,1	36,6
Agriculture	67	7,4	12,6	15,9
Traitement des déchets et station d'épuration	11,2	1,2	26,2	70,5
Total	901,9	100	349	27,9

Emissions de gaz à effet de serre/hab en Allemagne:

11,1 t équ CO2 dont 9,4 t de CO2 due à la combustion des énergies fossiles

Emissions de gaz à effet de serre/hab en France (année 2013):

7,4 t équ CO2 dont 5,3 t de CO2 due à la combustion des énergies fossiles

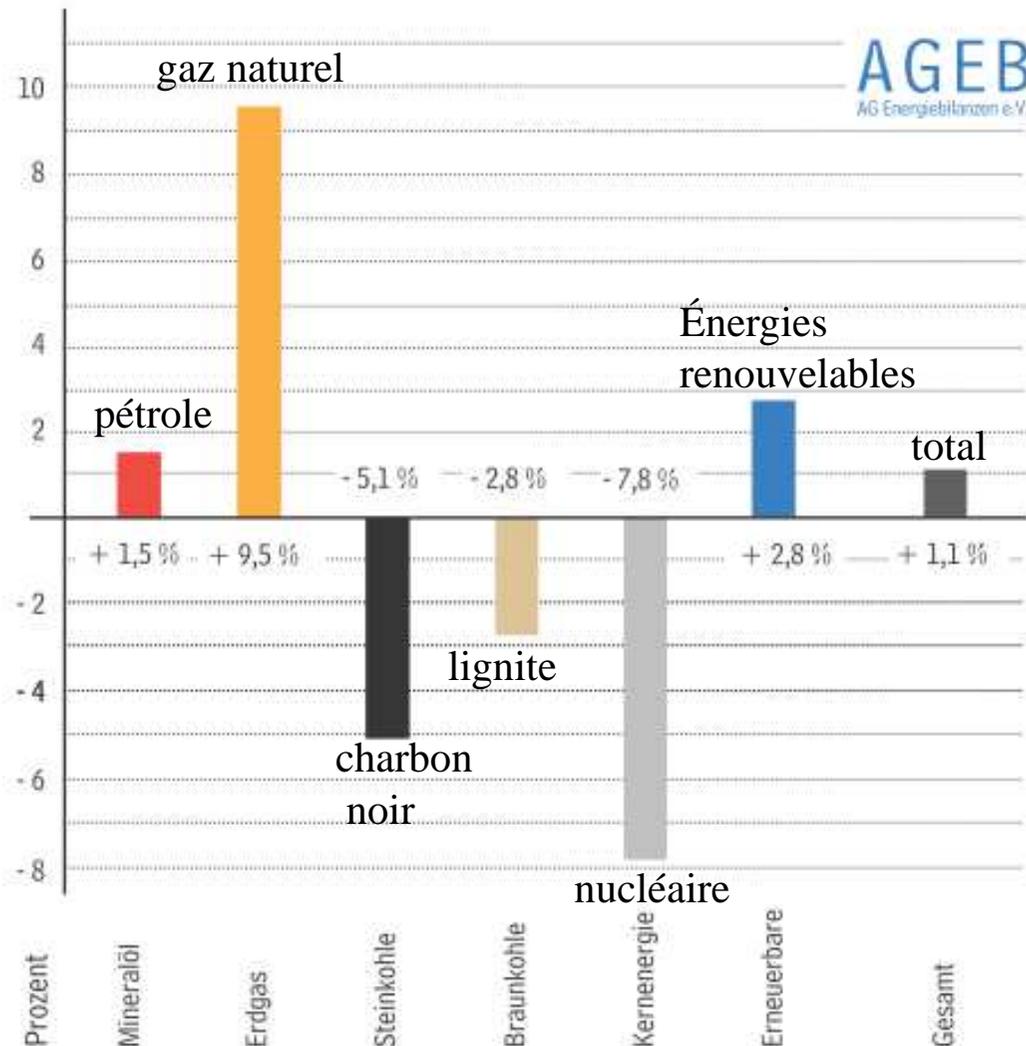
Deux principales raisons à cette différence:

- industrie électro-intensive plus importante en Allemagne
- l'utilisation de la lignite et du charbon noir pour produire l'électricité en Allemagne reste conséquente

asder

L'Allemagne contribue à hauteur de 21,2 % aux émissions de gaz à effet de serre de l'UE (chiffre 2013)

Evolution de la consommation primaire d'énergie en Allemagne en 2016/2015

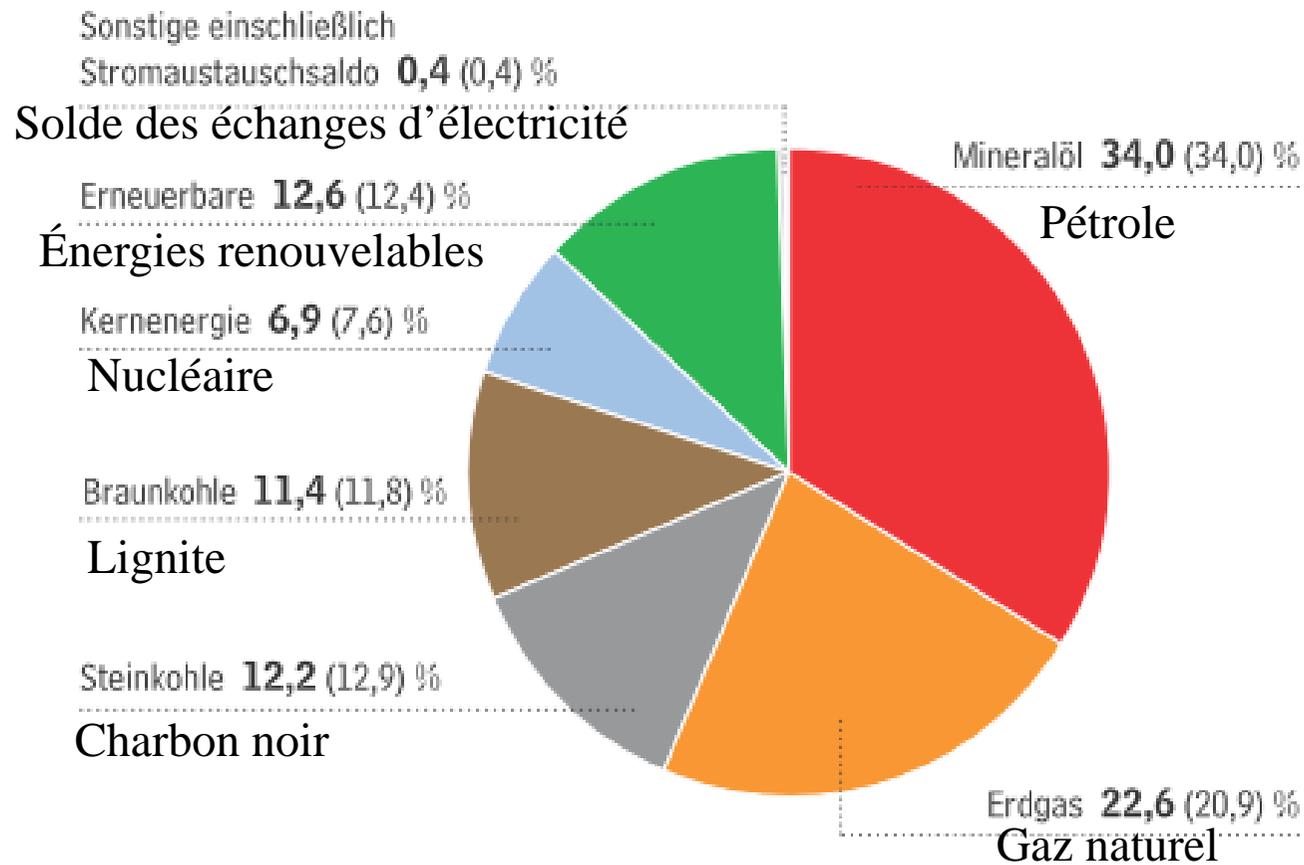


Augmentation de la consommation de gaz naturel par une année 2016 plus froide et par une plus forte utilisation du gaz naturel pour la production d'électricité à la place du charbon.

Diminution de l'utilisation du nucléaire non compensée par les centrales au charbon ou à la lignite

Energie mix allemand en 2016

AGEB
AG Energiebilanzen e.V.



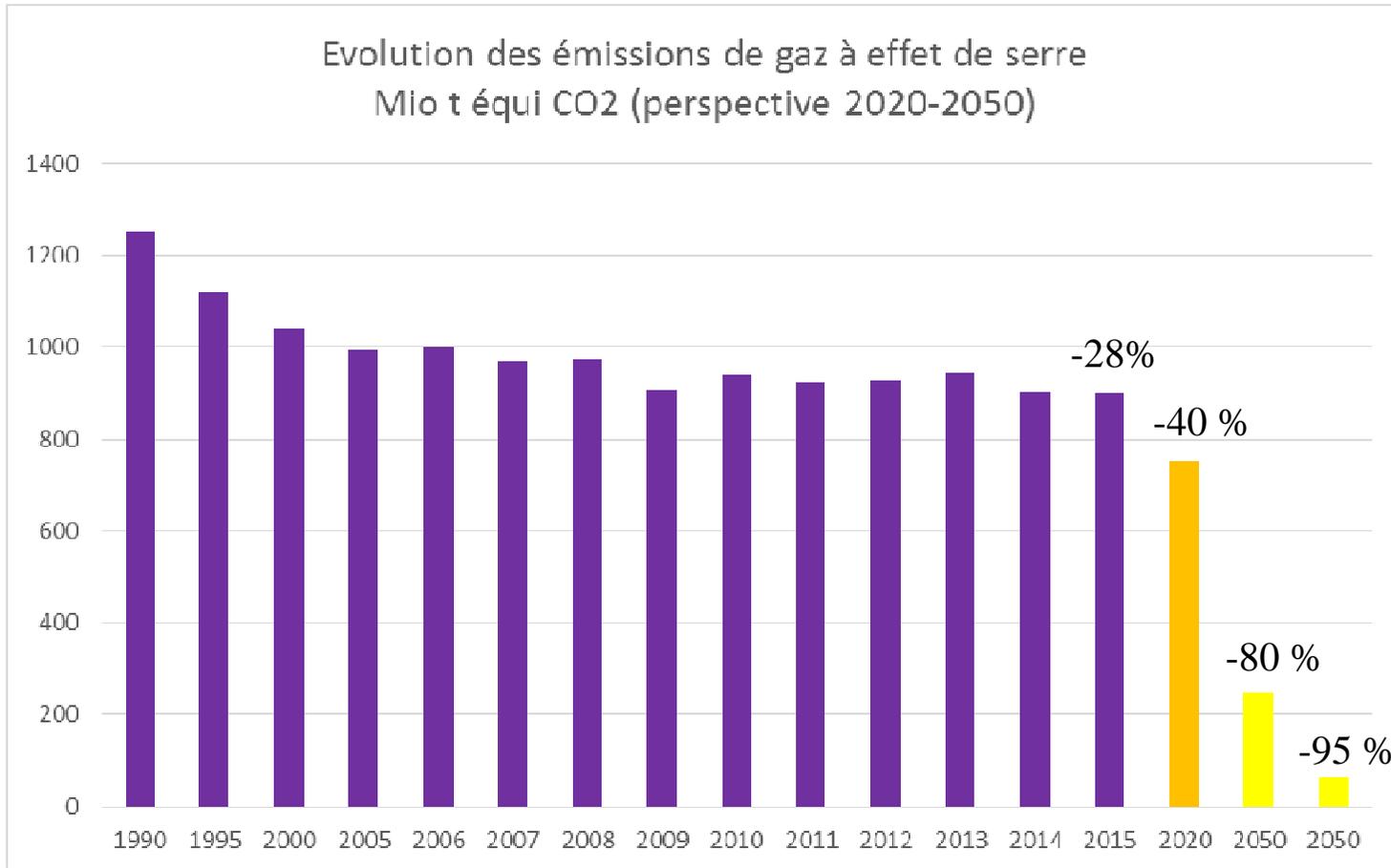
Entre parenthèse, chiffres 2015



Que veut faire l'Allemagne?

- Réduire ses émissions de gaz à effet de serre d'une façon conséquente sans avoir recours à l'énergie nucléaire.
- Objectifs:
 - 40 % en 2020/1990
 - de – 80 % à – 95 % en 2050/1990
 - 80 % pour limiter le réchauffement planétaire à 2°C
 - 95 % pour limiter le réchauffement planétaire à 1,5°Csoit en 35 ans décarboner presque complètement sa production d'électricité et l'ensemble de son système énergétique.

Objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre en Allemagne



Source: Ministère de l'écologie allemand UBA Umweltbundesamt



Objectif de l'Allemagne en matière d'énergies renouvelables

- Part des ENR sur la consommation brute d'électricité:
 - **2025: 40 à 45 %**
 - **2035: 55 à 60 %**
 - **2050: au moins 80 %**
- Part des ENR sur la consommation finale d'énergie:
 - **2020: au moins 20 %**
 - **2030: 30 %**
 - **2040: 45 %**
 - **2050: 60 %**
- Nombre d'emplois dans les ENR, en 2015 en Allemagne: **350 000**

Situation des énergies renouvelables en Allemagne en 2015

- Distinguons les 3 secteurs de l'énergie:
 - L'électricité: 31,5 % de la consommation brute d'électricité est couverte par les énergies renouvelables
 - La chaleur: 13,2 % de la consommation finale d'énergie pour la chaleur est couvert par les énergies renouvelables essentiellement par la biomasse
 - Les transports: 5,2 % de l'énergie finale pour les transports est couverte par les énergies renouvelables

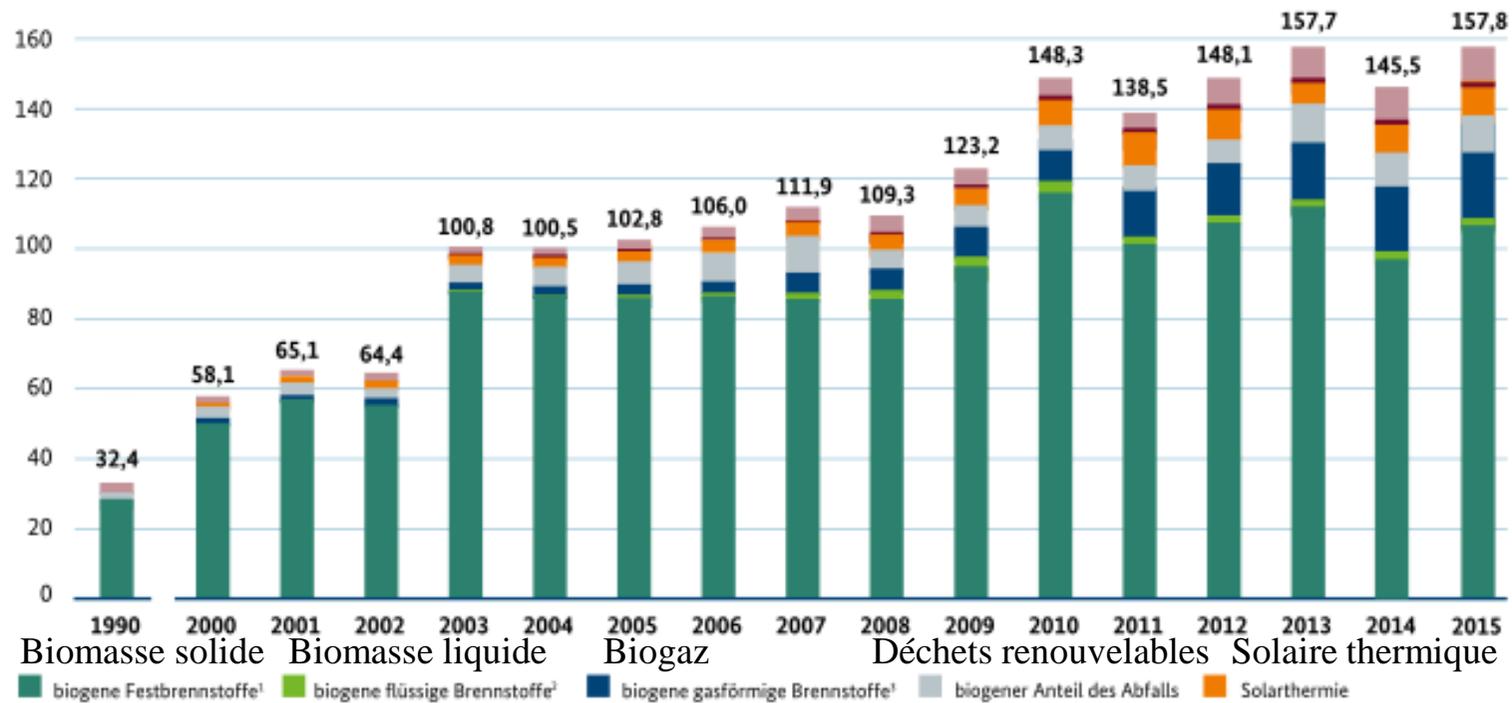
Pour l'électricité: Avancées importantes avec le développement de l'éolien, de la biomasse et du photovoltaïque.

La chaleur et surtout les transports sont à la traîne.

Utilisation des énergies renouvelables pour la chaleur en Allemagne

Abbildung 15: Wärmeverbrauch aus erneuerbaren Energien

in Mrd. kWh



Géothermie profonde Géothermie de surface

- 1 inkl. des biogenen Anteils des Abfalls, ab 2010 inkl. Klärschlamm; Angaben für GHD erst ab 2003 verfügbar
- 2 inkl. Biodieselvebrauch in der Landwirtschaft
- 3 Biogas inkl. Biomethan, Klär- und Deponiegas

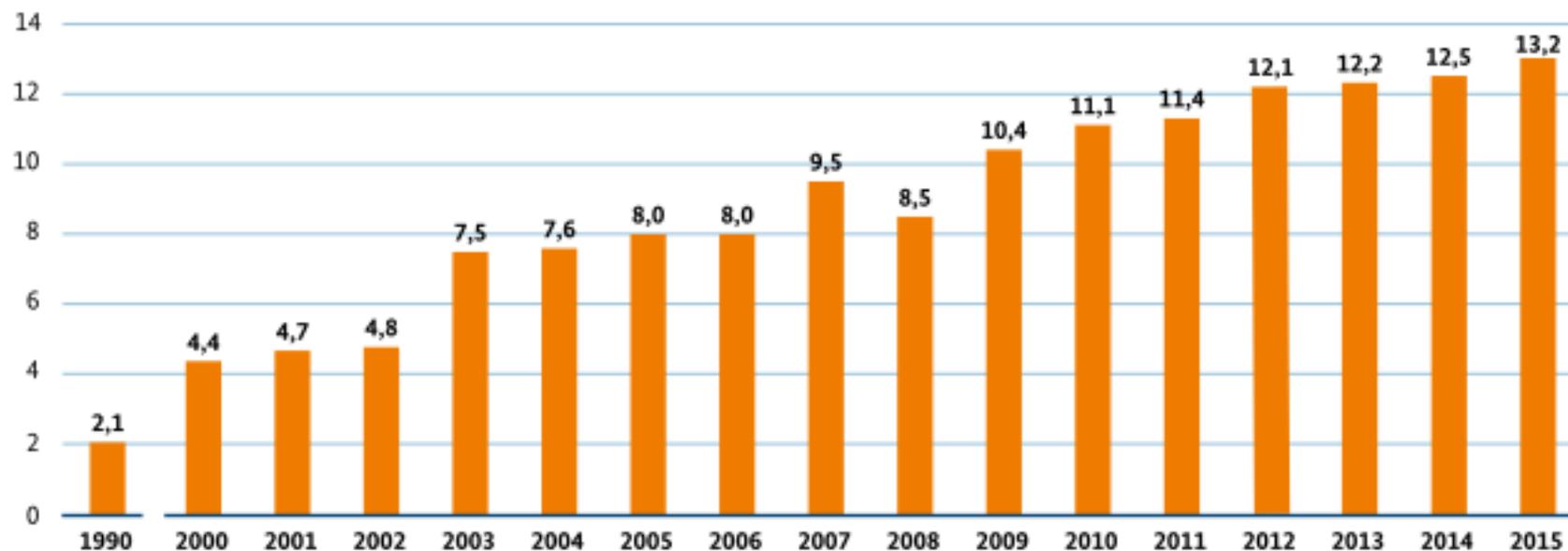
Quellen: BMWI auf Basis AGEE-Stat sowie weiterer Quellen, siehe Abbildung 16, vorläufige Angaben

Source: ministère de l'économie et de l'énergie

Part des énergies renouvelables pour la chaleur en Allemagne en %

Abbildung 17: Anteile erneuerbarer Energien am Wärmeverbrauch

in Prozent



Nach dem Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) ist für das Jahr 2020 ein Anteil erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch für Wärme und Kälte von 14 Prozent vorgegeben.

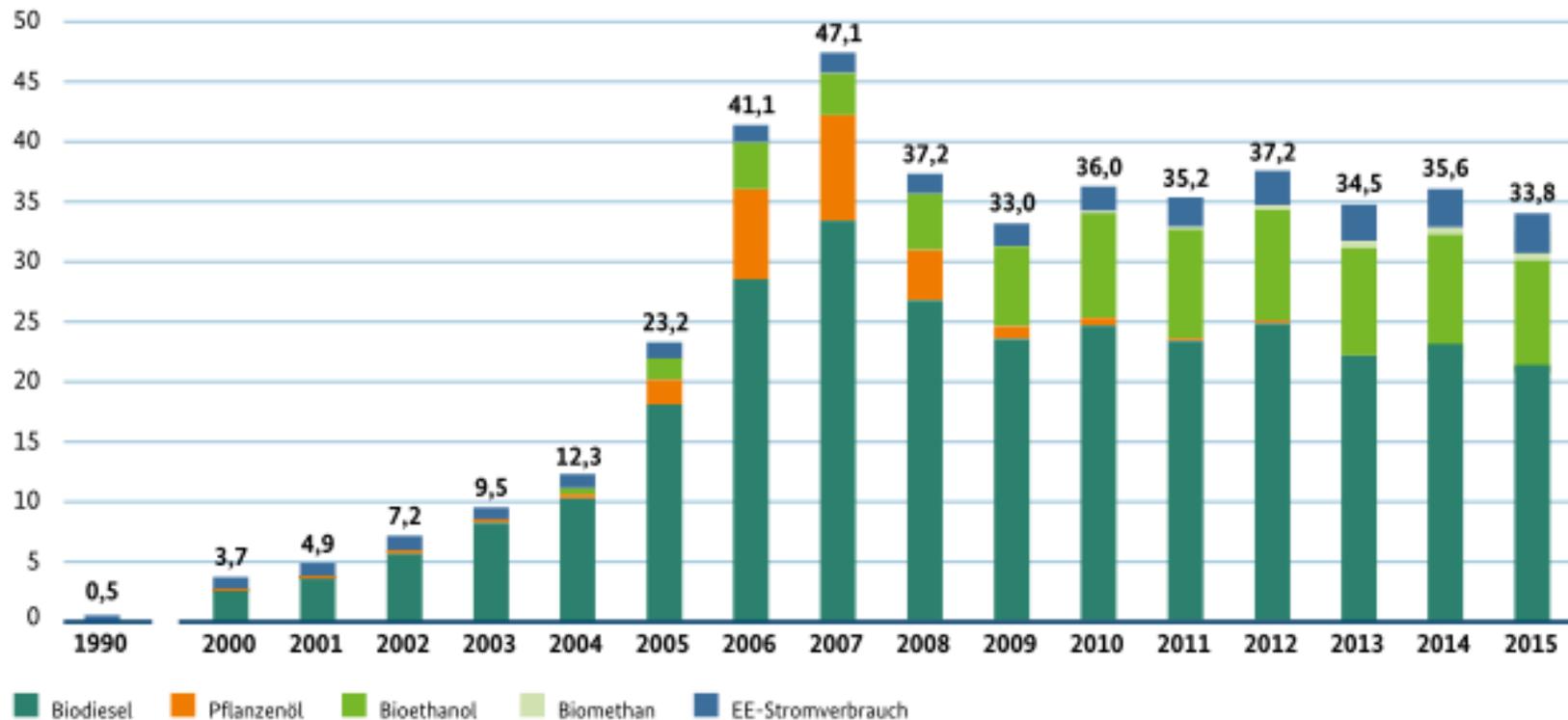
Quellen: BMWi auf Basis AGEE-Stat; ZSW; AGEb und weiterer Quellen, siehe Abbildung 16; teilweise vorläufige Angaben

Source: ministère de l'économie et de l'énergie

Utilisation des énergies renouvelables pour les transports en Allemagne

Abbildung 23: Verbrauch erneuerbarer Energien im Verkehrssektor

Endenergieverbrauch Verkehr in Mrd. kWh



Quelle: BMWi auf Basis AGEE-Stat sowie weiterer Quellen, siehe Abbildung 25

Huiles végétales
colza essentiellement

Electromobilité

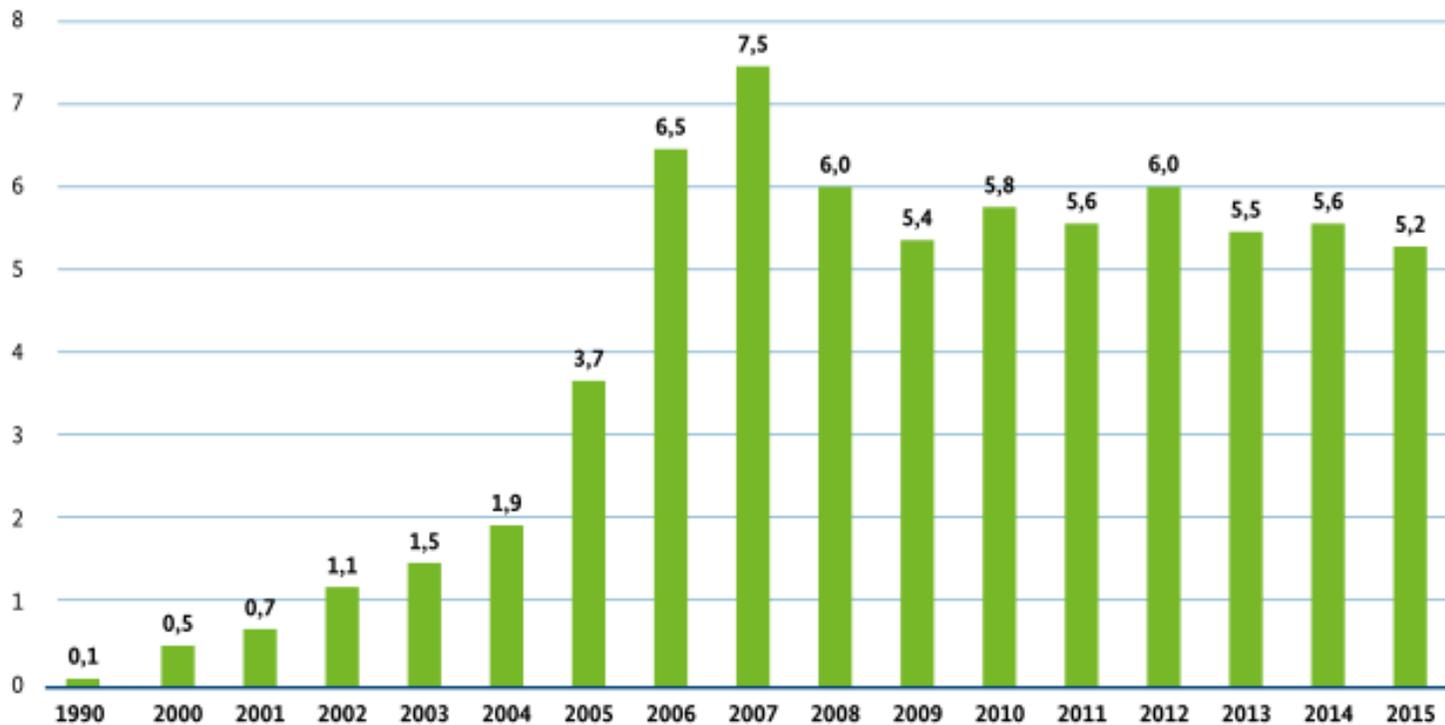
Source: ministère de l'économie et de l'énergie



Part des énergies renouvelables pour les transports en Allemagne

Abbildung 24: Anteile erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch Verkehr

Anteil in Prozent



Nach EU-Richtlinie 2009/28/EG ist für das Jahr 2020 ein Anteil erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch im Verkehrssektor von 10 Prozent vorgegeben. Auf Doppelanrechnung von Biokraftstoffen aus Rest- oder Abfallstoffen und Strom wird in dieser Darstellung jedoch verzichtet. Im Nenner wird zudem der Verbrauch von Flüssiggas, Erdgas, Flugbenzin und Kerosin im Inland sowie der gesamte Stromverbrauch im Schienen- und Straßenverkehr berücksichtigt.

Quellen: BMWi auf Basis AGEE-Stat; ZSW; AGEV [1], [2]; BAFA; BMUB und weiterer Quellen, siehe Abbildung 25

Source: ministère de l'économie et de l'énergie

Les mesures pour atteindre les objectifs de diminution de gaz à effet de serre

- **Electricité:** moins de charbon, plus de gaz naturel en complément des énergies renouvelables
- **Chaleur:** programme d'aide à l'investissement pour diminuer les consommations de chaleur
 - Obligation de remplacer les chaudières vieilles de plus de 30 ans
 - Programme de subventions à l'amélioration de l'efficacité énergétique et à l'utilisation des énergies renouvelables à des fins de production de chaleur.

Le gouvernement a débloqué dans le cadre de la nouvelle loi EEG de 2016 un budget de 17 Milliards d'€ jusqu'en 2020 pour atteindre cet objectif de réduction des émissions de gaz à effet de serre.



Accélérer la baisse des émissions de gaz à effet de serre dans le secteur du bâtiment

- Réduire les besoins d'énergie et promouvoir les énergies renouvelables dans le bâtiment.
 - Nouvelle loi sur la chaleur renouvelable en 2016 (EEwärmeGesetz) suite à la mise en place d'une stratégie d'efficacité énergétique dans le bâtiment avec priorité pour les bâtiments d'habitation sur les bâtiments tertiaires.
 - En 2014, la banque publique de développement KfW (Kreditanstalt für Wiederaufbau) a recensé en 2014 253 000 logements rénovés alors qu'il faudrait en rénover 1 000 000 par an sur 20 ans.
 - Aussi bien les projets neufs que dans l'existant bénéficient d'aides financières.
 - Depuis 2016, les aides pour diminuer la consommation de chaleur des habitations n'ont jamais été aussi élevées



Les transports

- Objectif à plus long terme.
- Les objectifs à court terme sont modestes. Directive européenne obligeant l'utilisation des agrocarburants à hauteur de 7,5 % pour 2020 mais les agrocarburants de première génération ne sont pas une solution.
- L'Allemagne s'est fixée un objectif de 10 % d'énergies renouvelables pour les transports en 2020.
 - Réduire la place de la voiture
 - Electromobilité alimenté par des ENR décentralisés
- Orientation à l'horizon 2030-2050 d'utiliser les surplus de production électrique éolienne et photovoltaïque:
 - Fabrication de gaz de synthèse avec les excédents d'énergies renouvelables électriques.
 - Agrocarburants de deuxième ou troisième génération pour les transports maritimes et l'aviation



Les surplus de production éoliens et photovoltaïques

- Actuellement contribue à baisser le prix de gros de l'électricité
- Des travaux d'adaptation des réseaux électriques sont envisagés prenant en compte les nouvelles productions d'électricité issues des énergies renouvelables.
- Premières initiatives d'intégration sectorielle vers la chaleur et les transports.
- Stocker cette énergie (batteries maison individuel, STEP...) Phase plus concrète à la mise en place de système de stockage lorsque les ENR couvriront 50 à 60 % de la demande en électricité.



Intégration sectorielle

Comment valoriser les surplus de production des énergies renouvelables intermittentes?

- Power to Heat

- Transformer l'électricité en chaleur

- Chauffer les réseaux de chaleur* avec des pompes à chaleur lors des pics de production d'électricité éolien et photovoltaïque.
 - Contrairement à la France où sont installés environ 14 millions de cumulus électrique, l'Allemagne en est très peu équipée.

A terme, il serait mieux d'alimenter les réseaux de chaleur directement avec les énergies renouvelables thermiques (bois énergie et solaire) en substitution essentiellement du gaz naturel.

Les réseaux de chaleur fournissent 13 % des besoins de chaleur de l'Allemagne et sont alimentés en chaleur à 70 % avec le gaz naturel.

- Power to Gaz

- Fabriquer de l'hydrogène puis du méthane

- Injecter de l'hydrogène sur les réseaux de distribution du gaz

- Plus facile de transporter et de stocker du gaz que de l'électricité. L'Allemagne dispose actuellement d'une capacité de 80 GW pour le transport du gaz

- Power to Liquid

- Fabriquer des carburants liquides



En résumé

- **La stratégie allemande:**
- **Phase 1 (2000-2015):** Développer et rendre rentable les énergies renouvelables électriques. Accepter que le prix de l'électricité double en 15 ans. Diminuer la consommation de fioul dans le résidentiel. Développer les marchés du solaire thermique et du granulé bois pour les besoins de chaleur.
- **Phase 2 (2015-2025):** Diminuer la consommation d'électricité et sortir du nucléaire. Stabiliser le prix de l'électricité. Diminuer l'utilisation du charbon pour la production d'électricité. Améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments et utiliser les énergies renouvelables pour les besoins de chaleur.
- **Phase 3 (après 2025):** Valorisation des surplus de production d'électricité avec les énergies renouvelables intermittentes (photovoltaïque et éolien) pour les transports (électromobilité). Développer les stockages d'énergie et la fabrication de gaz et de carburant de synthèse avec les énergies renouvelables électriques. Sortir du charbon. Rester à des niveaux raisonnables de consommation d'électricité malgré sa diversification vers les transports. 600 à 800 TWh/an



Ouvrages de référence

- « Transition énergétique, comment fait l'Allemagne » de Vincent Boulanger (éditions les Petits Matins)
- « Made in Germany » de Guillaume Duval (édition Points)
- Les publications du ministère de l'économie et de l'énergie (en allemand)
 - www.bmwi.de
- Les publications de l'OFATE (Office Franco-Allemand pour la Transition Energétique)
 - <http://enr-ee.com> 
- Les bilans énergétiques de l'Allemagne édités par l'AGEB (en allemand)
 - <http://www.ag-energiebilanzen.de>