

Bilan du tournant énergétique allemand

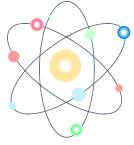
« Energiewende »

Dr.-Ing. Hartmut Lauer

Ex-dirigent d'un grand énergéticien allemand

Membre de la KTG (société allemande d'énergie nucléaire) et de la SFEN

Conférence à l'Ecole des Mines de Saint-Etienne - 12 Mars 2019



Sommaire

- Les mesures phares de la transition énergétique
France vs. Allemagne
- La mise en œuvre à l'horizon 2020
 - le nucléaire: une sortie programmée et irréversible
 - priorité au développement des énergies renouvelables
 - objectif principal: réduire les émissions CO₂
 - « efficiency first »: baisser la consommation et donc les émissions
 - et les coûts ?
- Conclusion

Rappel de quelques définitions sur l'énergie



■ Consommation d'énergie primaire

- L'énergie primaire correspond à l'énergie finale à laquelle s'ajoutent les pertes d'énergie induites par la transformation et le transport de l'énergie (par ex. rendement d'une centrale électrique, pertes en ligne d'électricité, etc.)

■ Consommation énergétique finale (secteurs: électricité, chaleur et refroidissement, transports)

- L'énergie finale est l'énergie livrée au consommateur donc à l'industrie, aux transports, aux ménages et aux services (par ex.: essence à la pompe, électricité et chaleur au foyer etc.)

■ Consommation d'électricité

- La consommation (intérieure) d'électricité est l'ensemble des quantités d'énergie électrique mises à disposition du consommateur (production + importation - exportation - pompages STEP*)

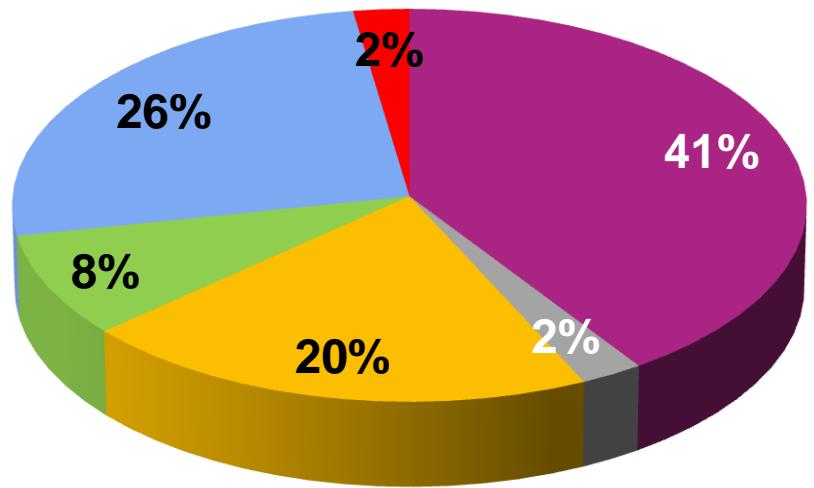
■ Efficacité énergétique

- L'efficacité énergétique est mesurée par la baisse de l'intensité énergétique (ratio « consommation finale d'énergie / PIB » [tep/M€]) ou l'augmentation de productivité énergétique (ratio « PIB /consommation finale d'énergie » [M€/tep]). La baisse de l'intensité énergétique signifie que le pays peut produire plus avec la même quantité d'énergie.

Consommation énergétique finale par forme d'énergie en 2016

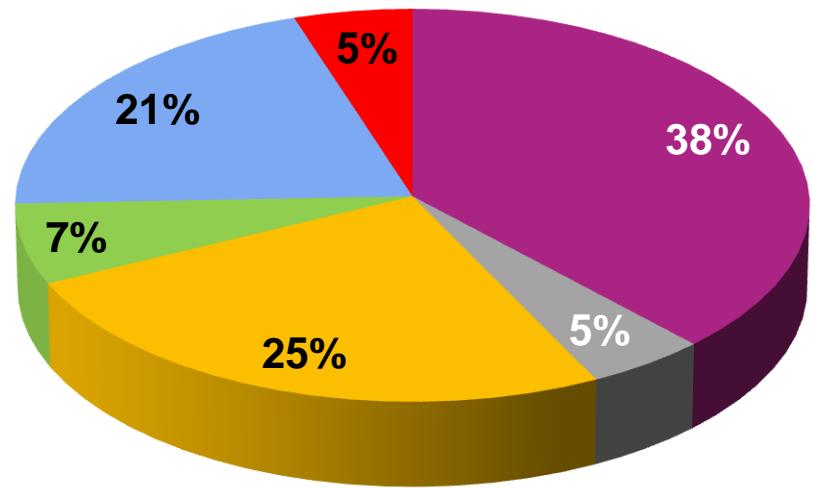


France (147 Mtep)



- Pétrole
- Charbon
- Gaz naturel
- Énergies renouvelables et déchets
- Électricité
- Chaleur

Allemagne (216 Mtep)

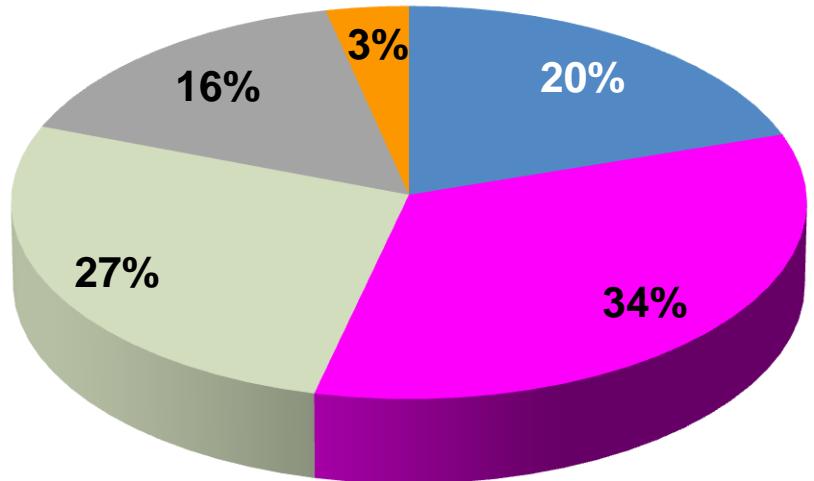


- Pétrole
- Charbon
- Gaz naturel
- Énergies renouvelables et déchets
- Électricité
- Chaleur

Origine sectorielle de la consommation énergétique finale en 2016

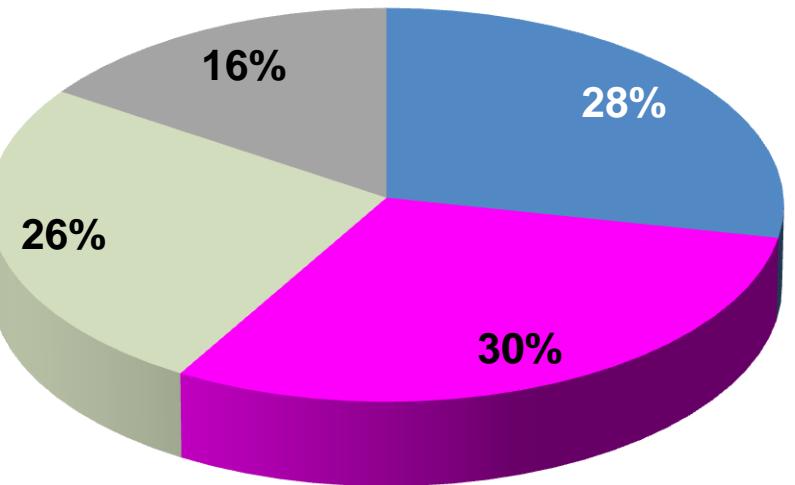


France (147 Mtep)



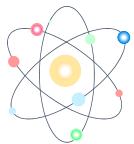
- Industrie
 - Résidentiel
 - Agriculture/Autres
- Transport
 - Tertiaire

Allemagne (216 Mtep)

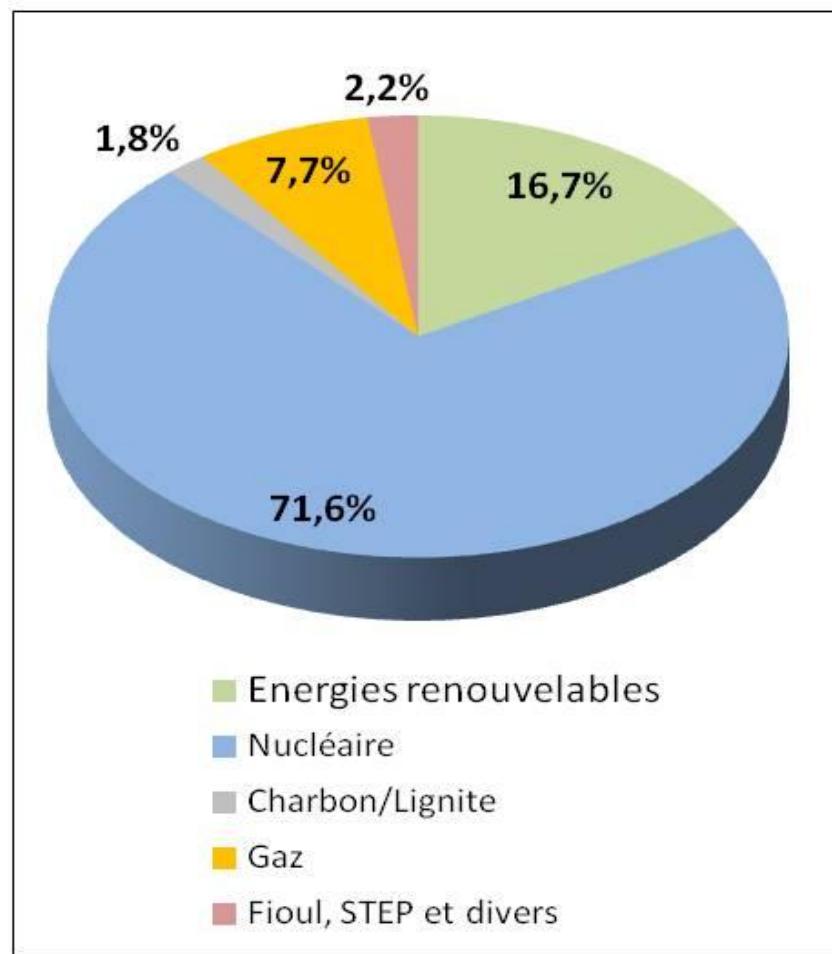


- Industrie
 - Résidentiel
- Transport
 - Tertiaire

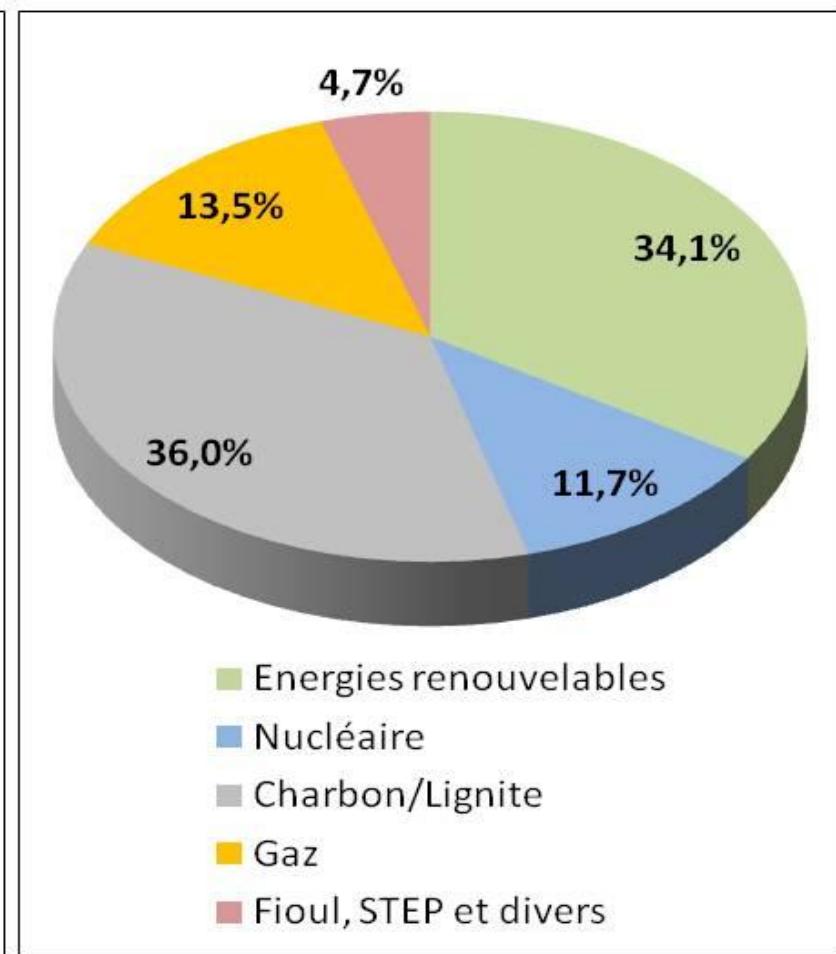
Structure de la production nette d'électricité en France et en Allemagne en 2017



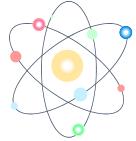
France (529 TWh)



Allemagne (619 TWh)



RTE 2018 : 549 TWh dont 71,7 % Nucléaire et 20,2 % EnR



Les principaux objectifs du tournant énergétique allemand



Peter Altmaier
CDU (Chrétiens – démocrates)

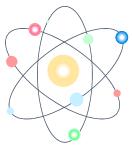
Ministre fédéral de
l'Economie et de l'Energie
responsable pour la mise en
œuvre du tournant
énergétique

Le tournant énergétique se caractérise par une focalisation sur l'électricité. Les principaux objectifs sont :

- Sortie progressive du nucléaire d'ici 2022 et du charbon/lignite d'ici 2038*
- Développement des énergies renouvelables, notamment éolien et solaire
- Économies d'énergie
- Réduction des émissions de gaz à effet de serre (neutralité carbone d'ici 2050)

* Proposition (janvier 2019) de la « Commission Charbon » ayant pour mission d'élaborer une stratégie de sortie des centrales à charbon et lignite

Les mesures phares de la transition énergétique



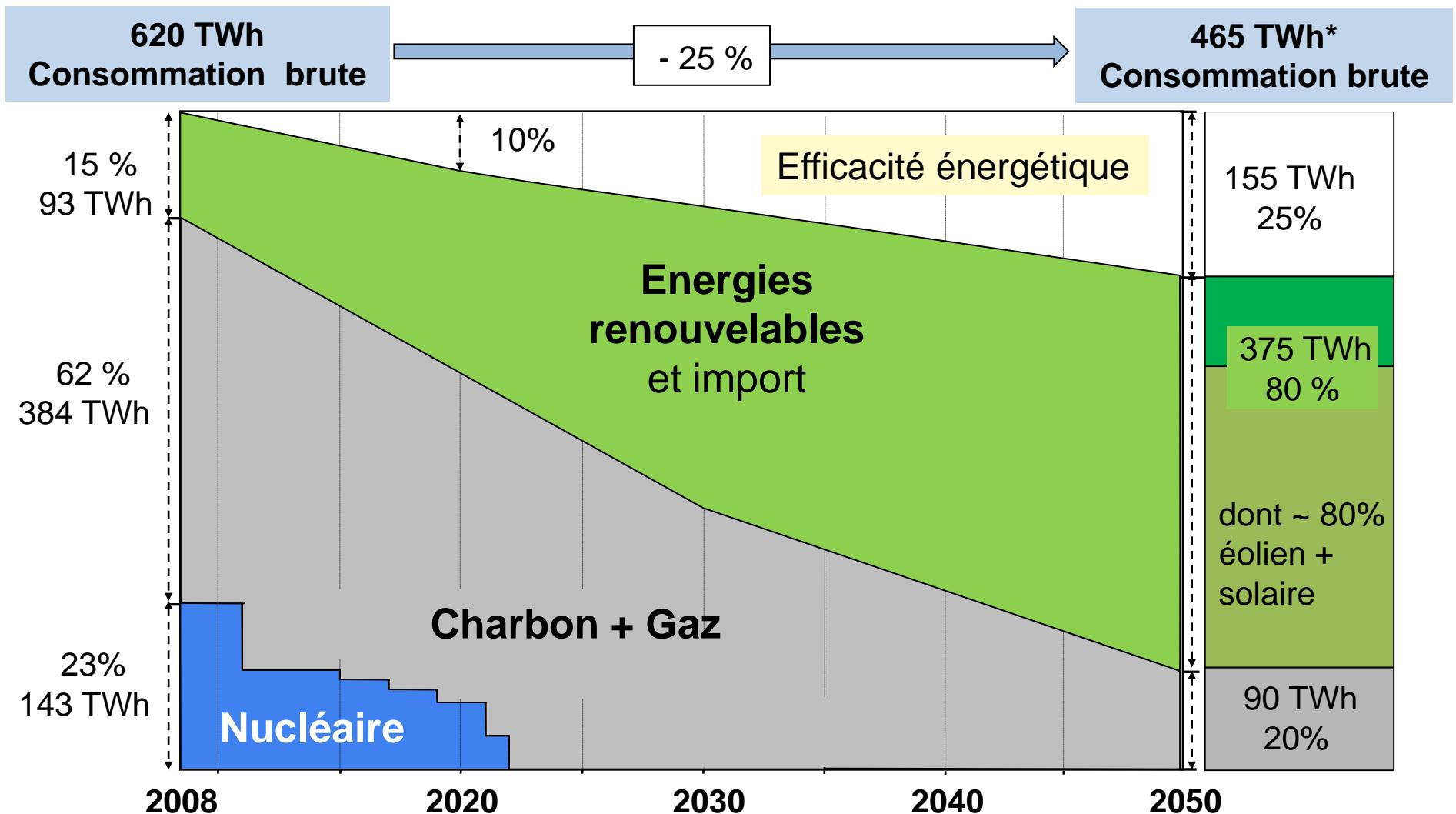
France vs. Allemagne

Réchauffement climatique		Part énergies renouvelables		Efficiency énergétique		
Réduction gaz effet serre (100% = 1990)		Consommation d'énergie finale	Consommation d'électricité	Réduction consommation d'énergie	Intensité (FR) ou productivité énergétique (DE)	
2020	FR	- 20% ⁴	23% ⁴	27% ^{1,6}	- 15% (base 2005) ^{2,4}	-2,5%/an (2015-2030)
	DE	- 40%	18%	35%	- 20% (base 2008) ²	+ 2,1%/an
2030	FR	- 40%	34%	36% ^{1,5}	- 20% (base 2012) ³	- 2,5%/an
	DE	- 55%	30%	65%	- 30% (base 2008) ²	+ 2,1%/an
2050	FR	Neutralité carbone			- 50% (base 2012) ³	
	DE	Neutralité carbone (- 80% à - 95%)	60%	80%	- 50% (base 2008) ²	+ 2,1%/an

¹⁾ Production d'électricité; ²⁾ Énergie primaire; ³⁾ Énergie finale, ⁴⁾ Paquet climat-énergie 2020 UE, ⁵⁾ en 2028*, ⁶⁾ en 2023*

Nucléaire: FR: passage à **50%** du mix électrique d'ici **2035**, arrêt d'un quart des réacteurs en activité*
DE: arrêt de 8 centrales en 2011/ sortie progressive du nucléaire d'ici **2022**

Tournant énergétique : Sortie du nucléaire, développement massif des EnR , économies d'énergie et réduction des émissions CO₂



Allemagne : Éolien + solaire en 2018 : ~ 47% de la capacité installée, ~ 25% de la production totale, donc un facteur de charge moyen inférieur à 20%



Eolien offshore

Eolien onshore

Photovoltaïque

Bioénergies, déchets, autres
EnR

Fioul, STEP, autres

Gaz

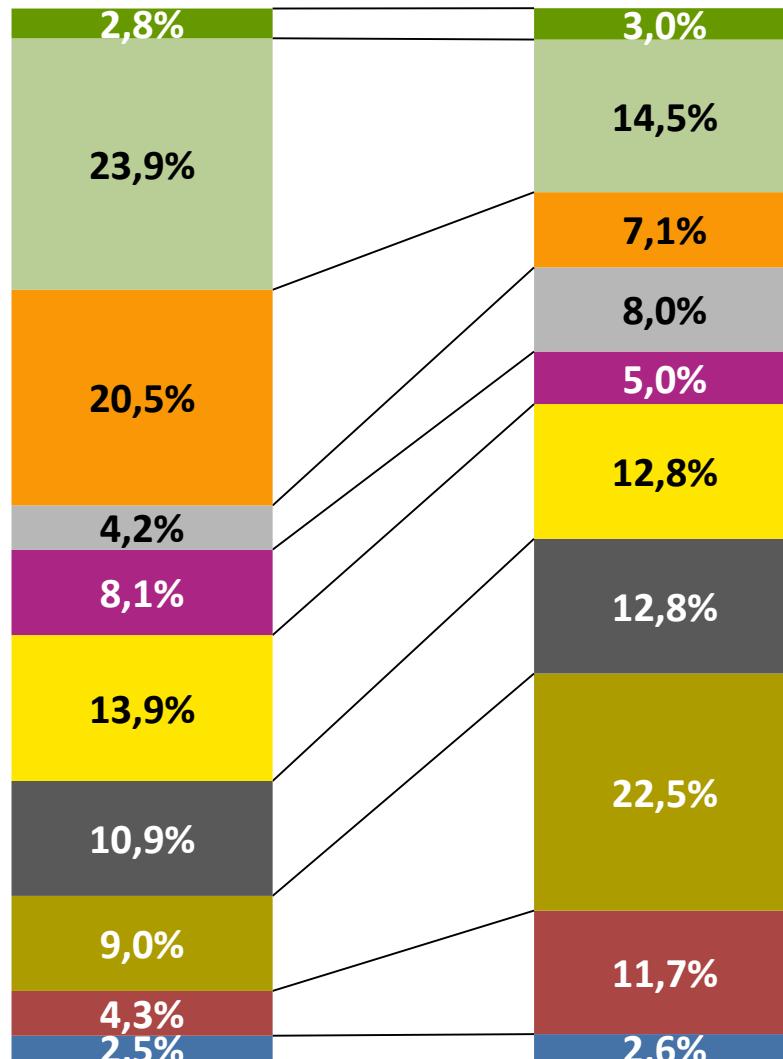
Charbon

Lignite

Nucléaire

Hydroélectricité

Source : AG Energiebilanzen, Agora Energiewende

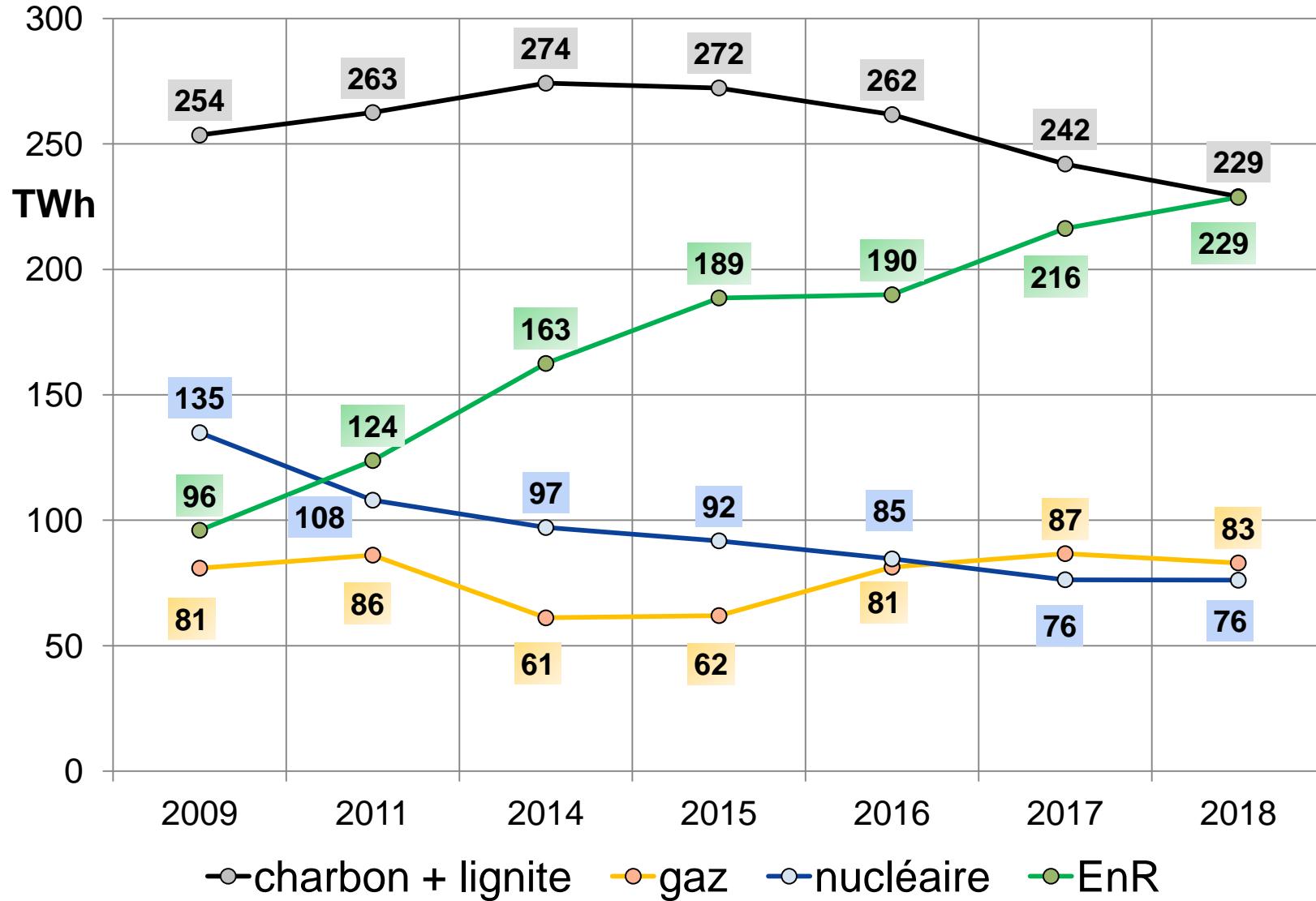


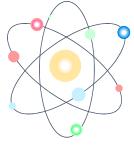
Capacité installée
223 GW

Production brute
649 TWh

Sortie du nucléaire = « réouverture des centrales au charbon » ?

Evolution de la production des différentes filières depuis 2009

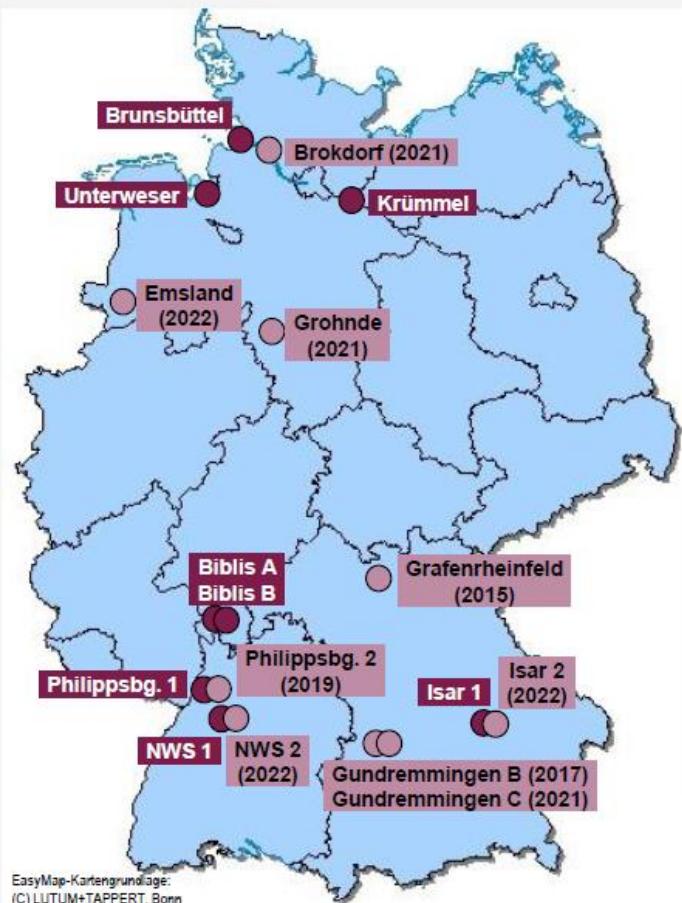
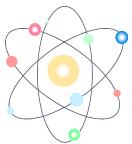




Sommaire

- Les mesures phares de la transition énergétique
France vs. Allemagne
- La mise en œuvre à l'horizon 2020
 - le nucléaire: une sortie programmée et irréversible
 - priorité au développement des énergies renouvelables
 - objectif principal: réduire les émissions CO₂
 - « efficiency first »: baisser la consommation et donc les émissions
 - et les coûts ?
- Conclusion

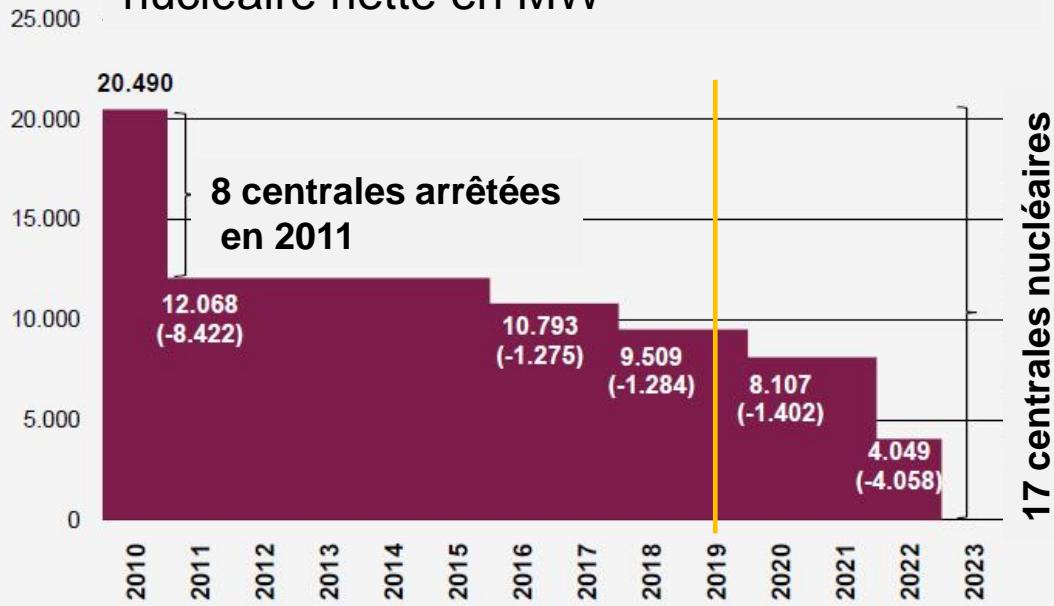
La sortie du nucléaire d'ici 2022 est irréversible



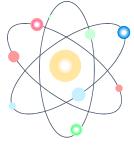
● Arrêts en 2011

● Arrêts 2015- 2022*

Evolution de la capacité nucléaire nette en MW



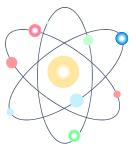
*) Dans le cadre du quota d'électricité accordé à chaque centrale mais dans la limite des dates butoirs fixées



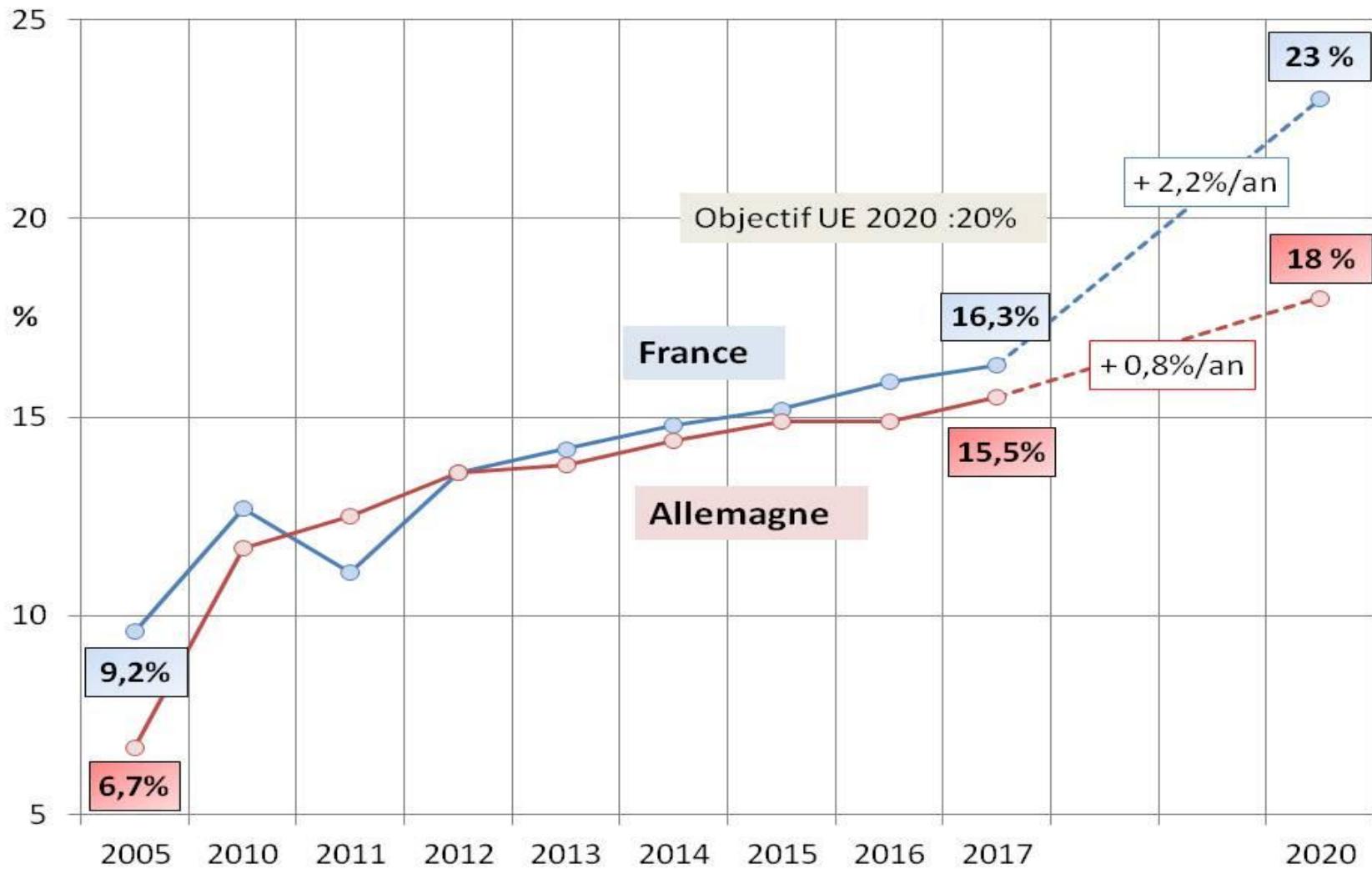
Sommaire

- Les mesures phares de la transition énergétique
France vs. Allemagne
- La mise en œuvre à l'horizon 2020
 - le nucléaire: une sortie programmée et irréversible
 - priorité au développement des énergies renouvelables
 - objectif principal: réduire les émissions CO₂
 - « efficiency first »: baisser la consommation et donc les émissions
 - et les coûts ?
- Conclusion

Part des énergies renouvelables dans la consommation finale brute d'énergie*



Evolution et objectifs du paquet Climat et Energie 2020 de l'UE

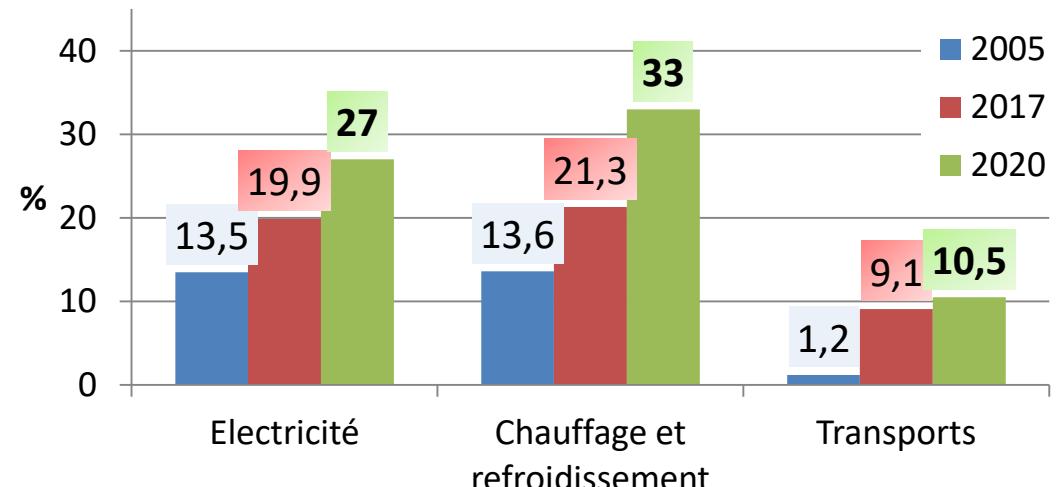


*) Déf.: La quantité d'énergie livrée au consommateur, i.e. à l'industrie, aux transports, aux ménages et aux services (essence à la pompe, électricité du foyer etc.)

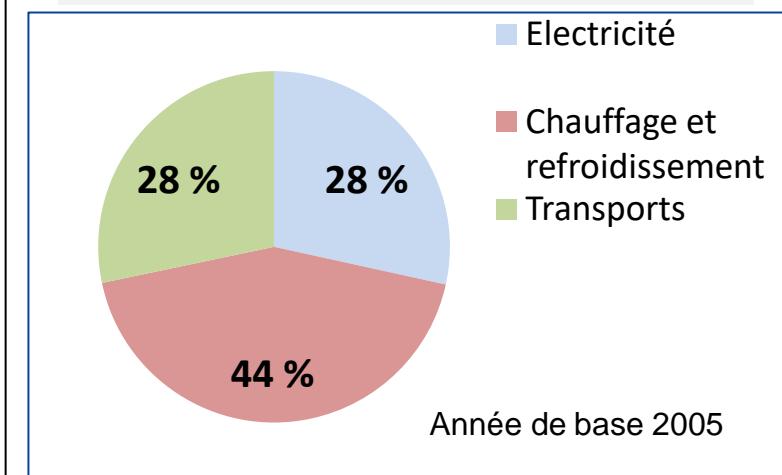
Part des énergies renouvelables par secteur (Paquet Climat et Energie 2020 de l'UE)



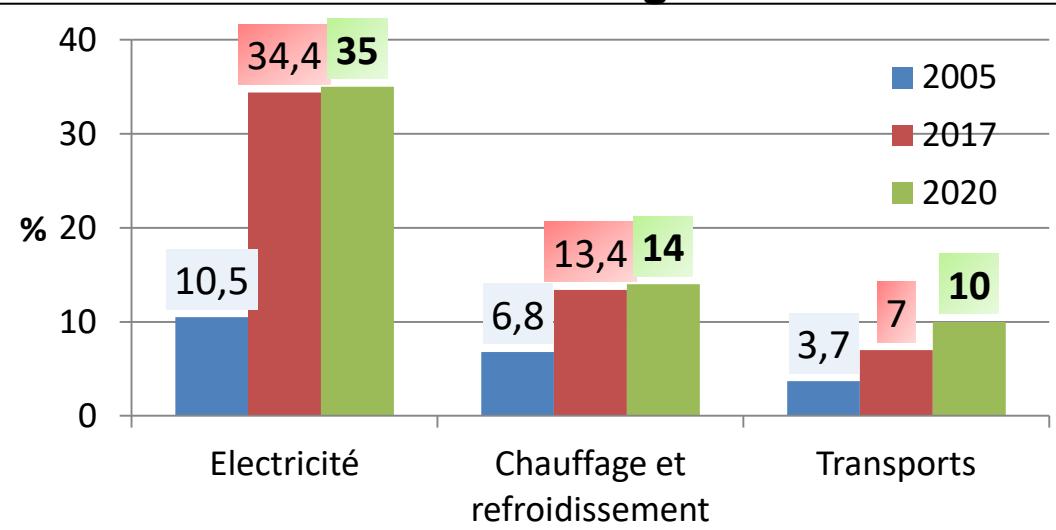
France



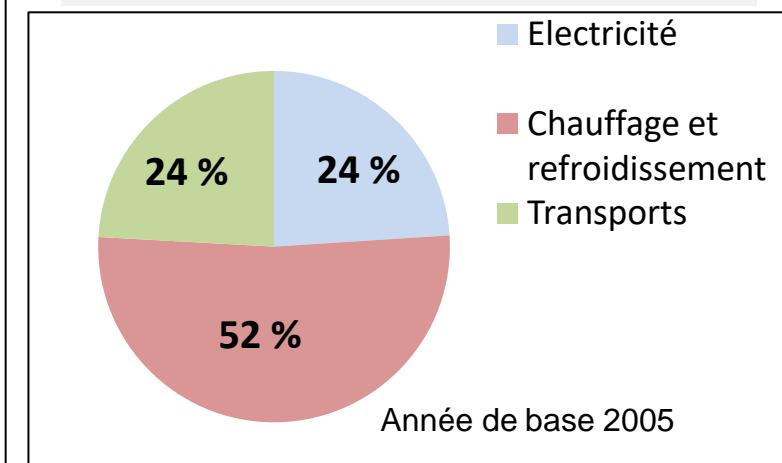
Répartition sectorielle de la consommation finale d'énergie

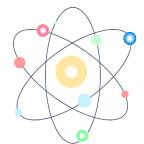


Allemagne

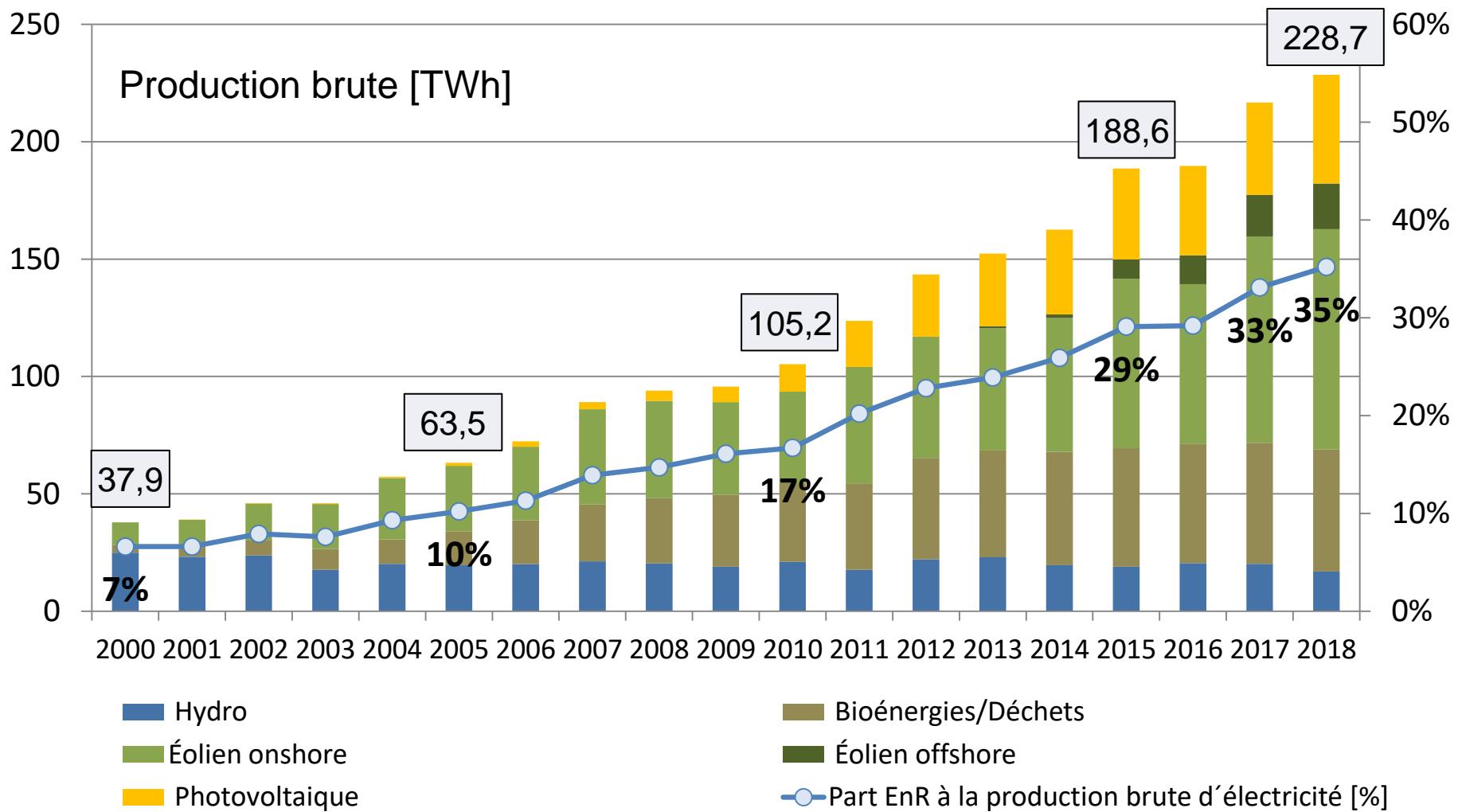


Répartition sectorielle de la consommation finale d'énergie



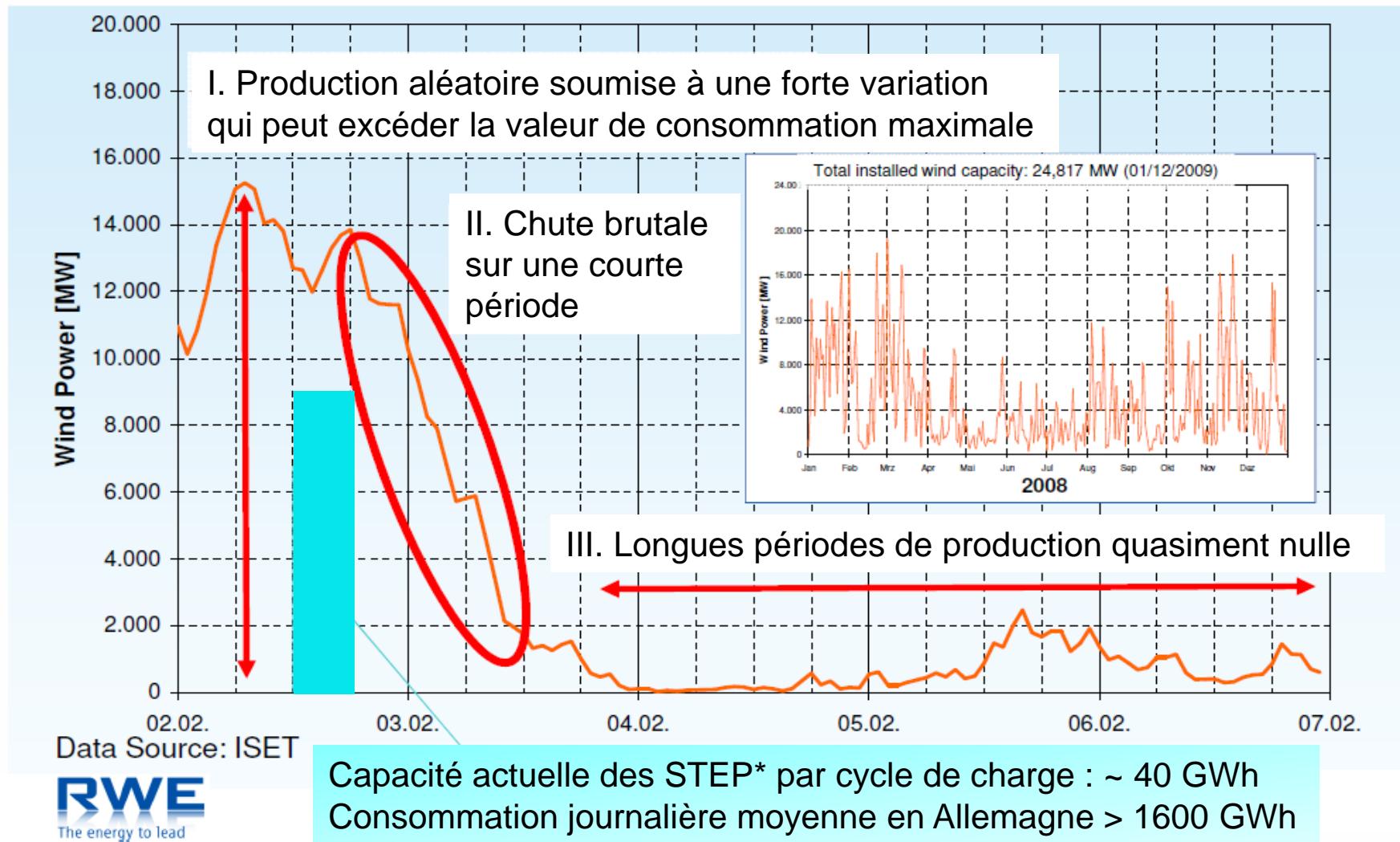


EnR en Allemagne: liée sur l'année, la part à la production brute d'électricité a atteint 35,2% en 2018





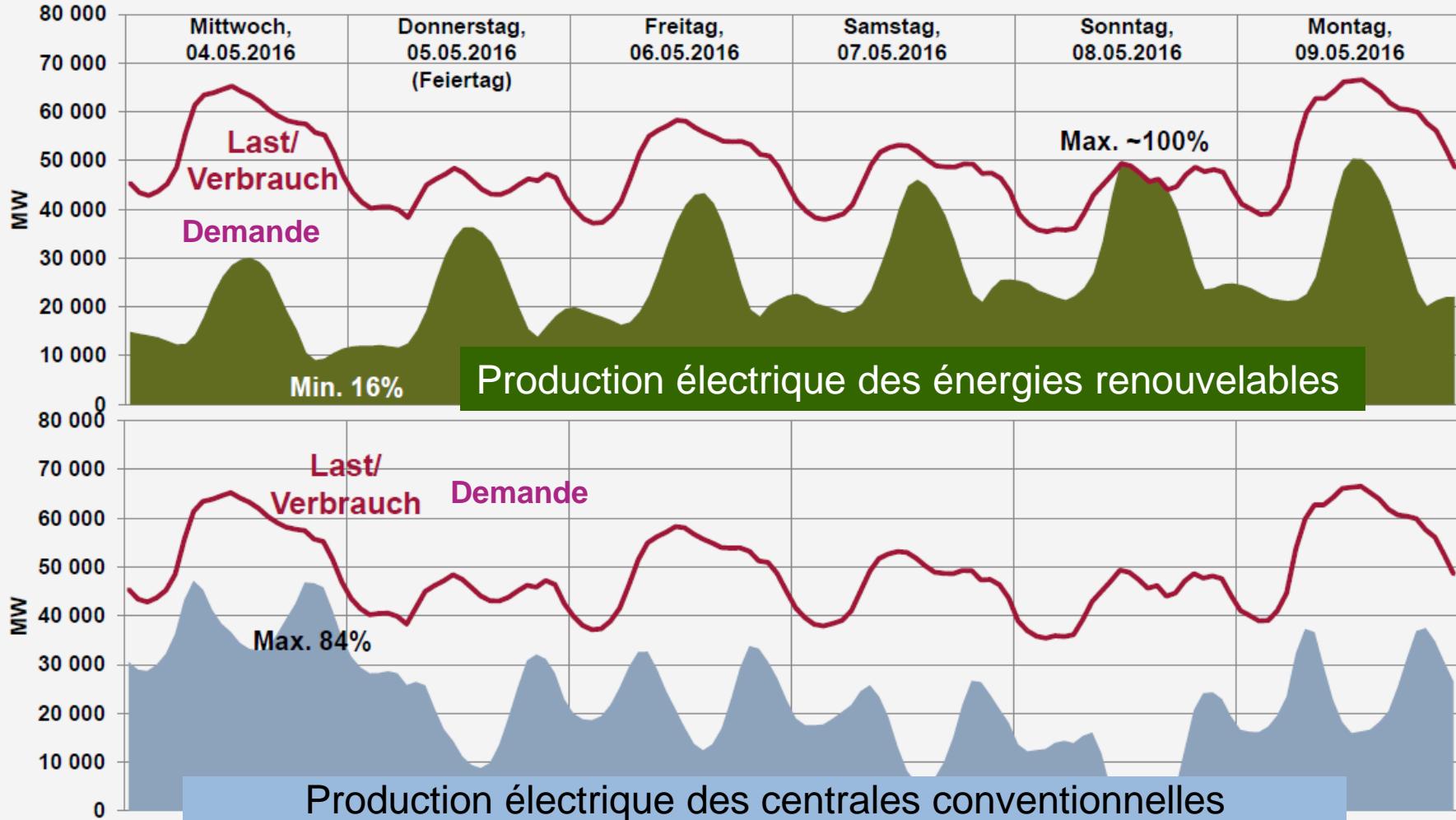
Défis liés à l'intermittence des énergies renouvelables (solaire, éolien) : 3 scénarios possibles





Intermittence de la production électrique des énergies renouvelables durant une semaine de mai 2016

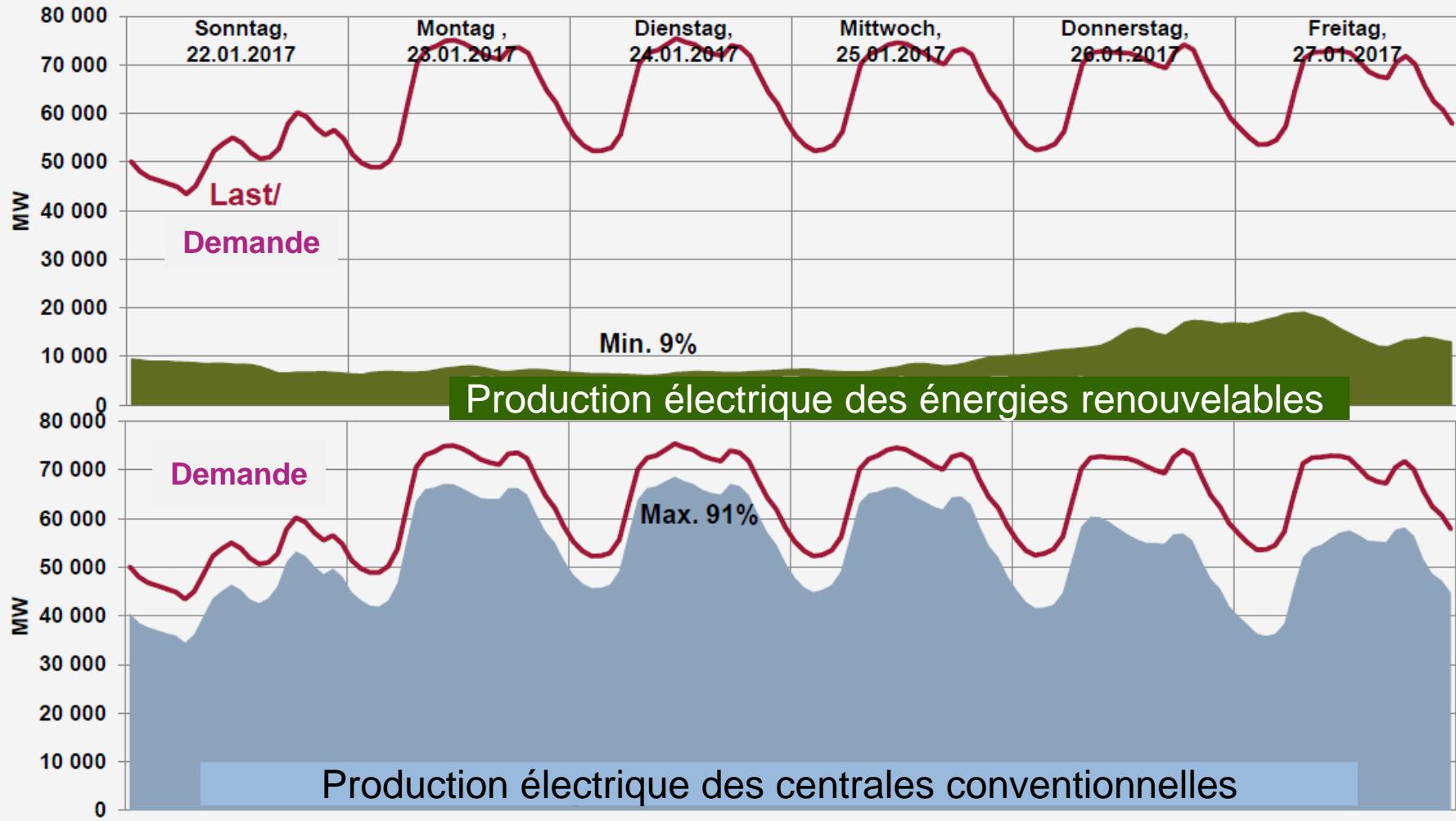
Situation d'une production élevée soumise à une forte variation (scénarios I et II)





Intermittence de la production électrique des énergies renouvelables durant une semaine en janvier 2017

Situation d'une faible production (scénario III)



Allemagne : Situation de la production électrique du 15. au 25. 01. 2019



15.1.2019, 17:00 h

Demande : 74,8 GW

PV = 0

Éolien = 38,1GW

FdC EnRi = 36,3%*

21.1.2019, 17:00 h

Demande : 71,6 GW

PV = 0

Éolien = 5,5 GW

FdC EnRi = 5,2%*

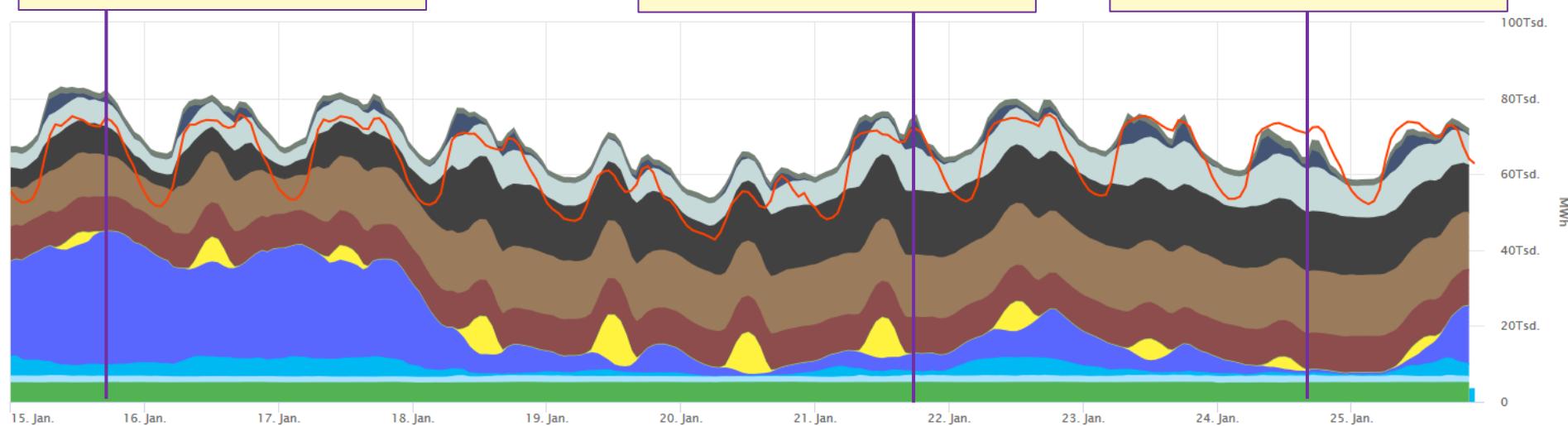
24.1.2019, 17:00 h

Demande : 72,3 GW

PV = 0

Éolien = 1,4 GW

FdC EnRi = 1,3%*



FdC : Facteur de Charge

Stromerzeugung - Realisierte Erzeugung

Biomasse Wasserkraft Wind Offshore Wind Onshore Photovoltaik Sonstige Erneuerbare

(i)

Kernenergie Braunkohle Steinkohle Erdgas Pumpspeicher Sonstige Konventionelle

(i)

Stromverbrauch - Realisierter Stromverbrauch

Gesamt

(i)

*) Capacité EnRi (éolien + PV) installée fin 2018 : ~ 105 GW

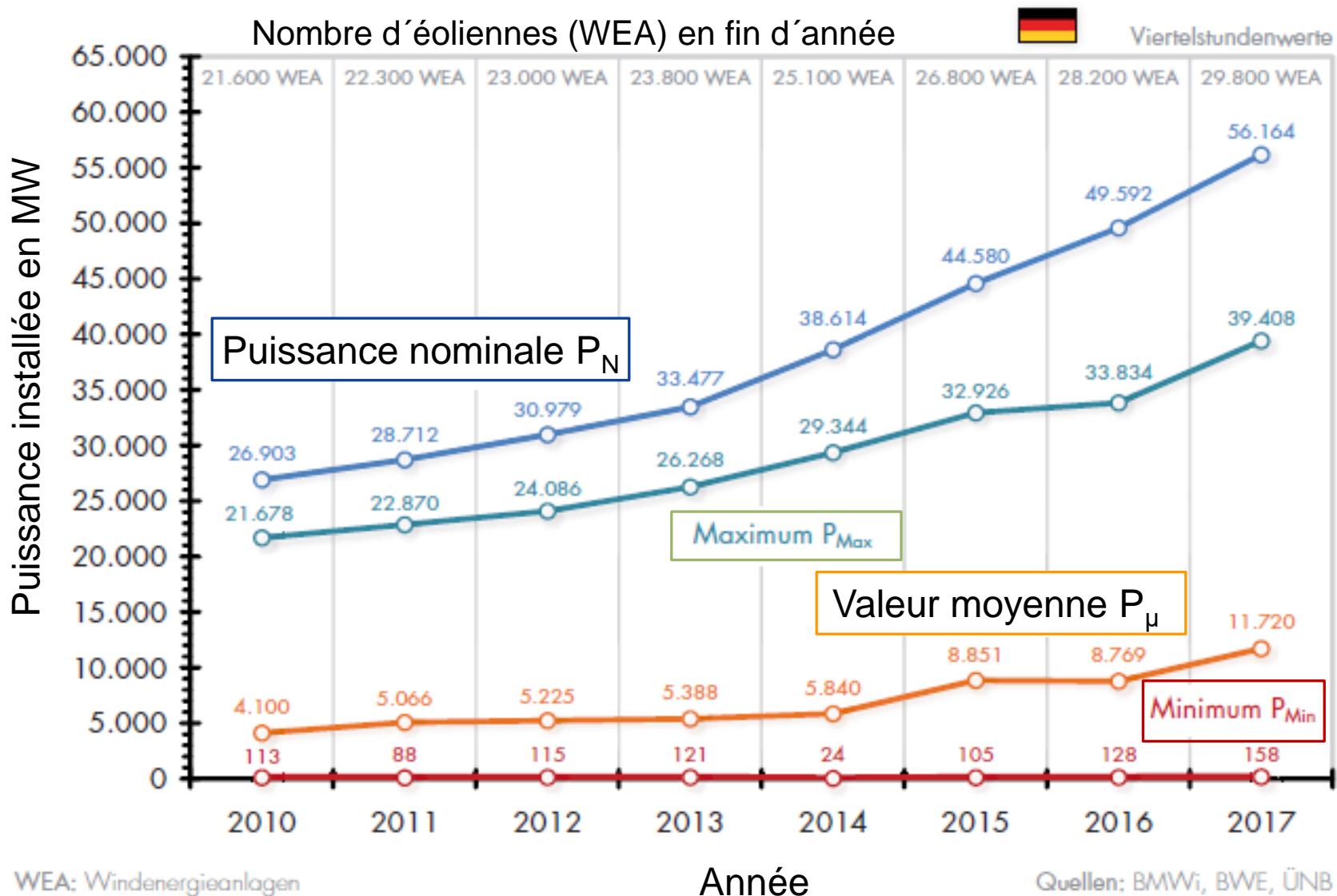
Dr.-Ing. Hartmut Lauer

Source : smard , BNetzA

Allemagne : Production éolienne 2010 à 2017

Coefficient d'utilisation ~ 21 % en 2017 (~ 18% en 2016)

Capacité garantie < 1% P_N



L'Allemagne dispose d'un parc thermique backup confortable pour suppléer aux carences des EnR fatales

Puissance installée fin 2018

Photovoltaïque

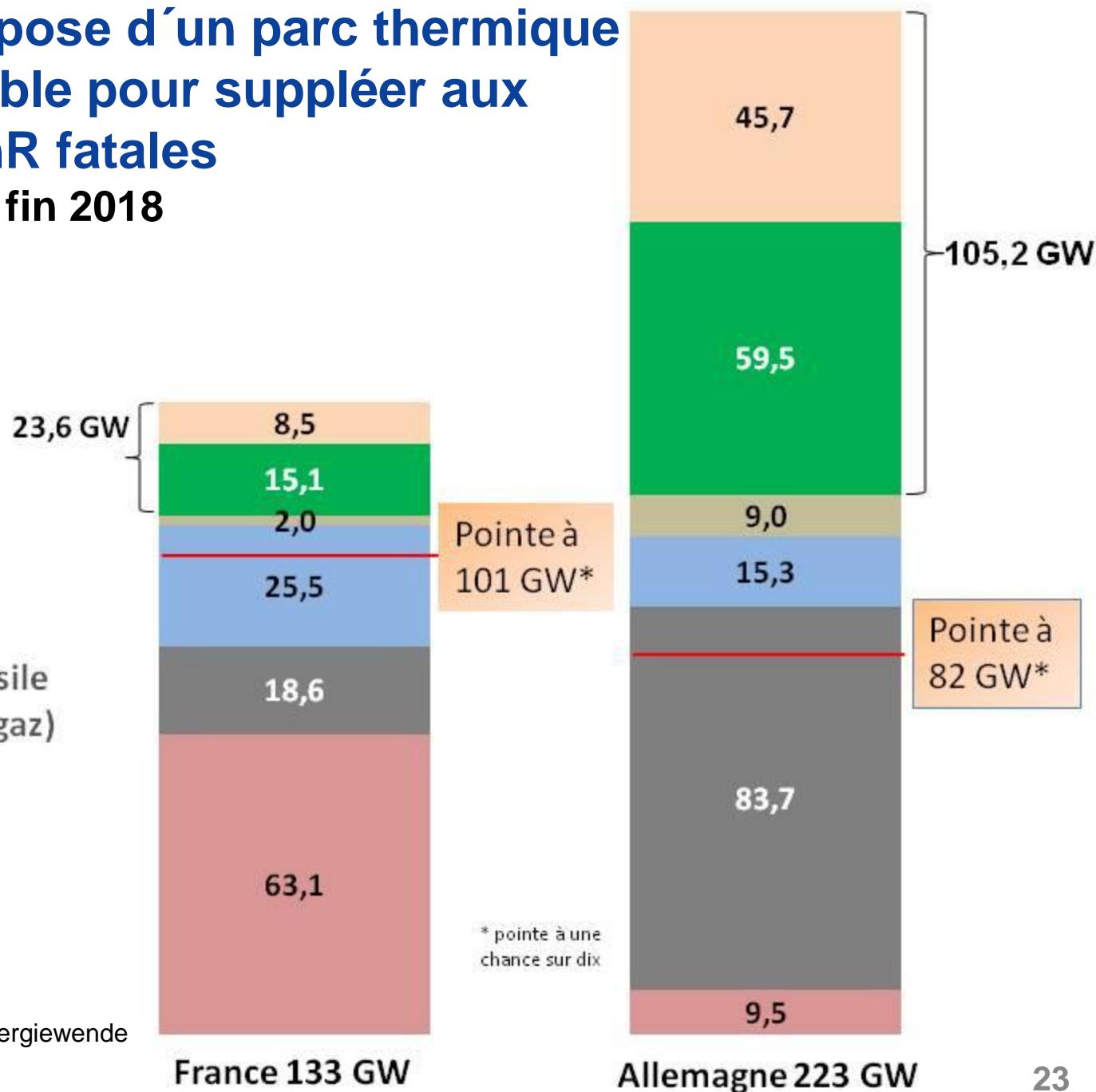
Eolien

Bioénergies

Hydroélectricité
y compris STEP

Thermique à
combustible fossile
(charbon, fioul, gaz)

Nucléaire



Source : RTE , BNetzA, AGORA Energiewende

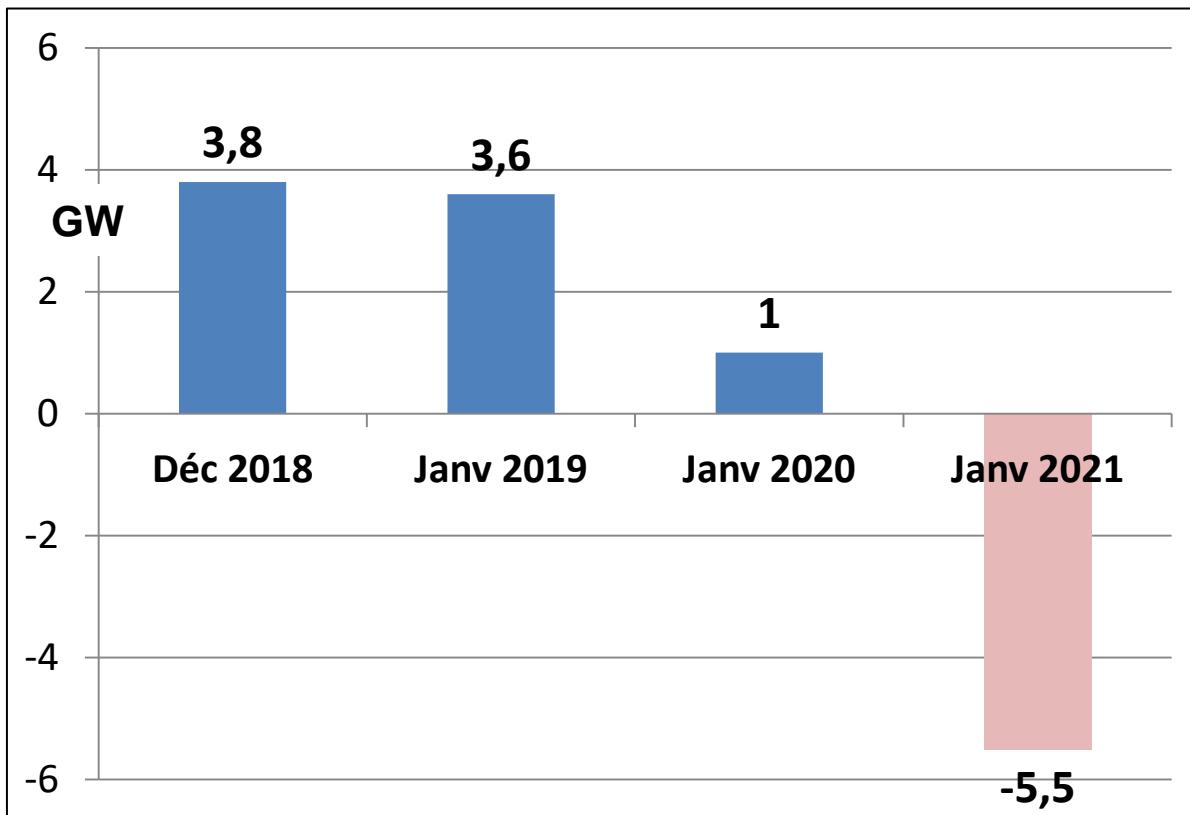
France 133 GW

Allemagne 223 GW



Evolution des marges en matière de sécurité d'approvisionnement en situation de pointe (hors importations)

Extrait des bilans prévisionnels de l'équilibre offre-demande, publiés en janvier 2019 par les quatre GRT allemands

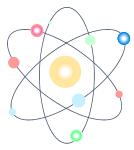


En 2022 :

- Arrêt définitif des dernières centrales nucléaires (4 GW)
- Arrêt préconisé des centrales à charbon et lignite (12,5 GW)

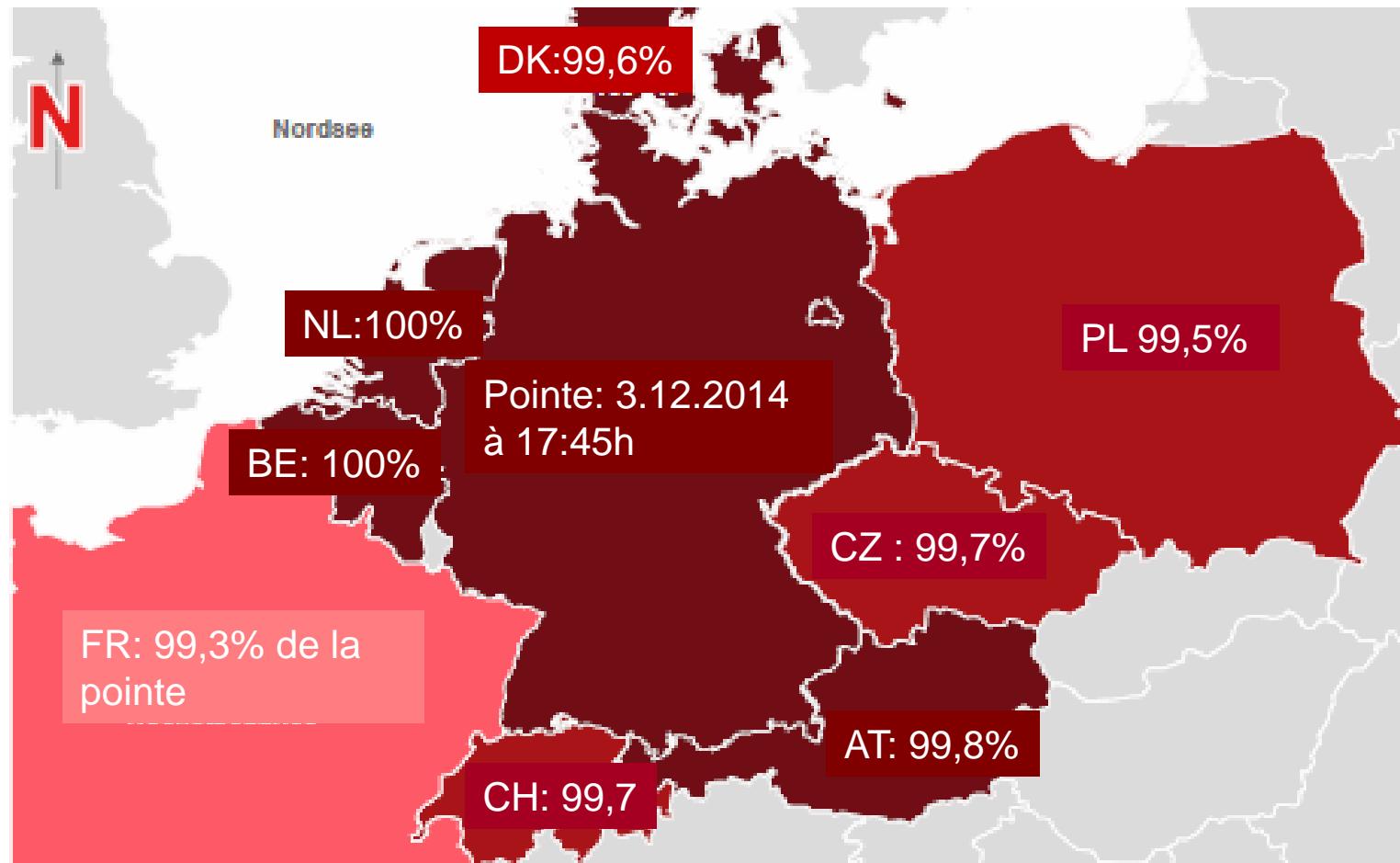
Hypothèses : pointe de consommation 81,6 GW après recours à l'interruptibilité de gros consommateurs industriels (1000 MW);

Disponibilité : 0% PV, 1% éolien, 65% bioénergies, 25% centrales au fil de l'eau et une capacité de réserve de moyens pilotables de 2,4 GW;
hors importations (capacité d'importation grâce aux interconnexions : 19,7 GW)



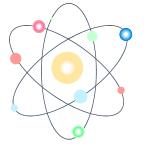
Situation dans les pays limitrophes au moment de la pointe en Allemagne (~ 79 GW) du 3.12. 2014, 17:45h

Une situation qui se répète régulièrement

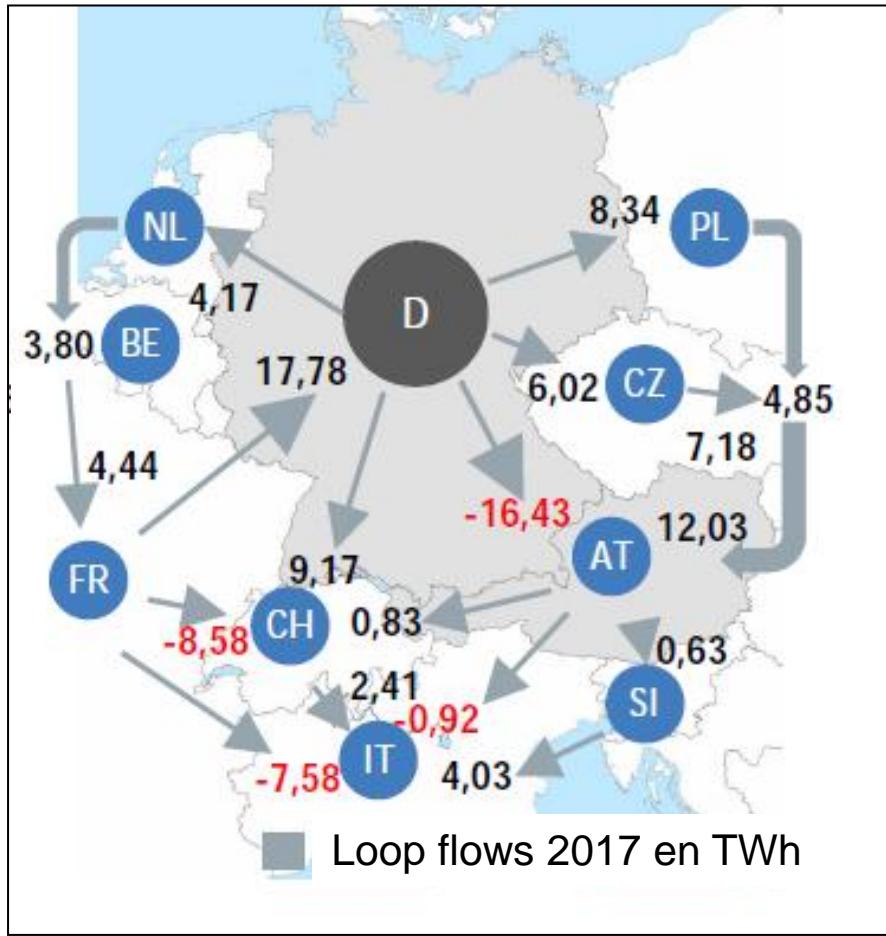


Le réseau électrique, épine dorsale du tournant énergétique

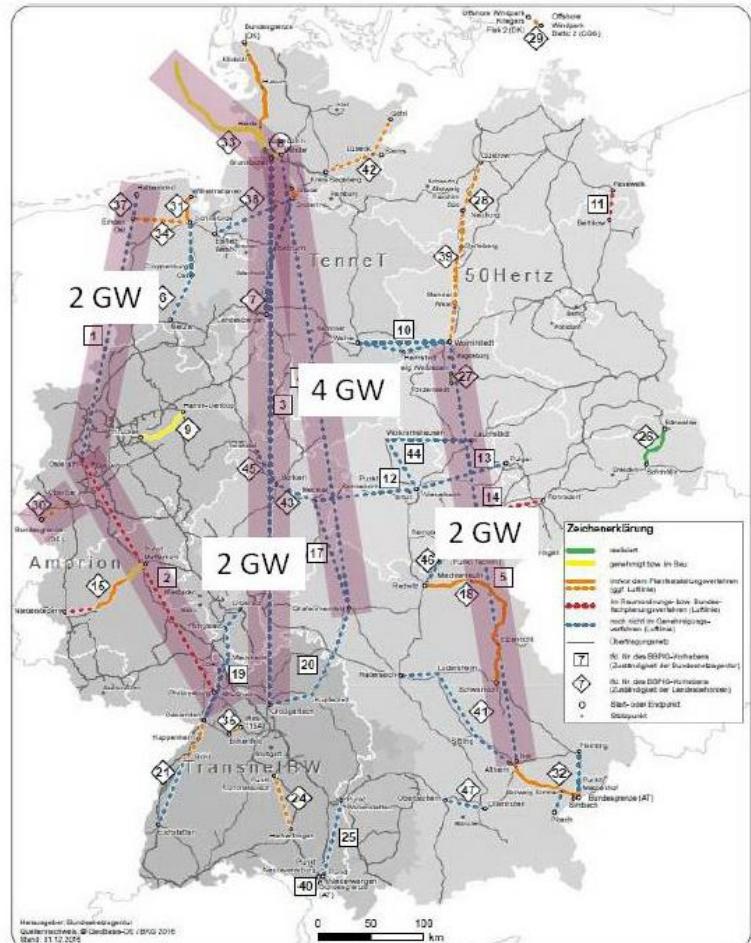
7700 km de lignes THT prioritaires, ~ 950 km réalisés fin 2018 (~ 12%)



Déséquilibre de production / demande entre le N et le S conduit à des « loop flows » (flux en boucle) dans les pays voisins

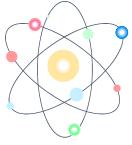


Remède: 4 tracés nord - sud en courant continu: longueur 2100 km, puissance 10 GW



Valeurs rouges : solde échanges physiques < solde échanges contractuels
Dr.-Ing. Hartmut Lauer

Source: Bundesnetzagentur 2018



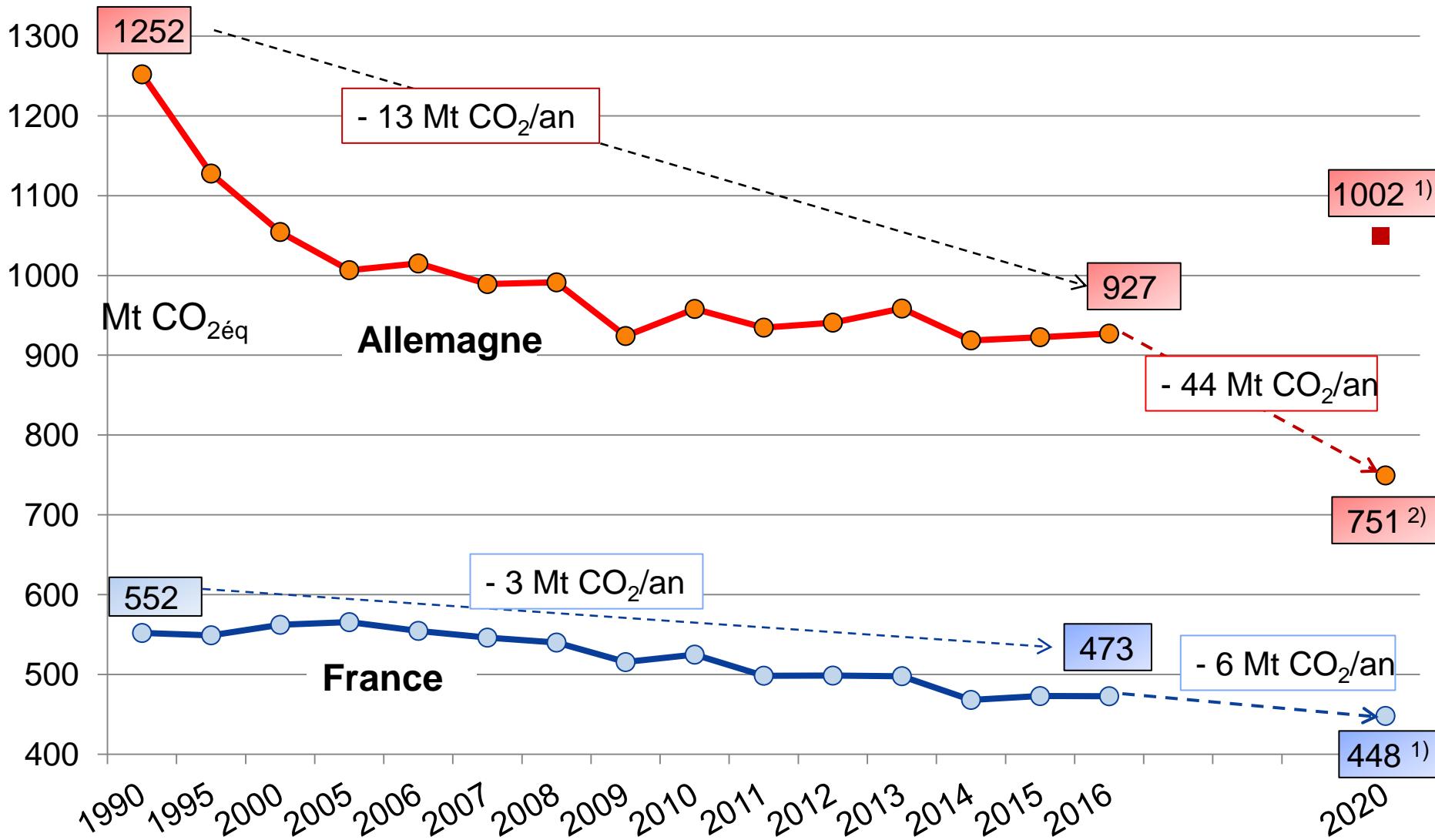
Sommaire

- Les mesures phares de la transition énergétique
France vs. Allemagne
- La mise en œuvre à l'horizon 2020
 - le nucléaire: une sortie programmée et irréversible
 - priorité au développement des énergies renouvelables
 - objectif principal: réduire les émissions CO₂
 - « efficiency first »: baisser la consommation et donc les émissions
 - et les coûts ?
- Conclusion

Emissions GES - France vs. Allemagne



Evolution et objectifs du paquet Climat et Energie 2020 de l'UE



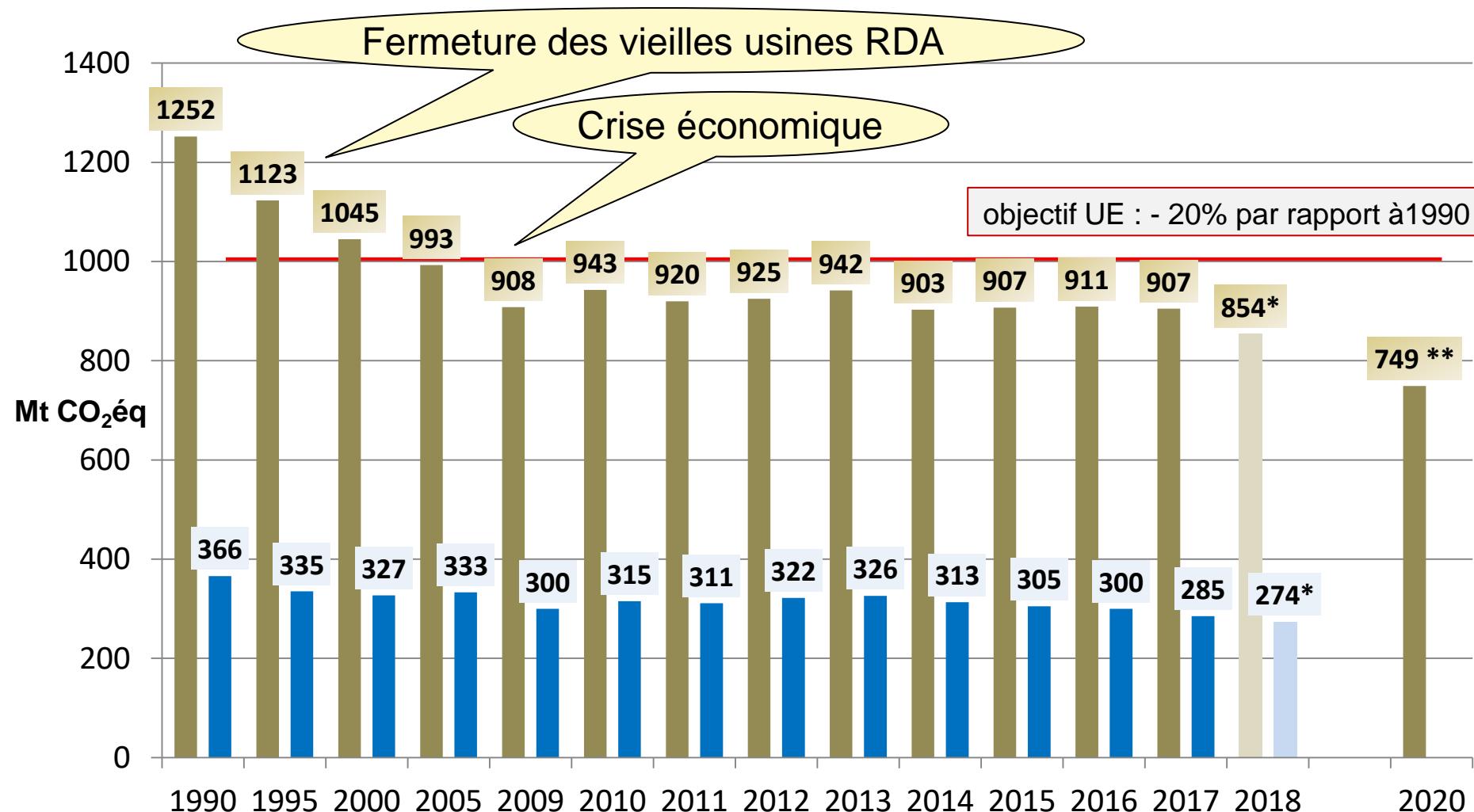
1) Objectif UE : - 20% d'ici 2020 par rapport à 1990

2) Objectif national : - 40% d'ici 2020 par rapport à 1990

Source: Eurostat, tableau t2020_30

Les émissions annuelles de CO₂ ont baissé de 32 % depuis 1990

Le mix électrique reste très carboné : 472 gCO₂/kWh contre 40 gCO₂/kWh en France

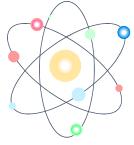


*) provisoire

■ Emissions totales

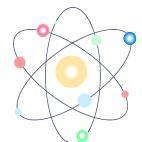
■ Production d'électricité

**) objectif national 2020
- 40% par rapport à 1990



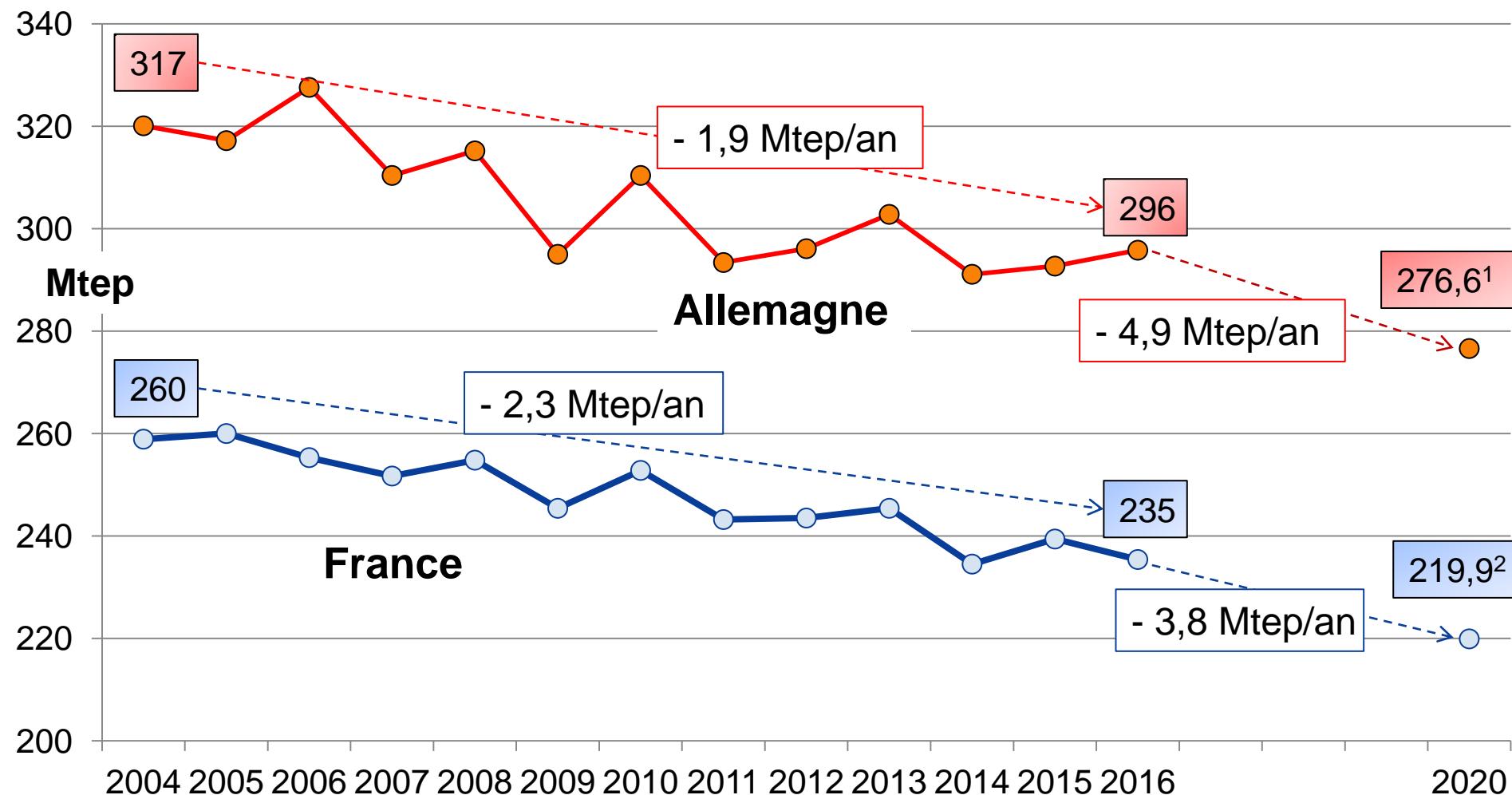
Sommaire

- Les mesures phares de la transition énergétique
France vs. Allemagne
- La mise en œuvre à l'horizon 2020
 - le nucléaire: une sortie programmée et irréversible
 - priorité au développement des énergies renouvelables
 - objectif principal: réduire les émissions CO₂
 - « efficiency first »: baisser la consommation et donc les émissions
 - et les coûts ?
- Conclusion



Paquet Climat et Energie 2020 de l'UE

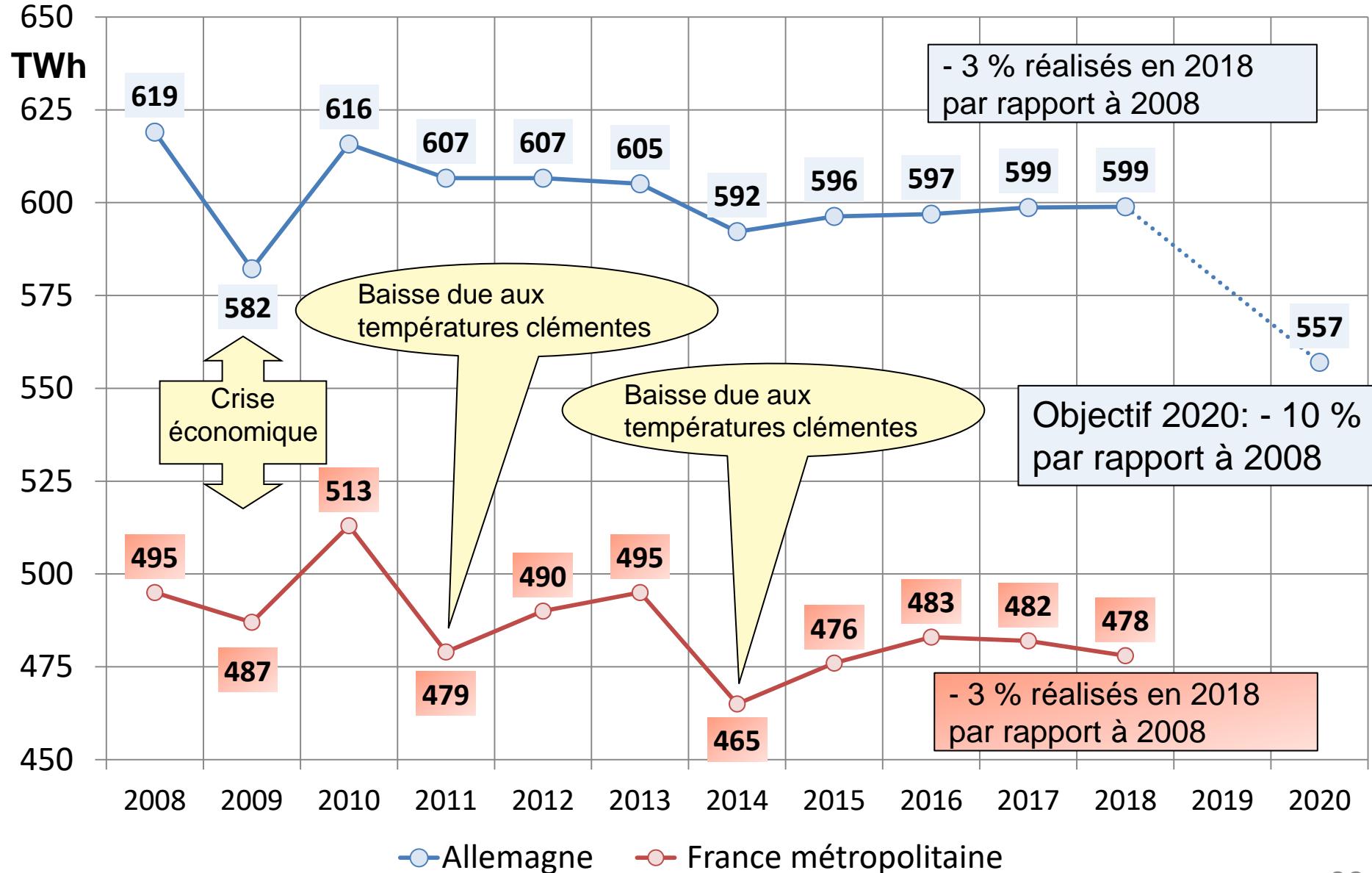
Augmentation de 20 % de l'efficacité énergétique correspondant à une diminution de 20 % de la consommation énergétique primaire

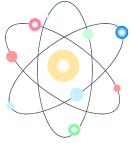


¹⁾ Objectif UE pour 2020 : 276,6 Mtep (- 15% par rapport à 2005), Objectif national - 20% d'ici 2020 par rapport à 2008

²⁾ Objectif national/UE pour 2020 : 219,9 Mtep (- 15% par rapport à 2005)

Réalisation d'économies d'électricité par la baisse de consommation brute (base 2008)



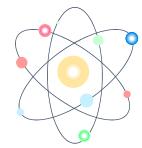


Sommaire

- Les mesures phares de la transition énergétique
France vs. Allemagne
- La mise en œuvre à l'horizon 2020
 - le nucléaire: une sortie programmée et irréversible
 - priorité au développement des énergies renouvelables
 - objectif principal: réduire les émissions CO₂
 - « efficiency first »: baisser la consommation et donc les émissions
 - et les coûts ?
- Conclusion

Coût estimé du tournant énergétique du secteur de l'électricité

2000 à 2025 : ~ 520 milliards d'€



Divers

R&D - EnR

subvention de la cogénération

développement réseau de distribution

développement réseau de transport

subvention EnR

prix négatif sur marché spot

raccordement offshore

arrêt prématué de 8 centrales à lignite

bonifications d'intérêts sur un prêt (investissement EnR)

dépréciation de la valeur comptable du parc thermique

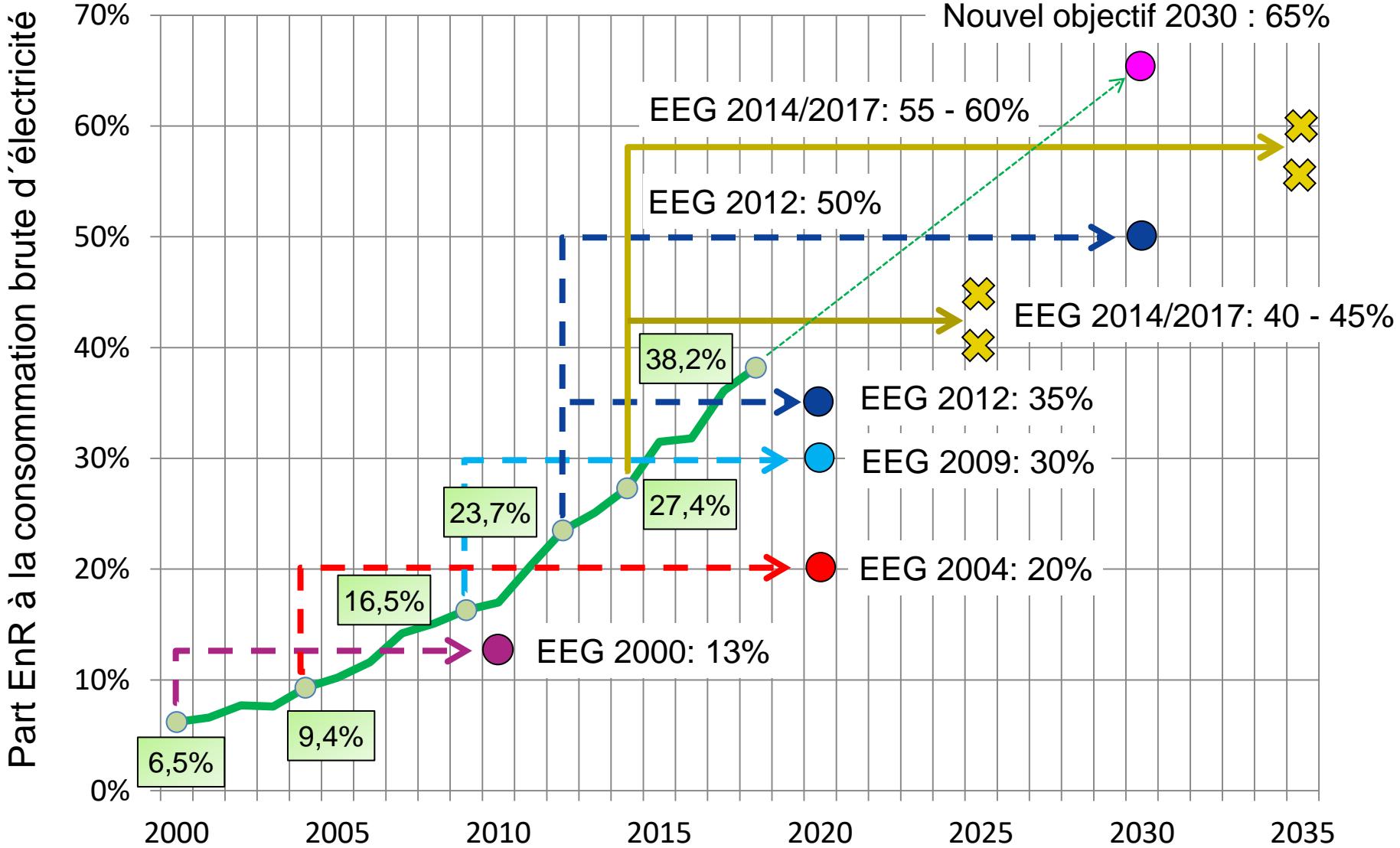
maintien stabilité du réseau

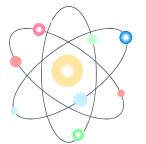


Source: DICE Consult GmbH - Université de Düsseldorf 2016

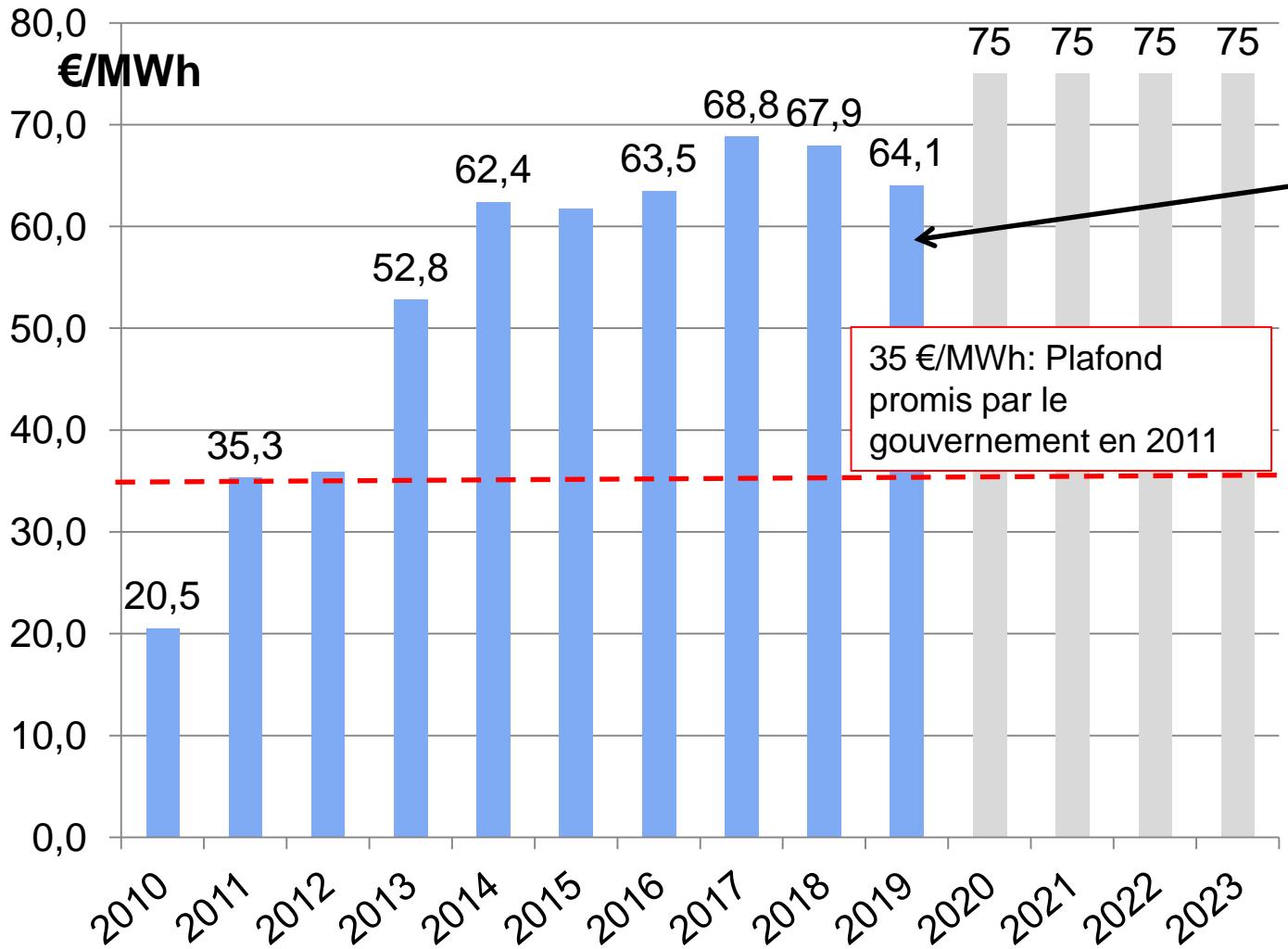
Les adaptations successives de la loi sur les EnR (EEG)

EEG 2017: soutien aux EnR déterminé par appels d'offres



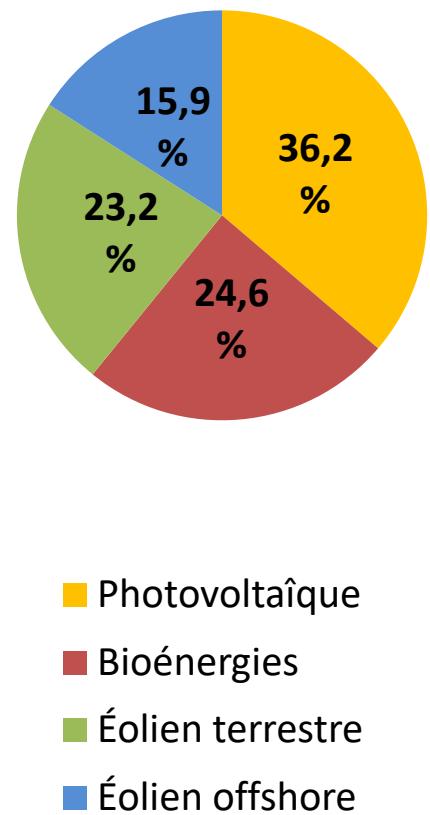


Evolution des charges de soutien aux énergies renouvelables



N.B. : à partir de 2020 il s'agit de prévisions

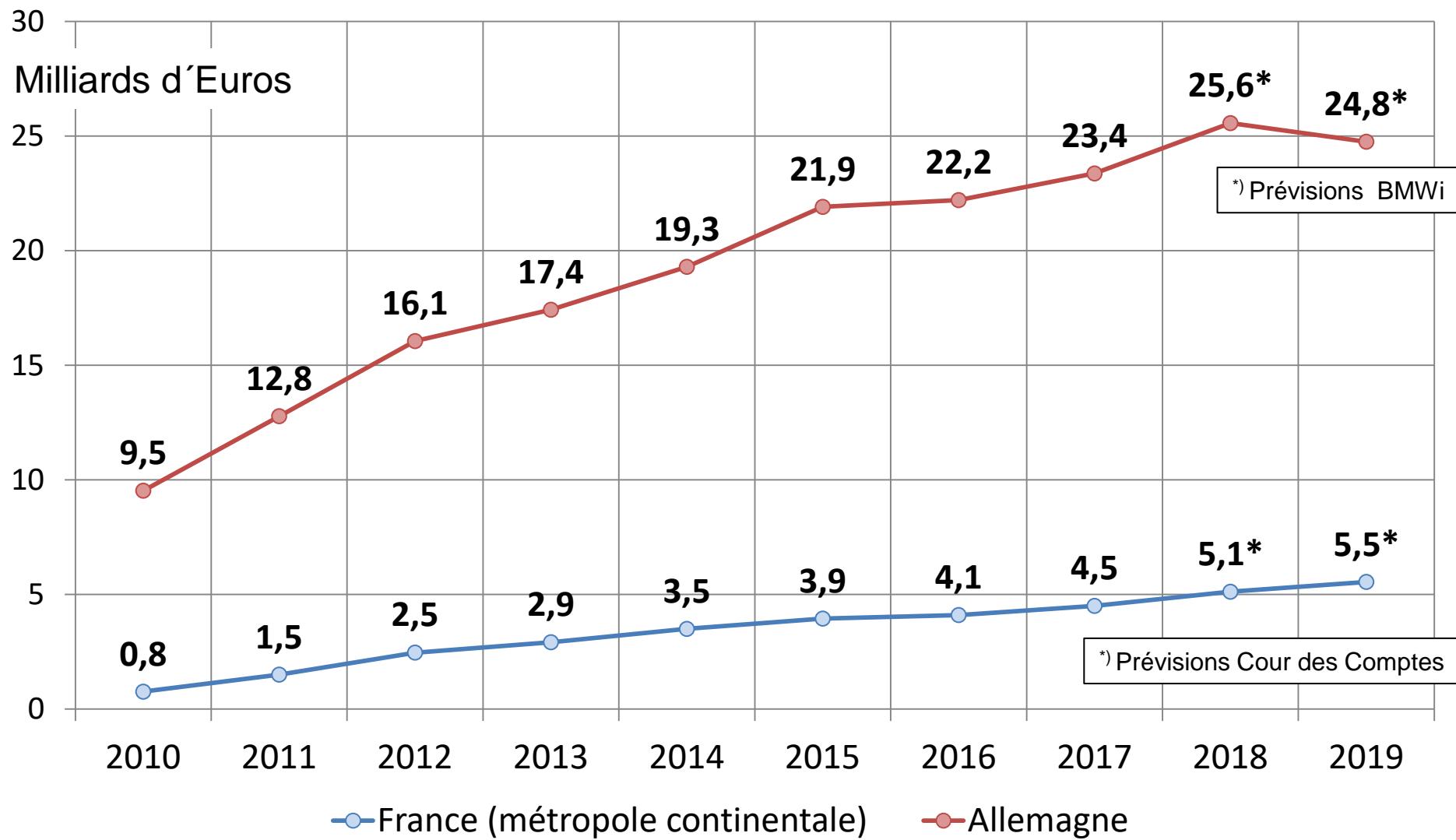
Répartition du soutien sur les différentes filières en 2019



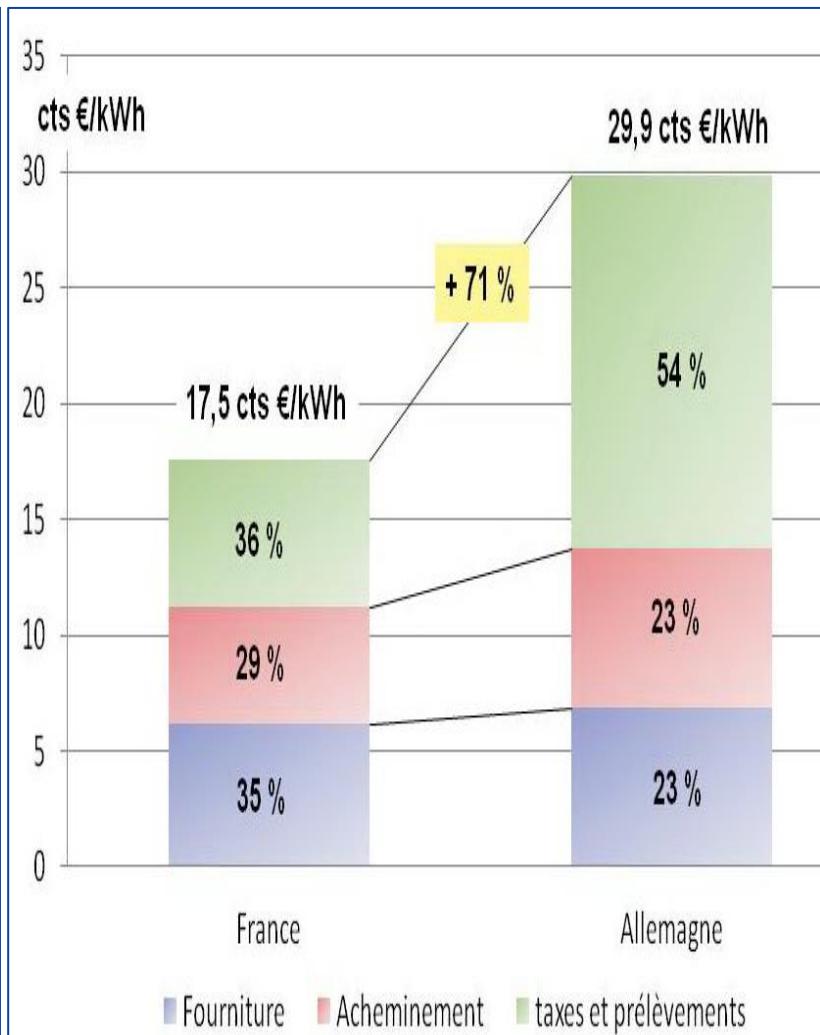
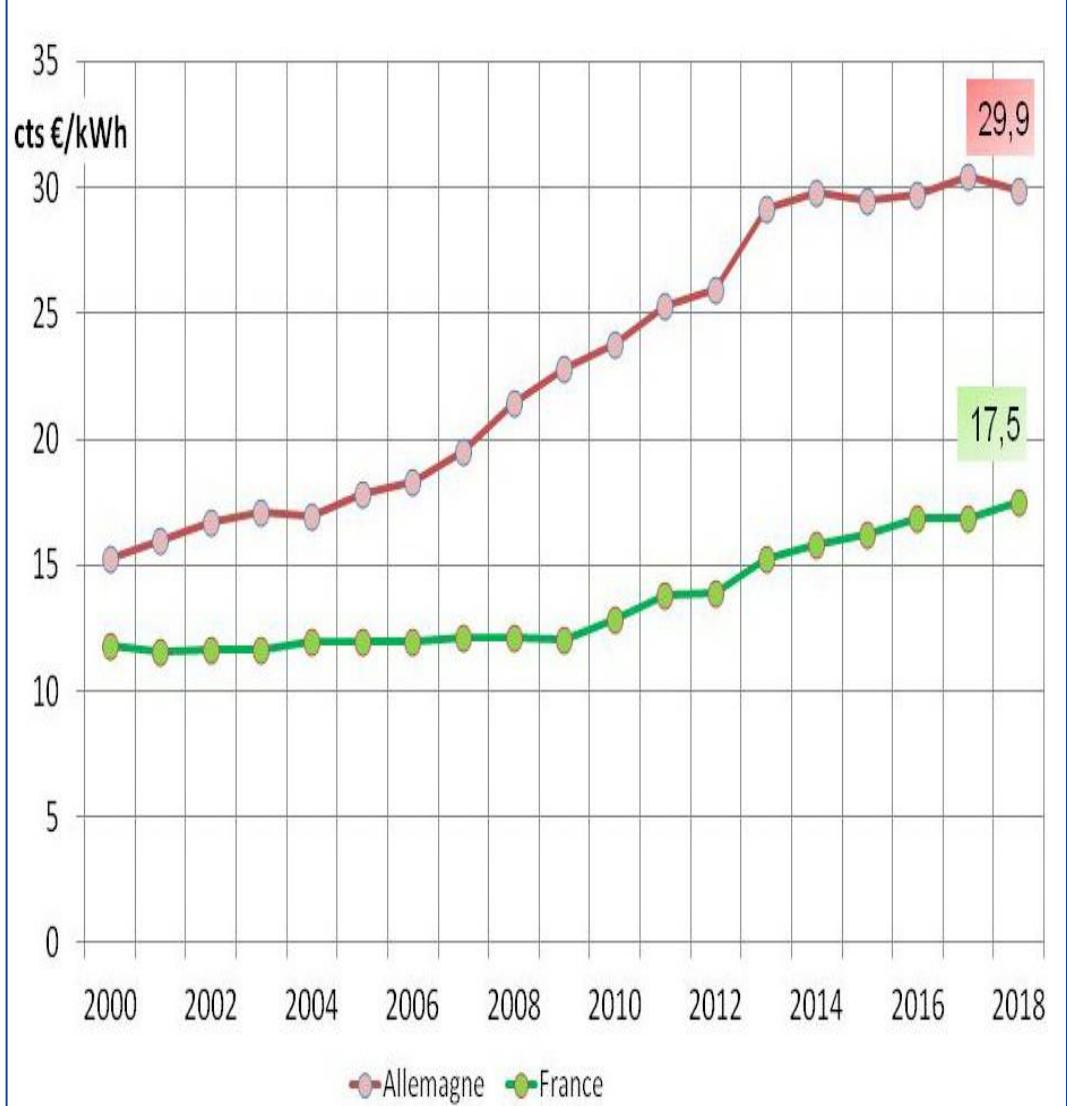
Historique des charges de soutien aux énergies renouvelables : Allemagne vs. France



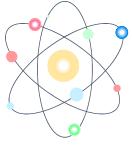
(Différence entre le tarif de rachat et le prix de revente sur le marché spot)



Evolution du prix moyen de l'électricité¹ 2018 des ménages en France et en Allemagne (taxes et prélèvements compris)



¹ Pourcentages calculés à partir des valeurs 2017 : 2 500 kWh < Consommation < 5 000 kWh



Sommaire

- Les mesures phares de la transition énergétique
France vs. Allemagne
- La mise en œuvre à l'horizon 2020
 - le nucléaire: une sortie programmée et irréversible
 - priorité au développement des énergies renouvelables
 - objectif principal: réduire les émissions CO₂
 - « efficiency first »: baisser la consommation et donc les émissions
 - et les coûts ?
- Conclusion

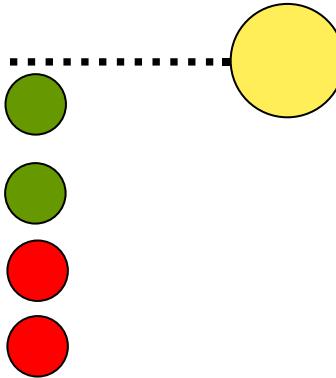
Résumé : Bilan actuel du Tournant Energétique

Écarts par rapport aux objectifs pour 2020



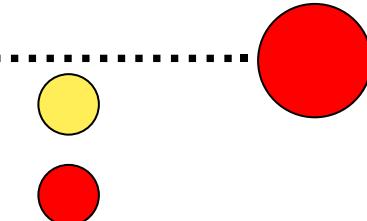
Sécurité Approvisionnement.....

- Capacité de production garantie
- Pannes de courant non prévues
- Interventions des GRT*
- Développement du réseau



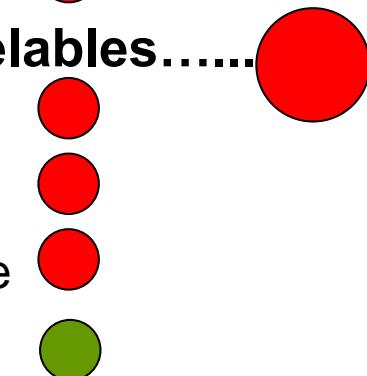
Économie (Coûts d'électricité).....

- Coûts du kWh pour l'industrie
- Coûts du kWh pour les ménages



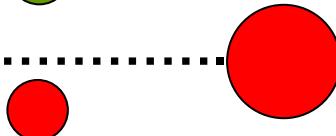
Efficacité énergétique et énergies renouvelables.....

- Evolution consommation d'électricité
- Productivité énergétique
- Evolution consommation énergétique primaire
- Part EnR à la consommation d'électricité



Impact environnemental.....

- Réduction d'émissions GES**



Conclusion : Le tournant énergétique donne bonne conscience aux allemands...



- Le tournant énergétique est (encore) considéré par le gouvernement allemand comme une réussite. L'adhésion des citoyens au projet reste forte (> 90%) mais trois quarts estiment que le gouvernement doit faire plus pour la protection du climat
- Contrairement aux idées reçues, le tournant énergétique n'a conduit ni à la réouverture des centrales à charbon ni à une désindustrialisation du pays
- Malgré une part importante (105 GW) d'énergies renouvelables intermittentes, l'Allemagne fait toujours partie du groupe de tête en matière de sécurité d'approvisionnement grâce au parc thermique de ~ 100 GW en backup
- Confiance dans la technologie pour trouver des solutions aux problèmes techniques, en particulier espoir dans le stockage d'énergie à grande échelle et la digitalisation du réseau pour mieux intégrer les énergies renouvelables intermittentes

... mais il reste peu efficace en matière de protection du climat



- Focalisation sur le secteur de l'électricité : le mix électrique est encore très carboné et la décarbonisation se poursuit très lentement suite au remplacement d'une énergie décarbonée (le nucléaire) par une autre (les EnR)
- Les émissions des autres secteurs (bâtiment, chaleur et refroidissement, transports), responsables pour deux tiers des émissions, ne baissent pas suffisamment
- Ecarts par rapport à la majorité des objectifs du tournant énergétique pour 2020 : L'objectif phare « Réduction des émissions de gaz à effet de serre de 40% par rapport à 1990 » serait atteint à seulement 80%
- Selon un sondage récent*, la sortie du nucléaire est perçue comme prioritaire par la moitié des citoyens (49,5%) alors que 44,1% estiment qu'il fallait commencer par la sortie du charbon : la question de la plus grande nuisibilité du nucléaire ou du charbon suit leur appartenance politique

* Sondage effectué par Civey (Berlin) du 15 au 18 février 2019 auprès de 5006 personnes



Merci de votre attention !

Pour plus d'information (en français) sur la transition énergétique allemande
voir site web : <https://allemagne-energies.com/>

Le tournant énergétique allemand : <https://allemagne-energies.com/tournant-energetique>

Rapide historique de la sortie du nucléaire en Allemagne : <https://allemagne-energies.com/sortie-du-nucleaire>

Énergies renouvelables : de nombreux défis : <https://allemagne-energies.com/energies-renouvelables>

Bilans énergétiques : comparaison Allemagne et France : <https://allemagne-energies.com/bilans-energetiques>