

La transition énergétique

Pierre Bornard

Un large consensus...

Energiewende ... *Energy Transition* ...
...*Transition énergétique* ... Transizione energetica...

... mais quelle signification?

- Diminution des émissions de CO2 ?
- Développement des énergies renouvelables ?
- Sortie du nucléaire ?
- Sobriété énergétique ?
- Fin du diesel ?
- Développement durable ?



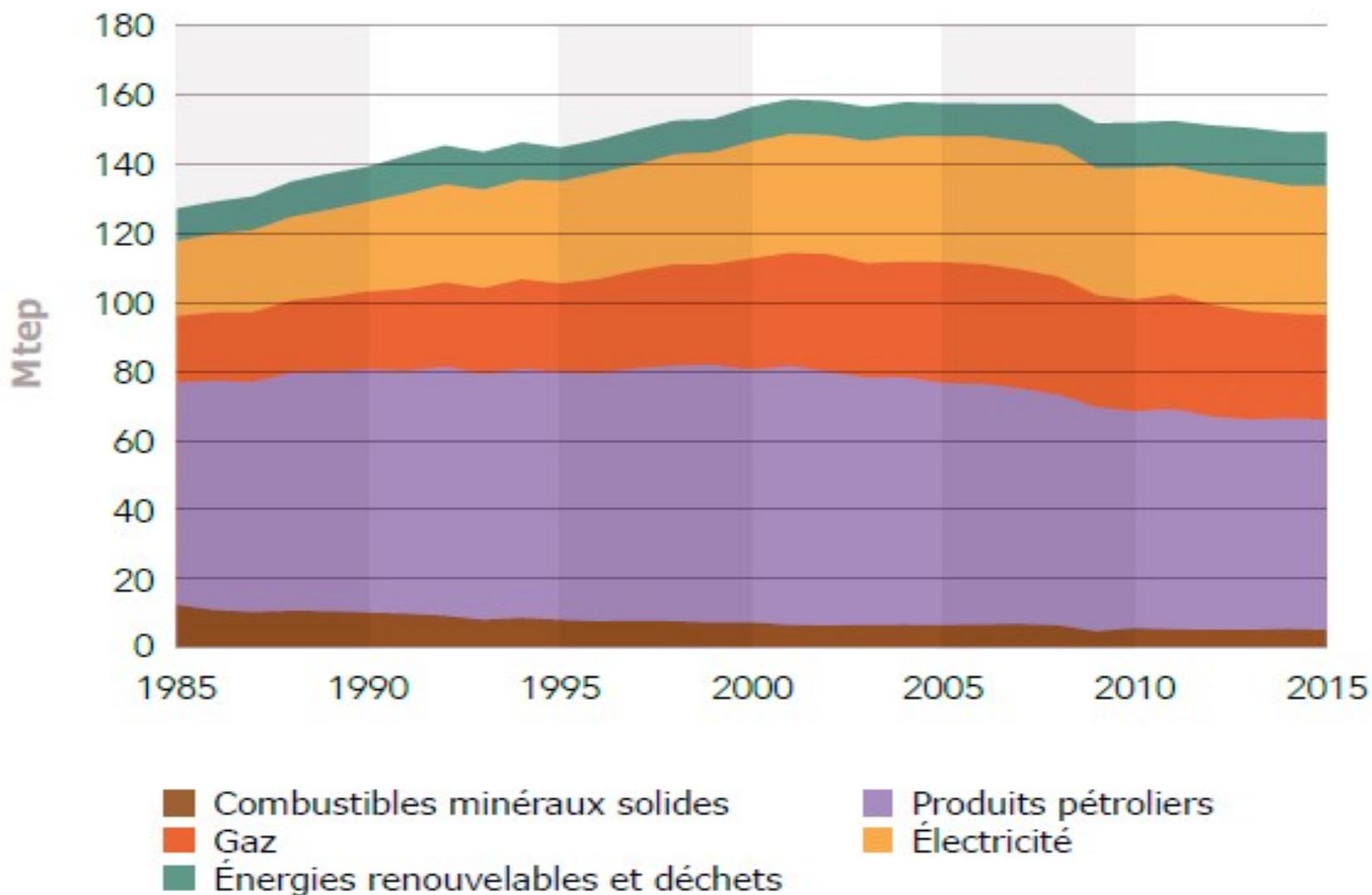


... et un vaste sujet !

Un projet de société ? ...

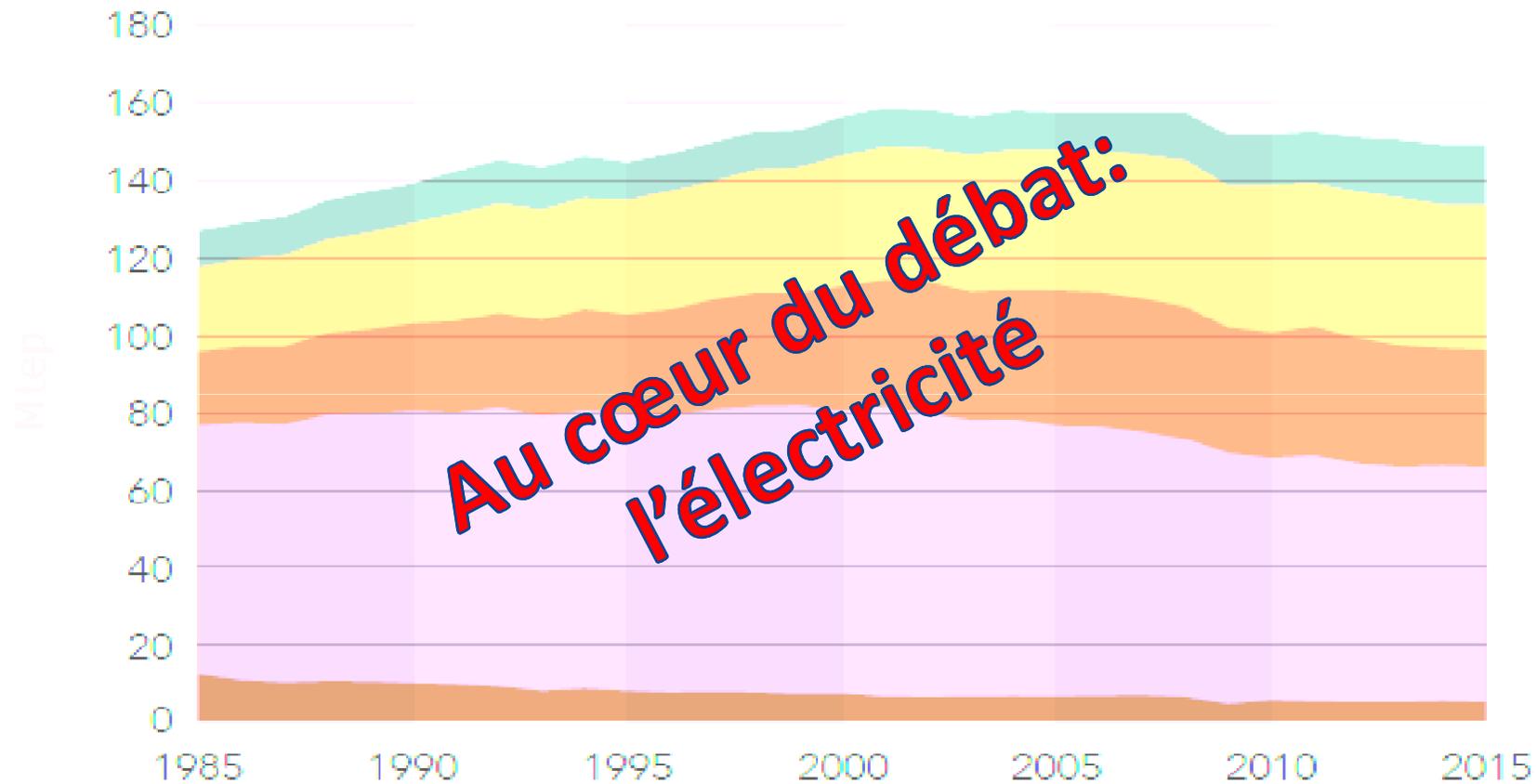
Consommation finale d'énergie

France métropolitaine



Consommation finale d'énergie

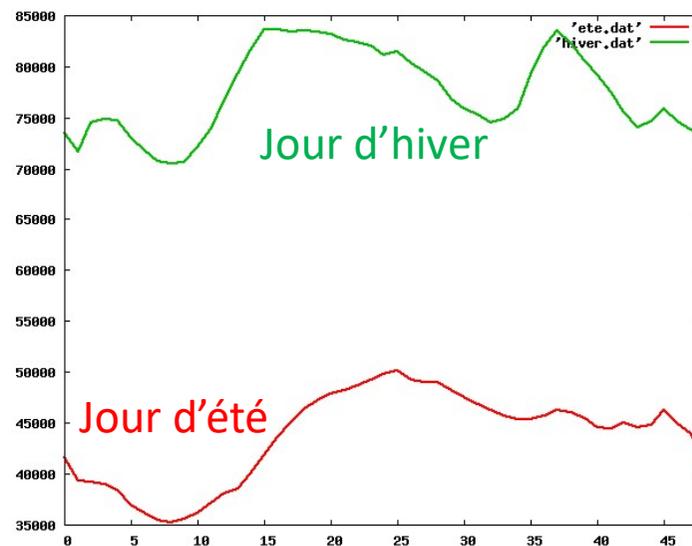
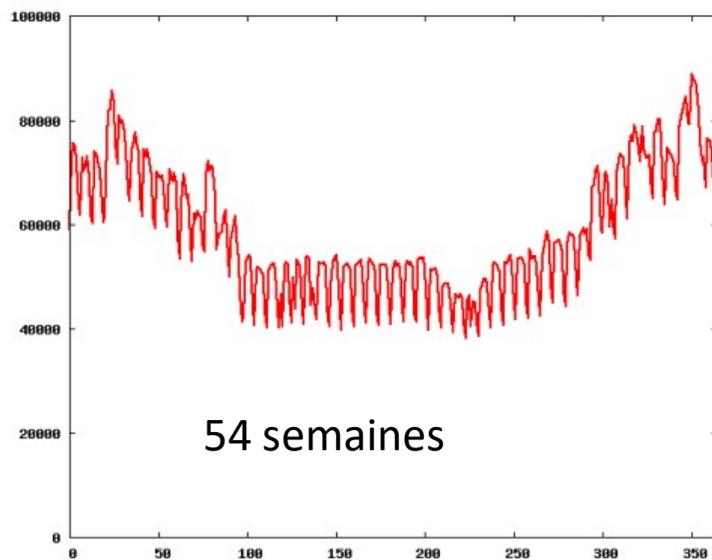
France métropolitaine



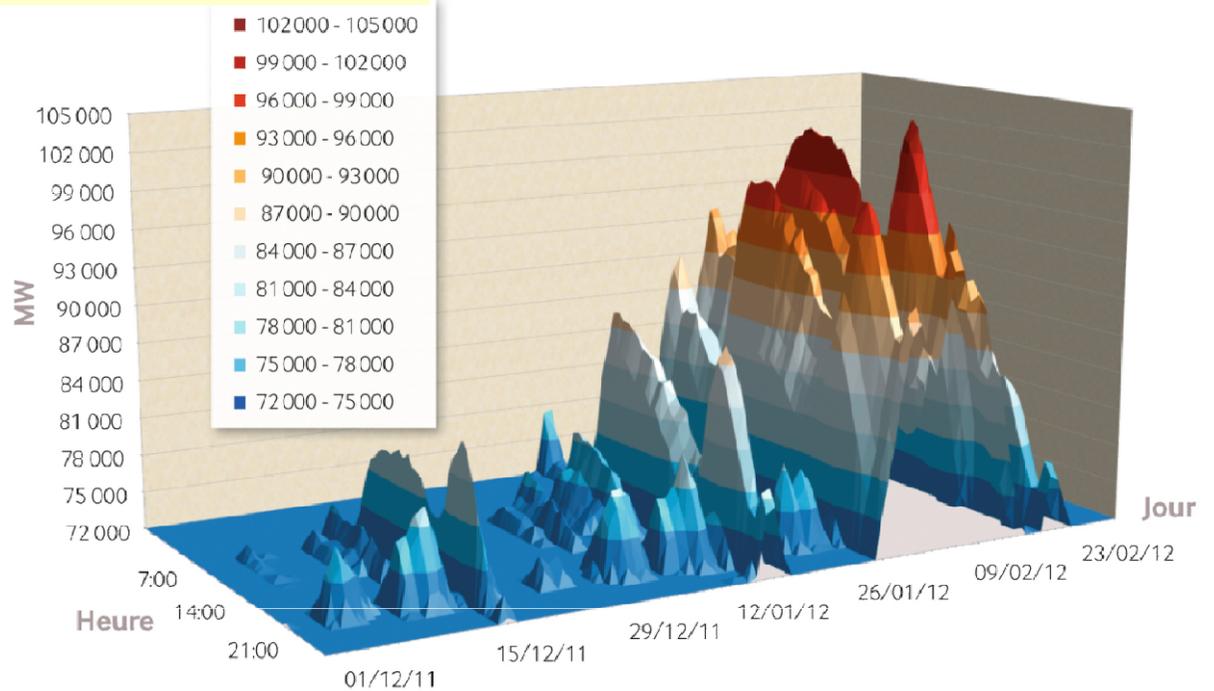
- Combustibles minéraux solides
- Gaz
- Énergies renouvelables et déchets
- Produits pétroliers
- Électricité

La consommation d'électricité en France

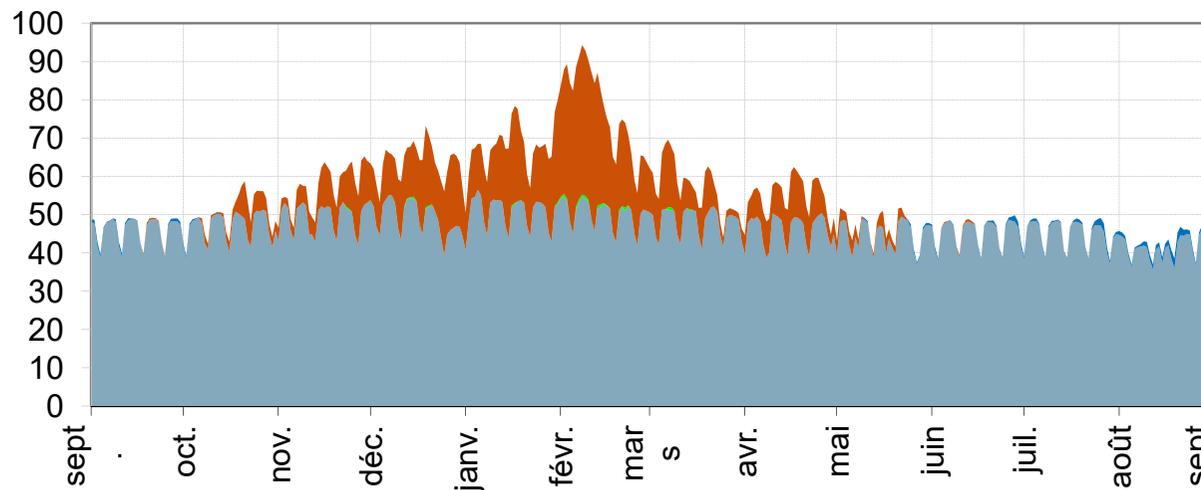
Les variations de la consommation sont cycliques : saison, semaine, journée.



Le chauffage électrique en France

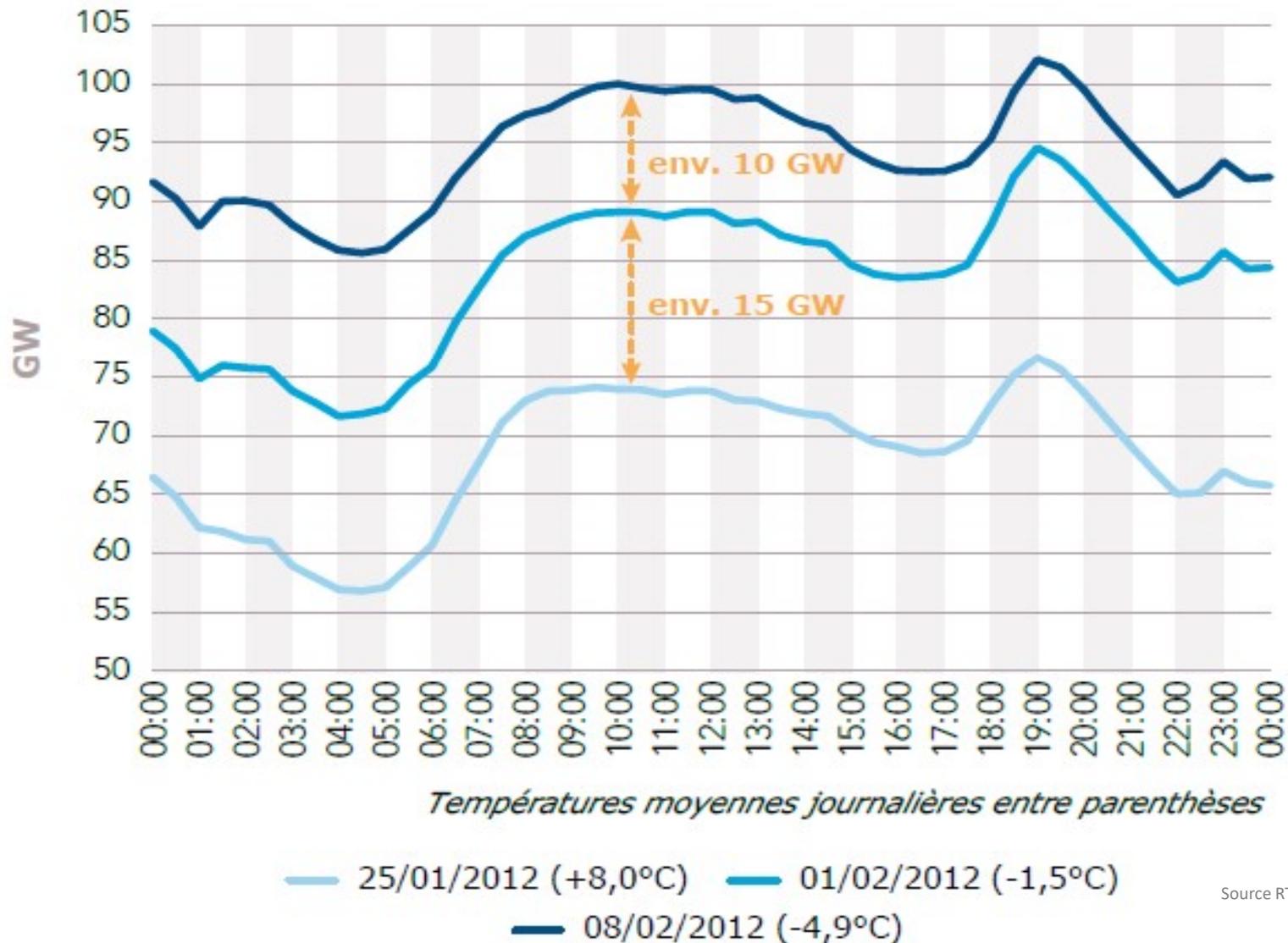


... de 70 GW à plus de 100 GW en quelques heures

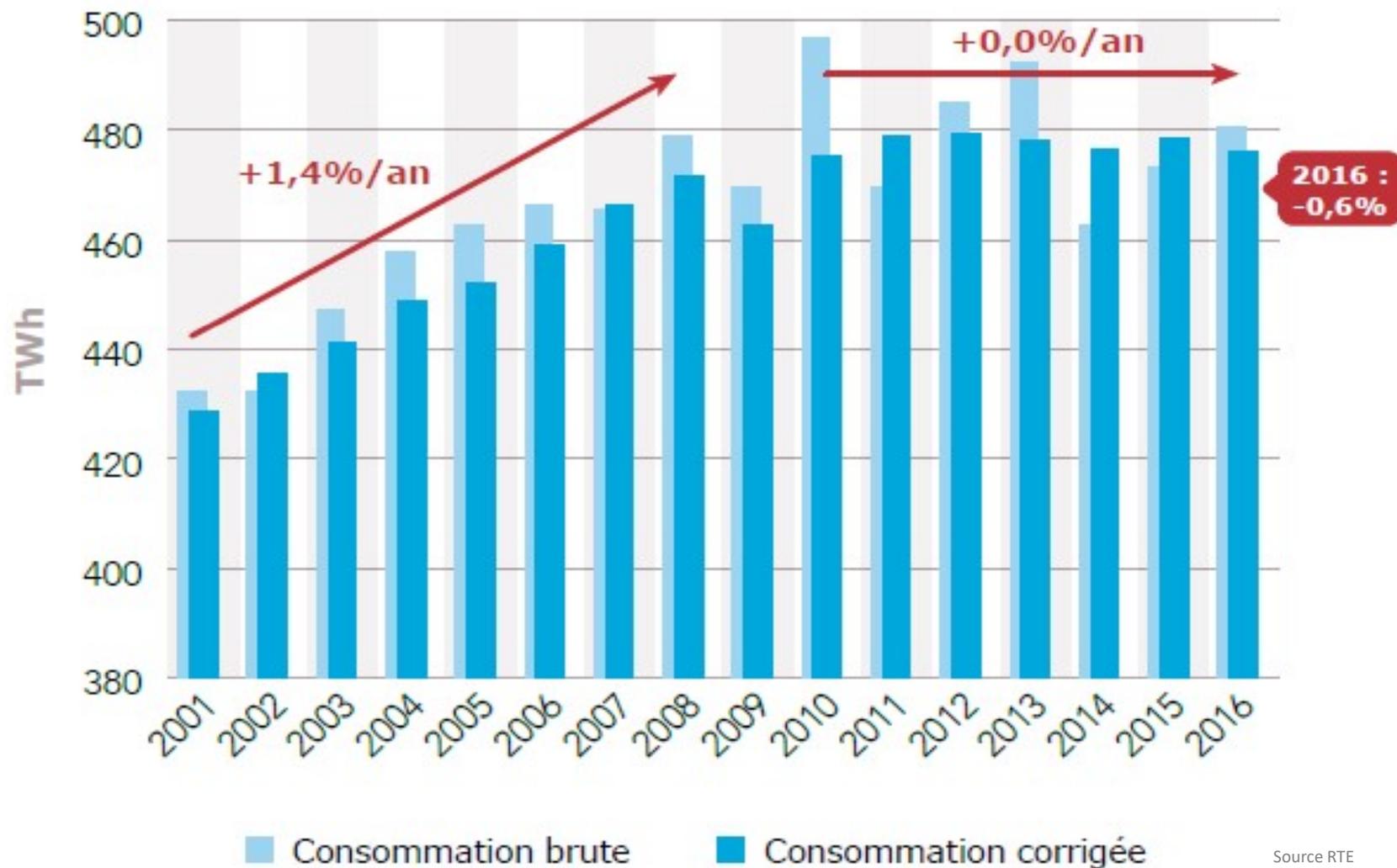


Source RTE

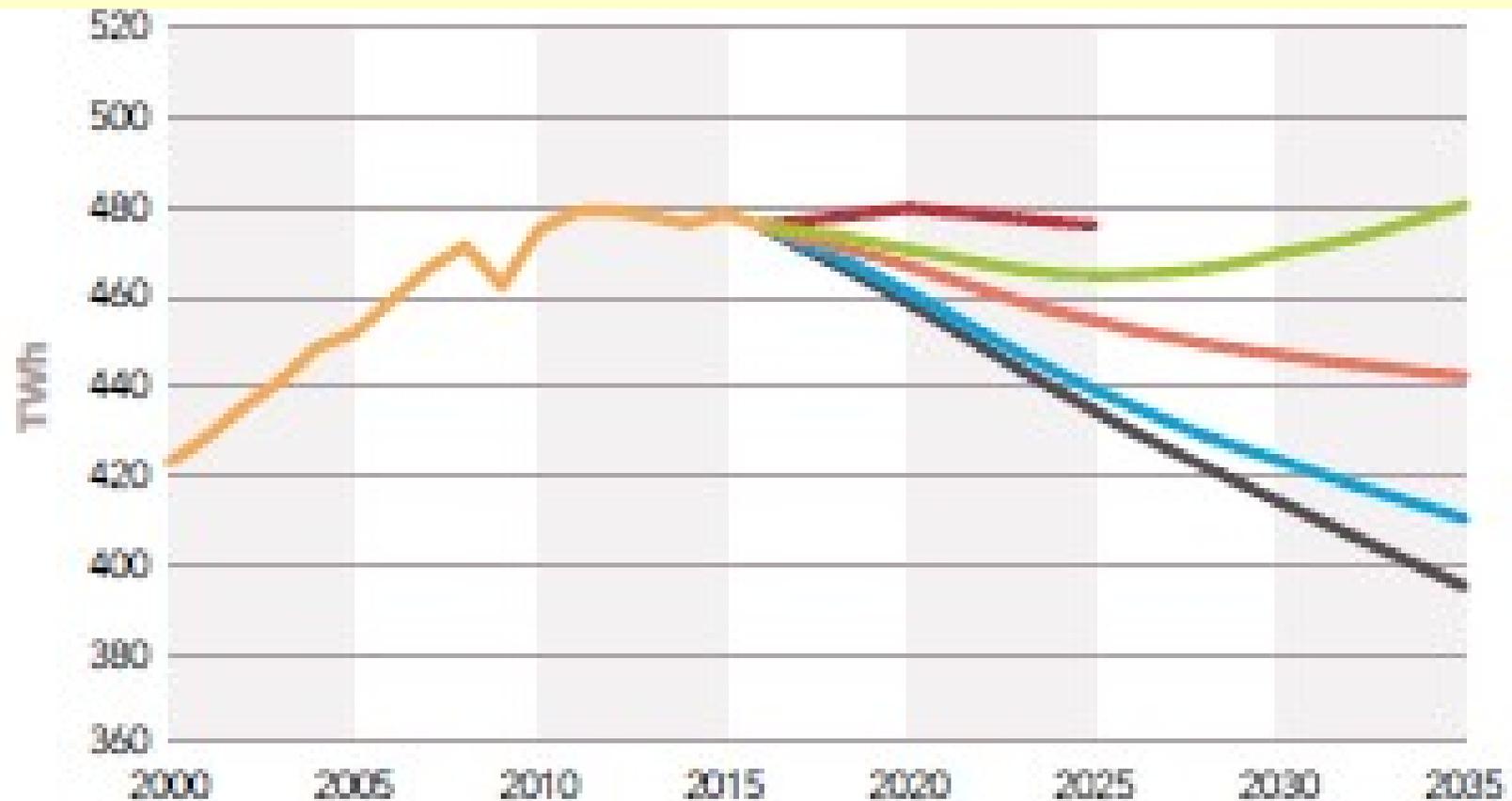
Consommations journalières autour de la vague de froid de février 2012



Consommation électrique en France continentale



Scénarios de consommation intérieure annuelle d'électricité en France continentale



Facteurs d'influence :

- PIB
- efficacité énergétique
- climat
- démographie
- transferts d'usage
- etc.
- 'décohabitation'
- nouveaux usages (mobilité)

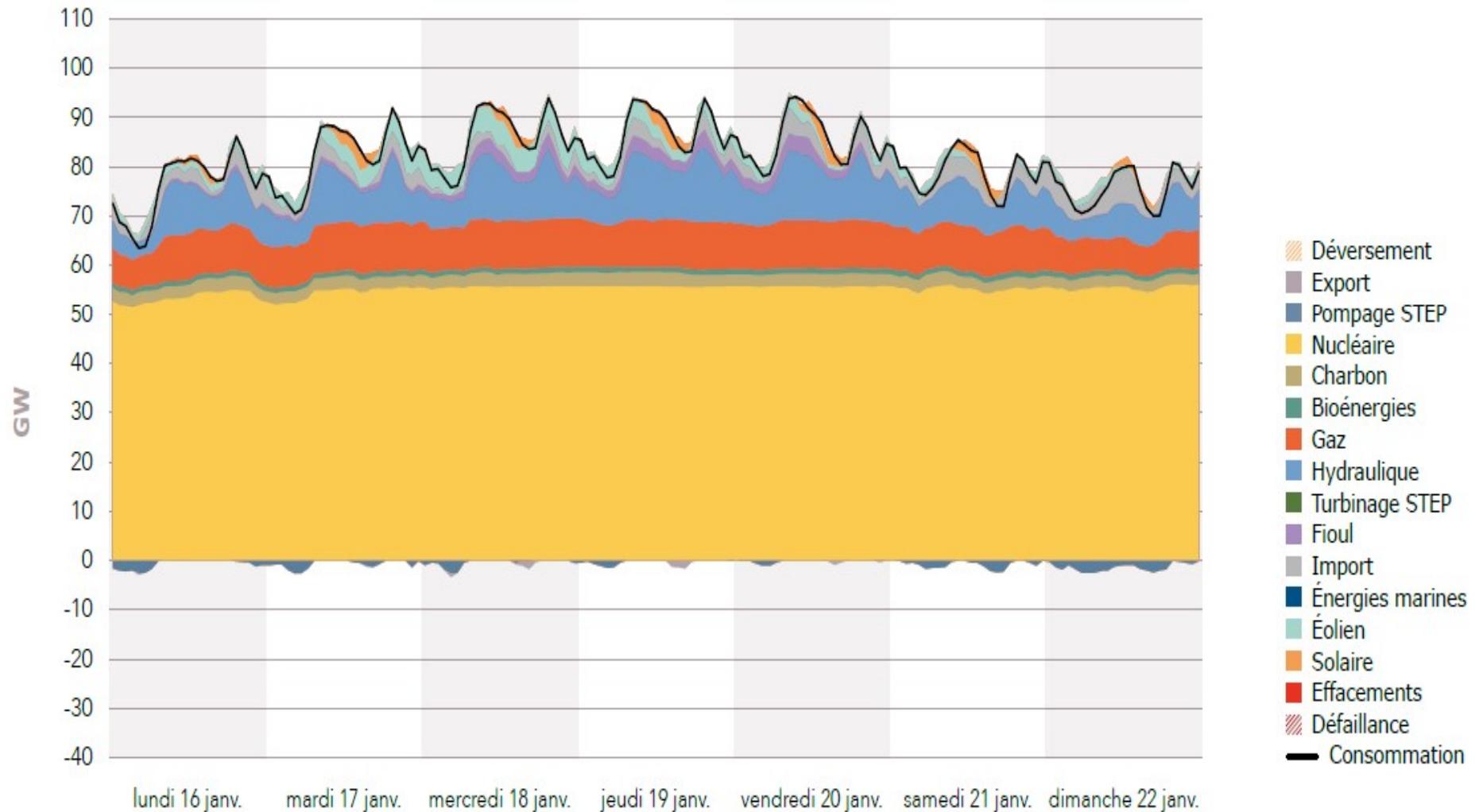
Source RTE

La production : puissance et énergie

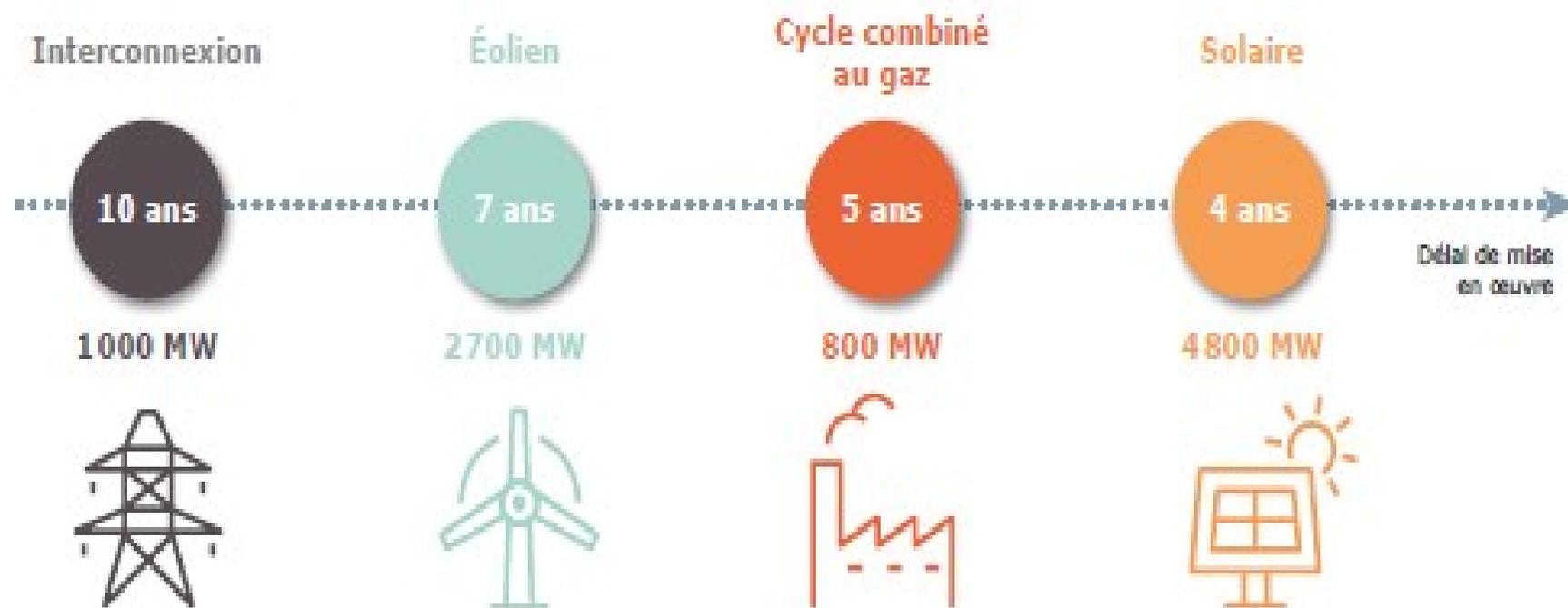
Production d'électricité en France en 2017 :

Nucléaire	63130 MW	384 TWh
Hydraulique	25291 MW	64 TWh
Eolien	12260 MW (702-10181 MW)	21 TWh
Gaz	11726 MW	35 TWh
Solaire	6881 MW (903-5646 MW à 13h)	8 TWh
Fioul	6647 MW	3 TWh
Charbon	2997 MW	7 TWh
Biomasse	1927 MW	9 TWh

Production d'électricité effective de la semaine du 16 au 22 janvier 2017



Moyens à installer pour remplacer la production annuelle d'un réacteur nucléaire de 900 MW



... avec des services rendus très différents

L'équilibre offre-demande

Dans le système interconnecté « européen »:
il faut l'équilibre à chaque seconde
entre toute la production et toute la consommation



En France:

L'Offre

- les différents moyens de production en France
- les imports (production à l'étranger)

La Demande

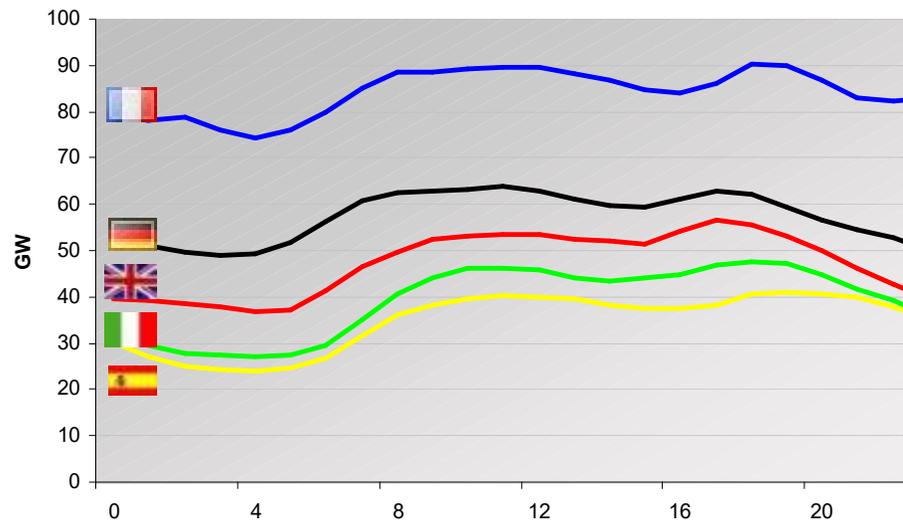
- la consommation France
- les exports (consommation à l'étranger)

$$\textit{Production + Imports = Consommation + Exports}$$

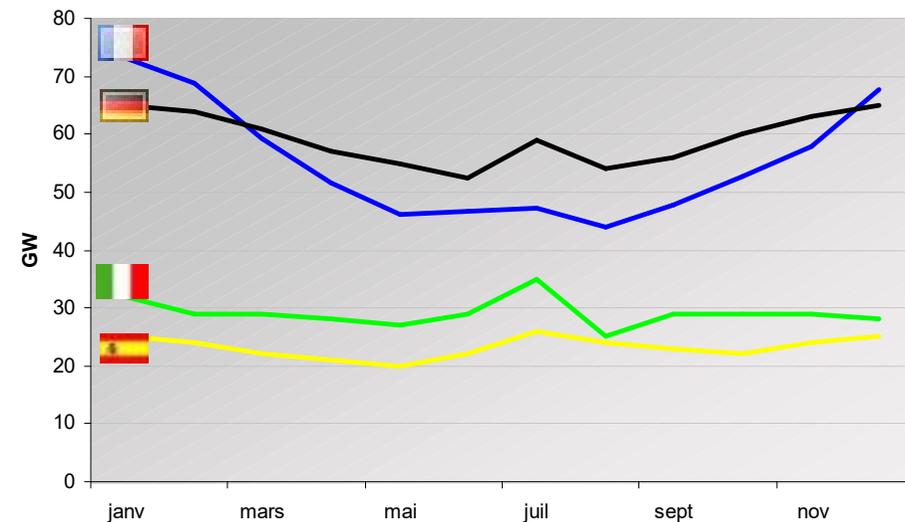
Pourquoi cet immense système ?

Des modes de consommation hétérogènes

■ Variation sur une journée d'hiver



■ Variation sur une année



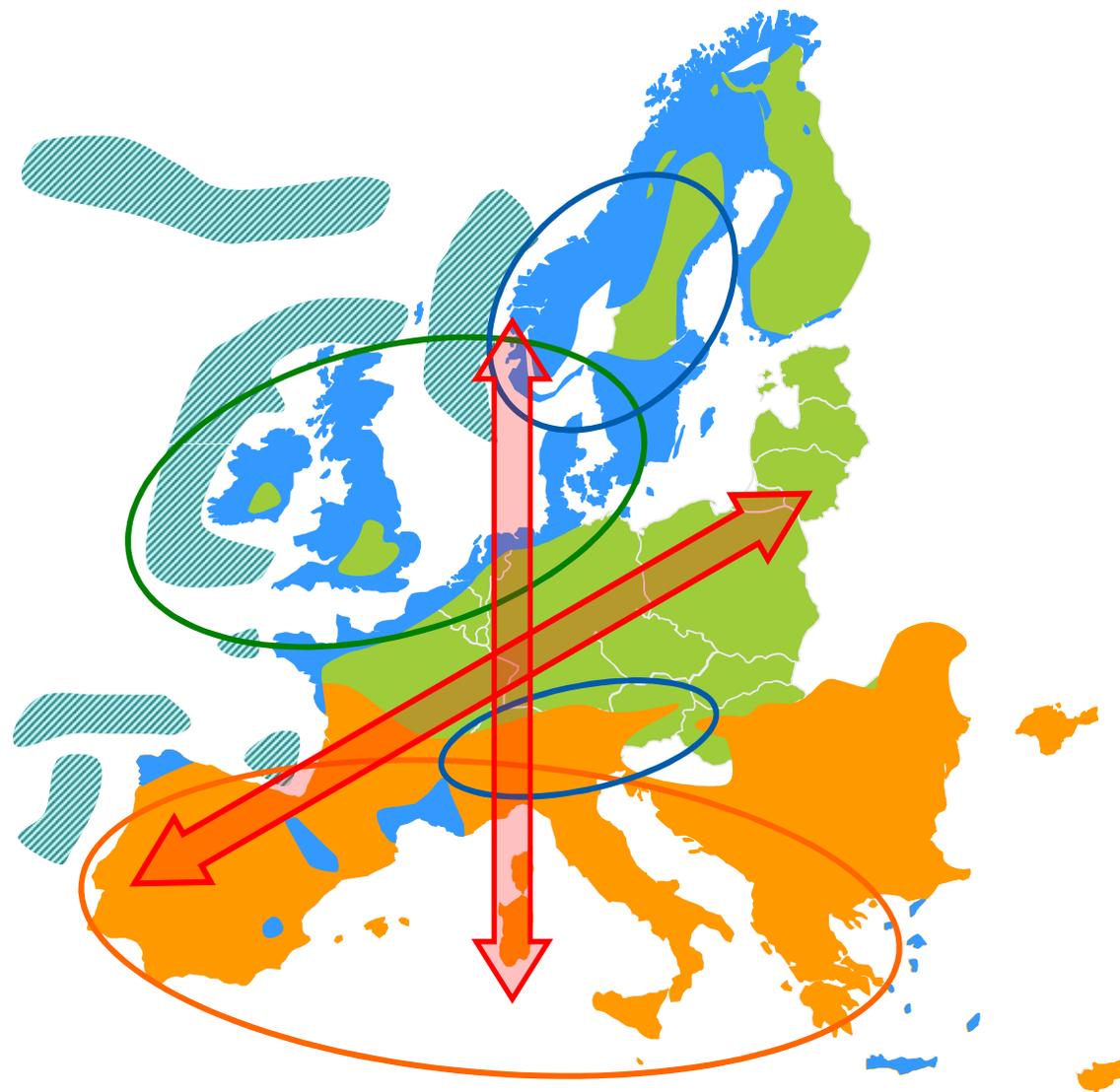
➔ Mutualisation: économies et sécurité d'approvisionnement

Des parcs de production complémentaires: mutualisation, optimisation



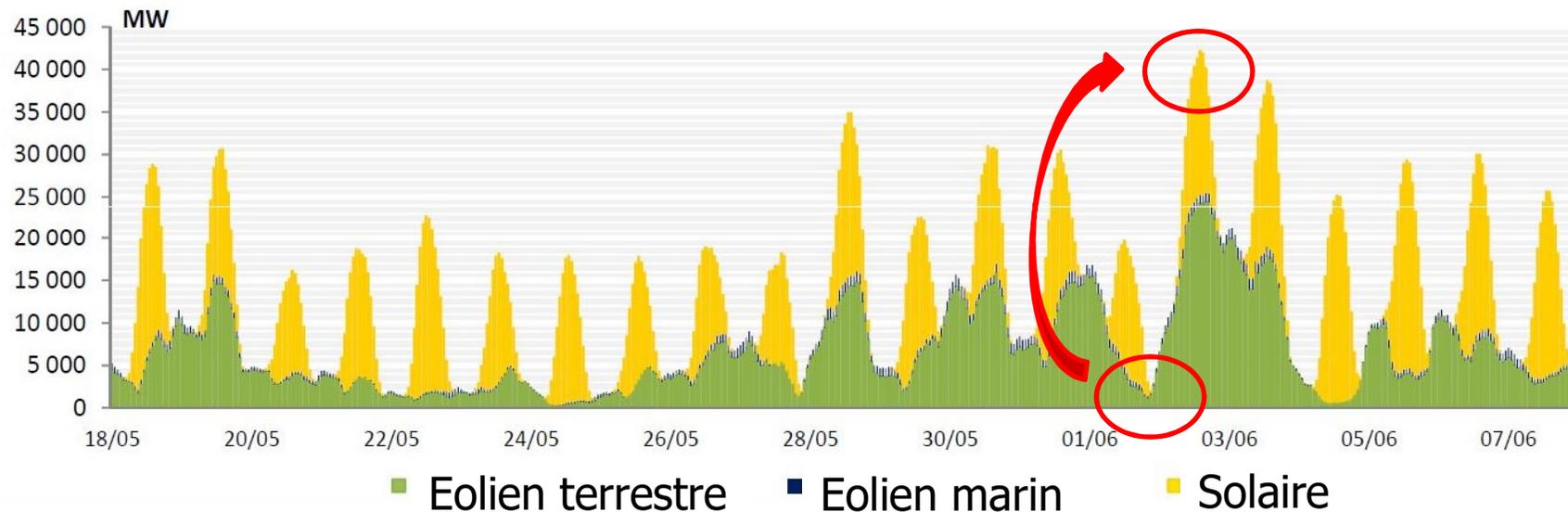
Encore plus vrai demain !

- éolien 
- solaire 
- houle 
- biomasse 



Quand le soleil brille en Bavière,
c'est toute l'Europe qui doit s'en mêler...

ALLEMAGNE



40 GW en moins de 12 heures (ex du 02/06/2015)

(25 GW en 1 h lors de l'éclipse du 20/03/2015)

Demain ?



Solaire: le difficile art de la prévision...

En 2000, quelle était la prévision pour la capacité solaire globale en 2010?

4 GW ✓
8 GW
24 GW
41 GW

L'AIE avait prévu que la capacité solaire atteindrait **4 GW** en 2010

Quelle était la capacité solaire globale réelle en 2010?

4 GW
8 GW
24 GW
41 GW ✓

10x ce qui avait été prévu en 2000

En 2010, quelle était la prévision pour la capacité solaire globale en 2020?

87 GW
113 GW ✓
247 GW
324 GW

L'AIE avait prévu que la capacité solaire atteindrait **113- 127 GW** en 2020

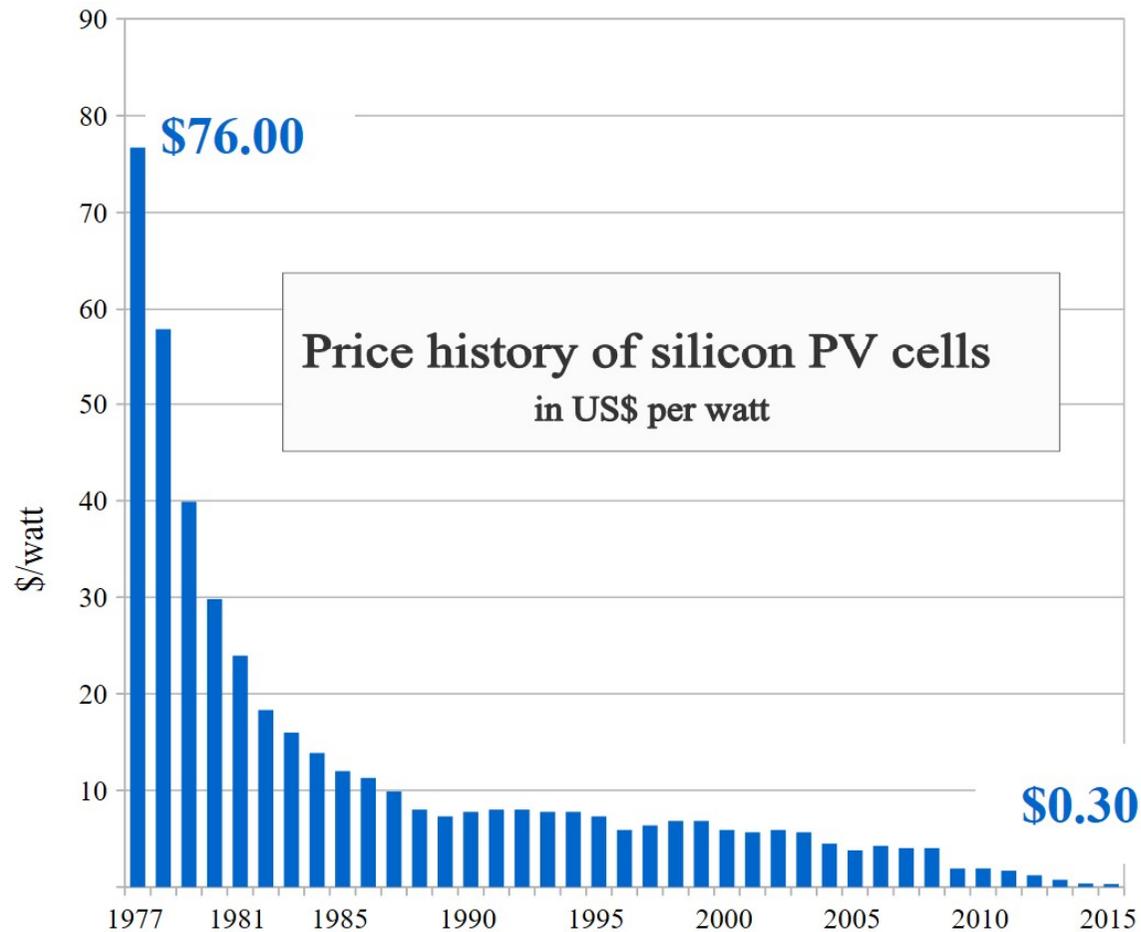
Quelle était la prévision pour la capacité solaire globale en 2013?

53 GW
87 GW
113 GW ✓
136 GW

7 ans avant l'échéance prévue seulement 3 ans avant

Environ 400 GW en 2017...

Une baisse continue du coût des cellules photovoltaïques



Quel pilotage pour la transition énergétique ?

Mondial, européen, national,...



...régional, par collectivité territoriale...

... voire individuel...



... un jeu de Matriochka pleines de défaut
et qui ne s'emboitent pas



L' accord de Paris sur le climat

- Premier accord pour toute la planète (ou presque...)
- Déclaration d'intention non engageante
- Incitation par la transparence ('name and shame')
- Limiter le réchauffement climatique à 2° C
- 'Désinvestir' dans les énergies fossiles
- Neutralité carbone avant 2100

La politique énergétique de l'UE

Le traité de Lisbonne (*Article 194*):

La politique de l'Union dans le domaine de l'énergie vise, dans un esprit de solidarité entre les États membres :

- à assurer le *fonctionnement du marché de l'énergie*;
- à assurer la *sécurité de l'approvisionnement* énergétique dans l'Union;
- à promouvoir *l'efficacité énergétique* et les *économies d'énergie* ainsi que le développement des *énergies nouvelles et renouvelables*; et
- à promouvoir *l'interconnexion des réseaux* énergétiques.

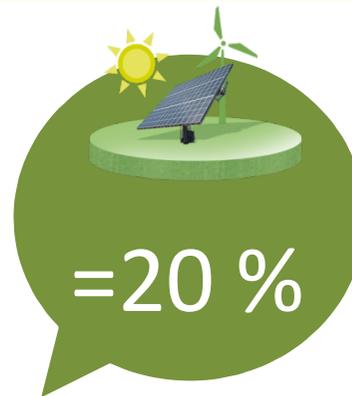
[Ces mesures] n'affectent pas le droit d'un État membre de déterminer les conditions d'exploitation de ses ressources énergétiques, son choix entre différentes sources d'énergie et la structure générale de son approvisionnement énergétique

Une avancée en 2014...

2020



of CO2 emissions
compared to 1990



of final energy consumption
coming from renewable energy
sources

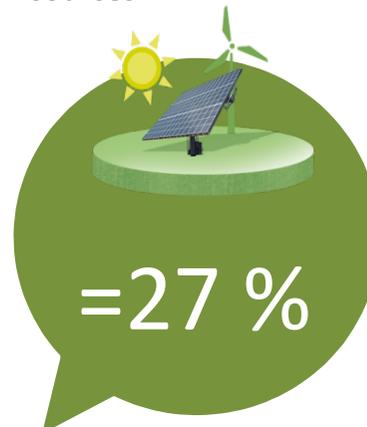


of energy efficiency
compared to 1990

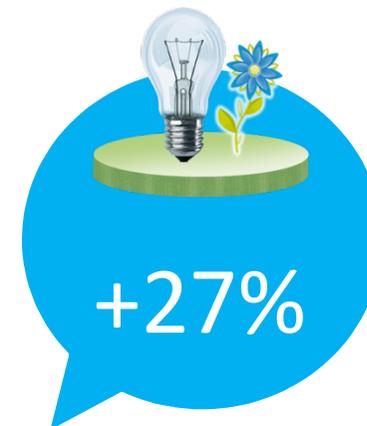
2030



of CO2 emissions
compared to 1990



of final energy consumption
coming from renewable energy
sources



Energy efficiency

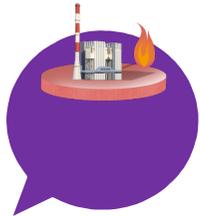
Contraignant / national

Contraignant / Europe

Incitation / Europe

Pendant ce temps-là, en France...

Loi de transition énergétique pour la croissance verte (2015)



Réduction des émissions de gaz à effet de serre **40%** en 2030 (/1990)



23% en 2020 d'énergie renouvelables
32% en 2030



Réduction de **50%** d'ici 2050 de la consommation d'énergie (/2012), réduction de **20%** d'ici 2030

50% de nucléaire dans le mix en 2025

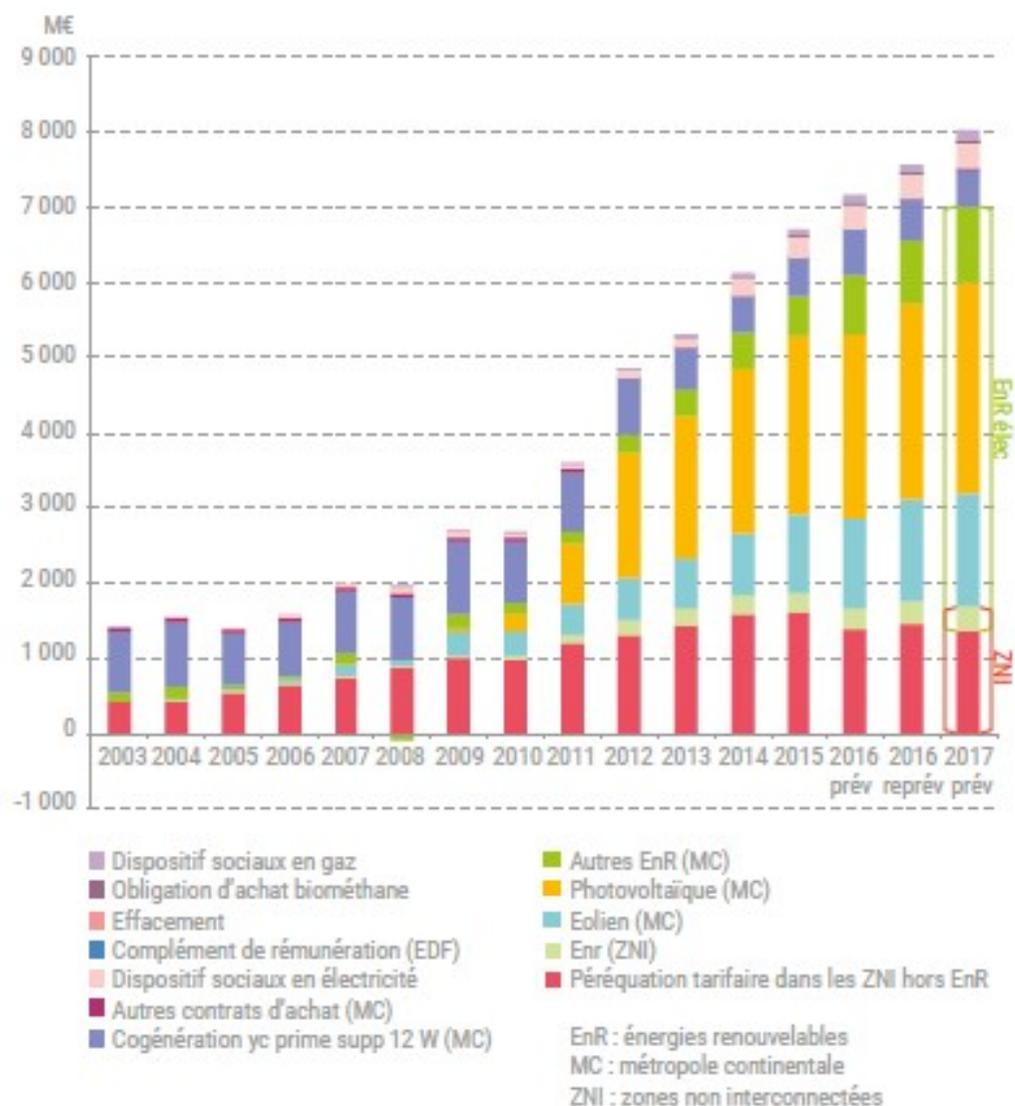
63,2 GW max de nucléaire (puissance installée actuelle)

Les coûts complets de production

Technologie de production	coût complet en €/MWh
Hydraulique	15 à 20
<i>Prix de gros sur le marché européen</i>	<i>35 à 40</i>
Nucléaire ancien	50
Eolien terrestre	60 à 90
Grand photovoltaïque au sol	74 à 135
Gaz	90 à 100
Charbon	100
Nucléaire nouveau (EPR)	100 à 120
Solaire sur bâti industriels ou commercial	115 à 200
Eolien en mer (ancré au sol)	145 à 200
Solaire photovoltaïque résidentiel	180 à 320

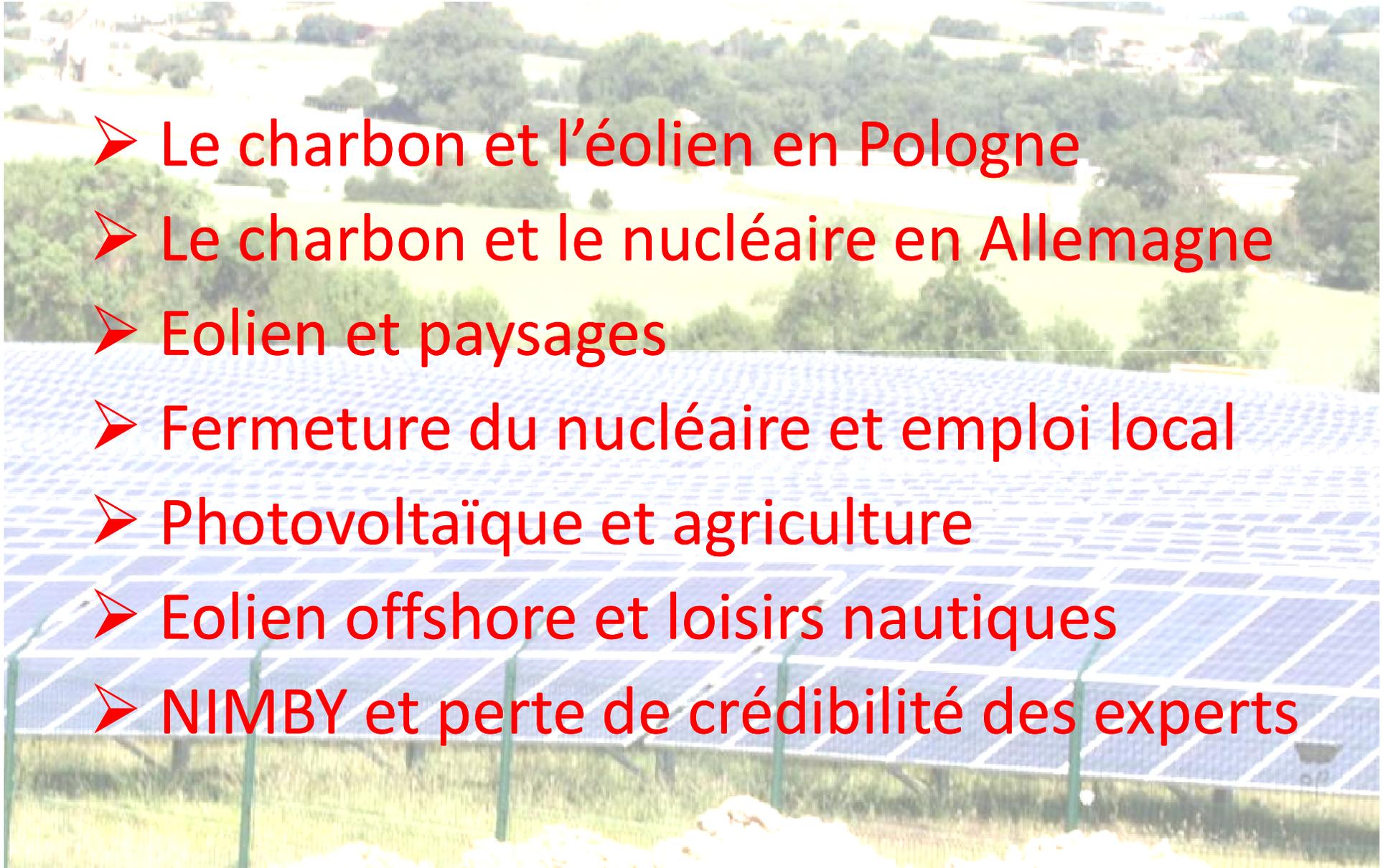
Le coût des subventions EnR: environ 5,3 G€ (2017)

Évolution annuelle des charges de service public de l'énergie



Une multitude d'antagonismes...

- Le charbon et l'éolien en Pologne
- Le charbon et le nucléaire en Allemagne
- Eolien et paysages
- Fermeture du nucléaire et emploi local
- Photovoltaïque et agriculture
- Eolien offshore et loisirs nautiques
- NIMBY et perte de crédibilité des experts

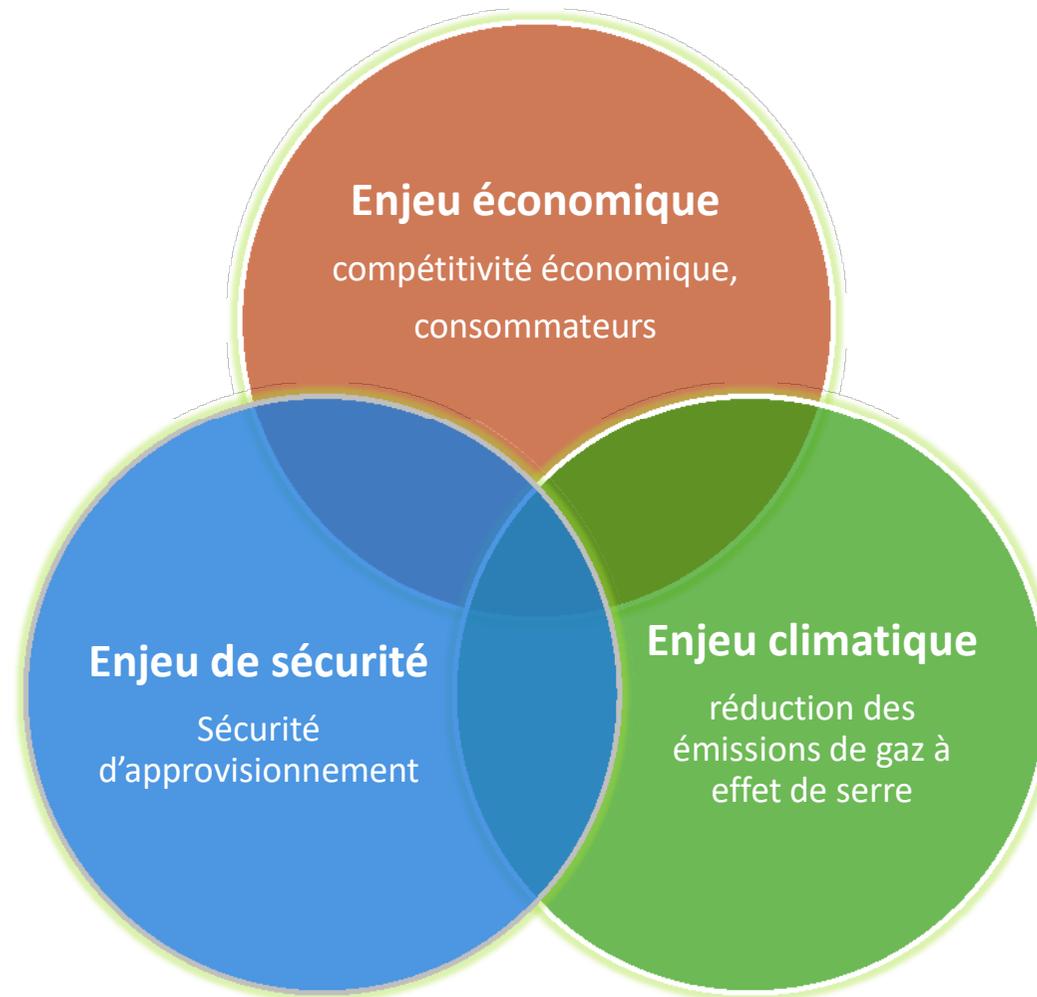


Une gouvernance complexe...

...à rendre plus efficace !

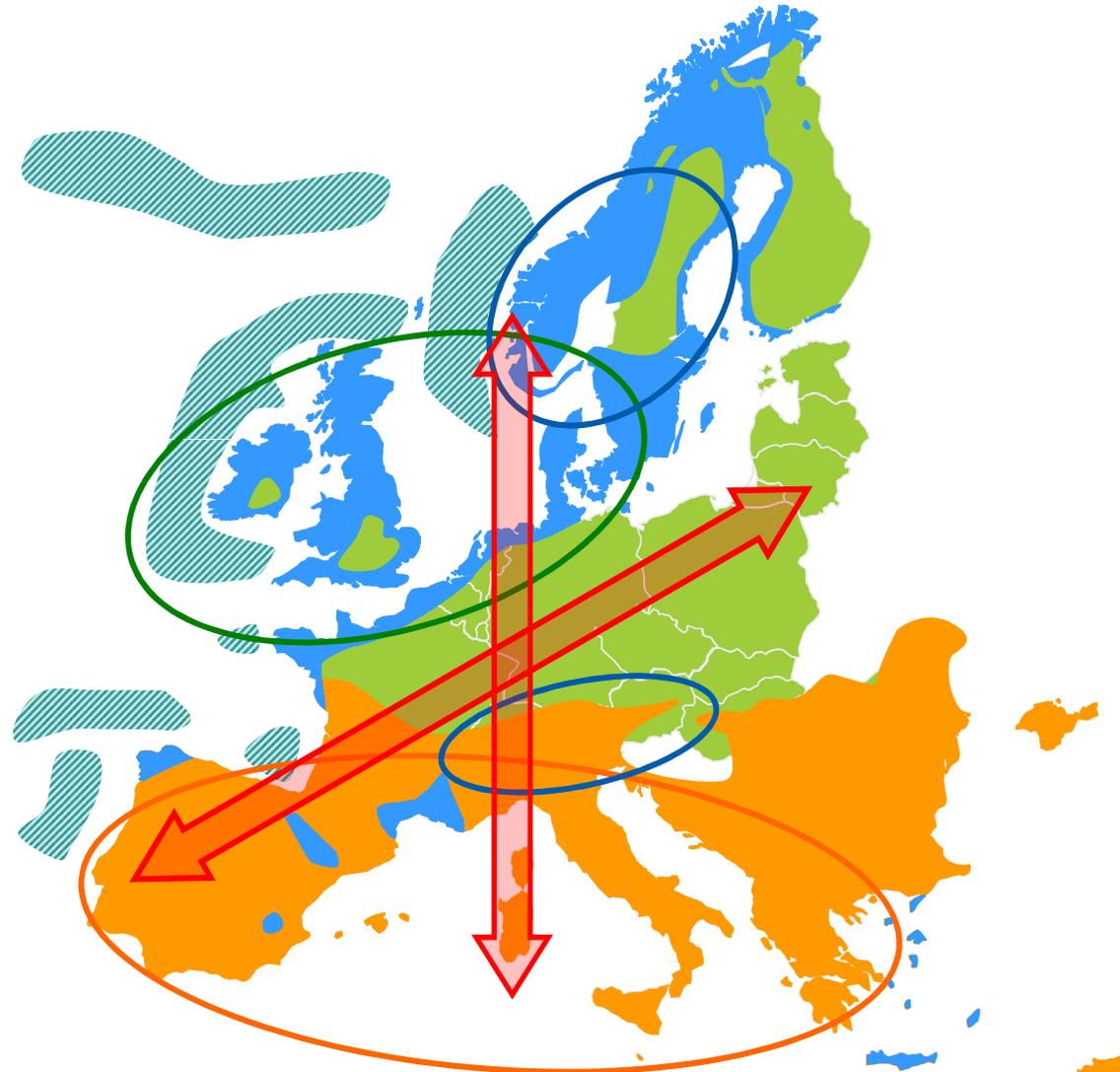


Trois grands enjeux en interaction

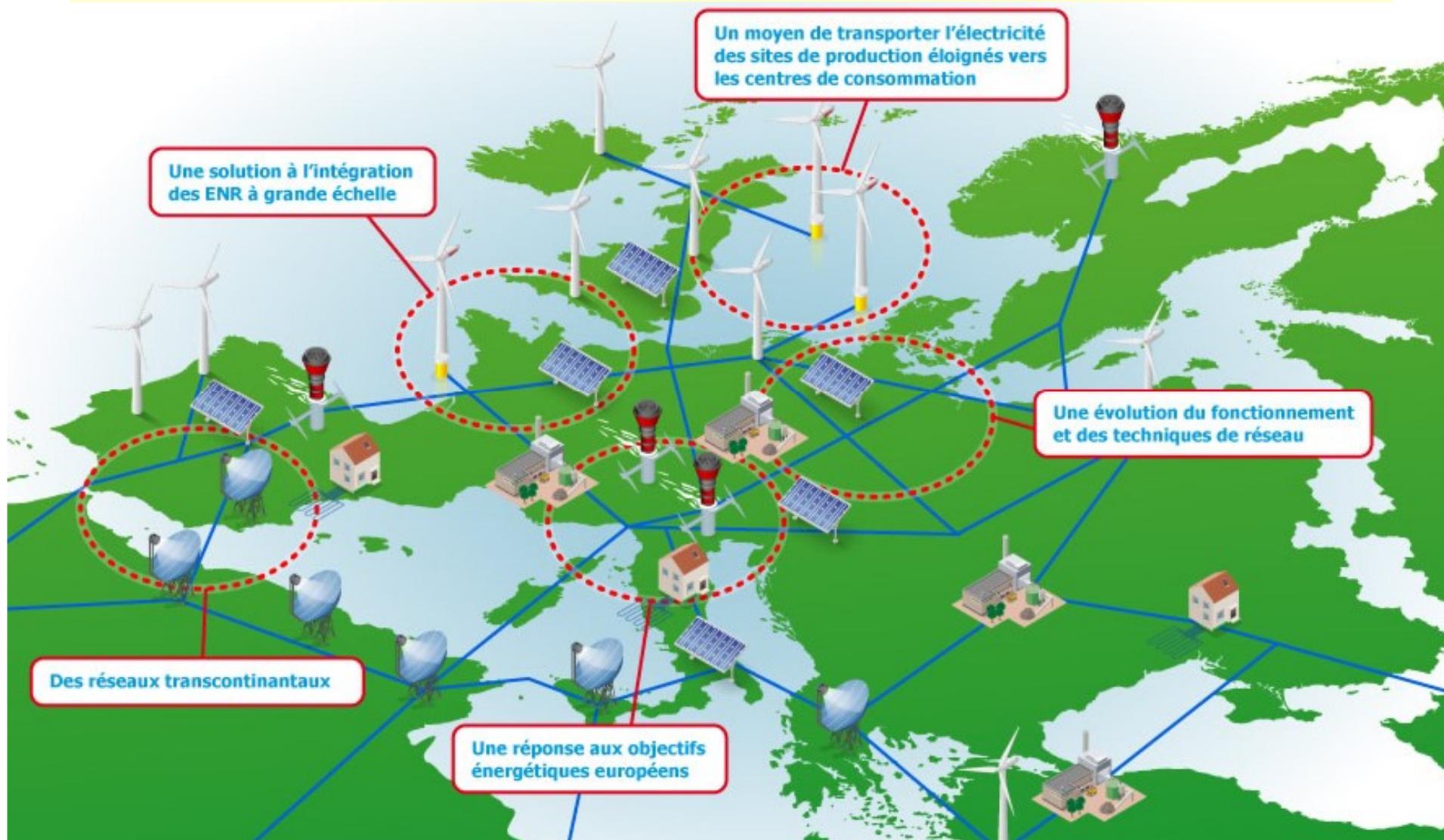


A l'échelle européenne

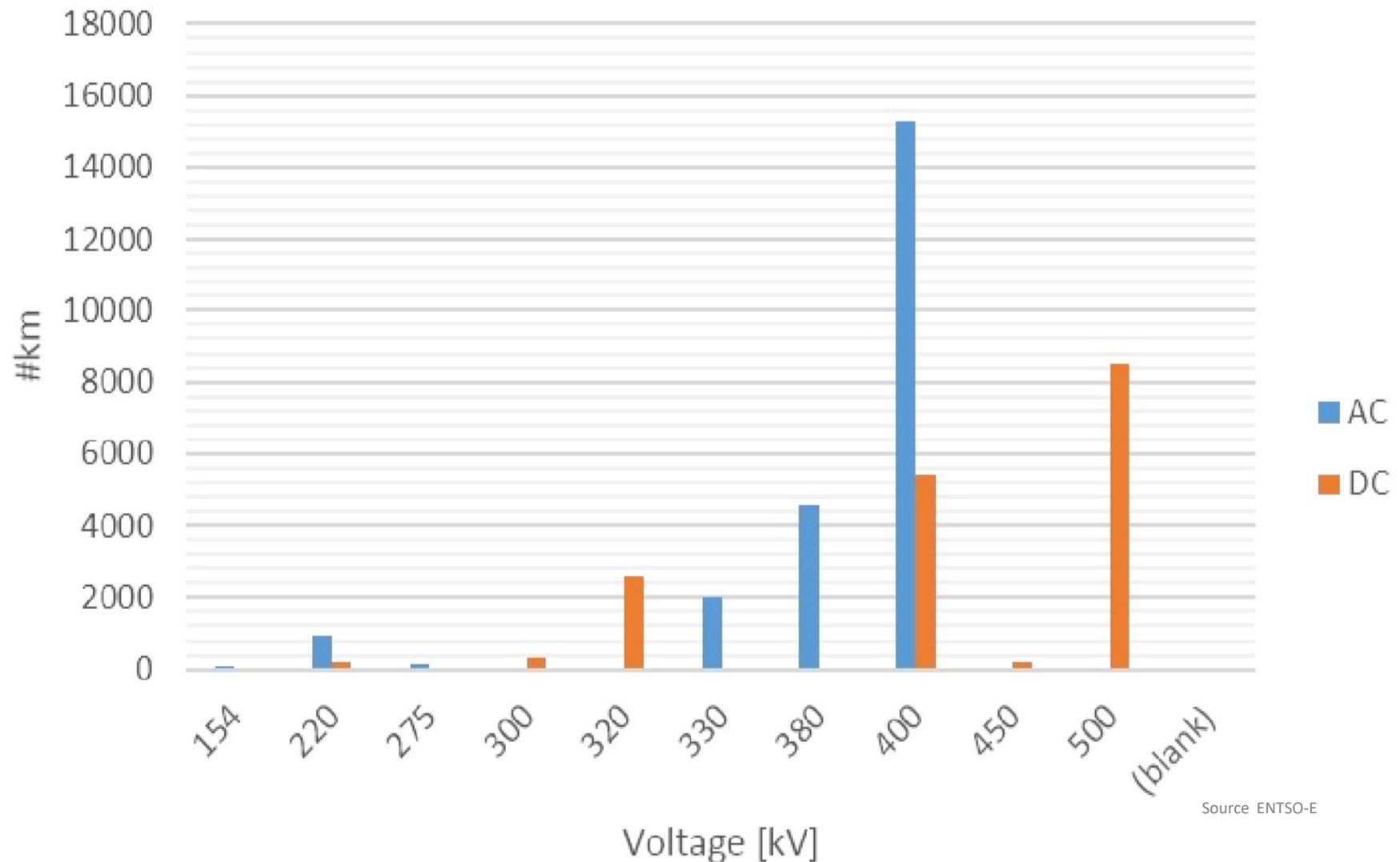
- éolien 
- solaire 
- houle 
- biomasse 



Une dimension européenne des infrastructures : les supergrids



Un besoin massif d'infrastructures de transport d'électricité d'ici 2030



Source ENTSO-E

Du progrès à NIMBY... et de NIMBY à la violence





Interconnexion France-Espagne: 2 GW, 700 M€



Interconnexion France – Italie : 1 milliard d'euros



La principale difficulté à surmonter:
maîtriser les temporalités...
... et anticiper



On décide aujourd'hui le système électrique de 2030 – 2035
avec les technologies d'hier
et le souci du JT de ce soir...

Le temps politique....

... et l'inertie du système

Moyens à installer pour remplacer la production annuelle d'un réacteur nucléaire de 900 MW

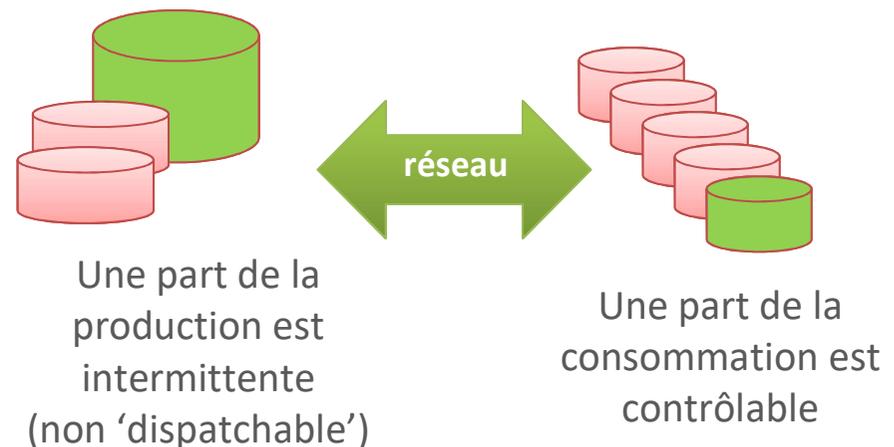
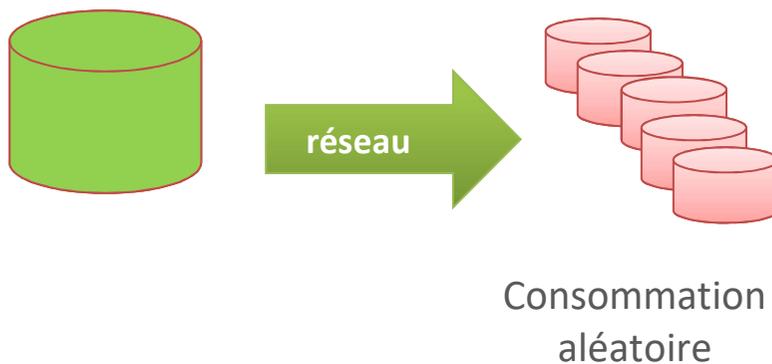
.....



Un changement radical de modèle

XX ème siècle | XXI ème siècle

- | | | |
|--|---|---|
| Marchés nationaux | ▪ | Marché européen intégré |
| Intégration verticale et planification | ▪ | Concurrence et décentralisation des décisions |
| Peu d'interconnexion | ▪ | Augmentation des interconnexions |
| Opposition modérée | ▪ | Forte opposition (NIMBY - BANANA) |
| Prévision de la consommation et action sur la production | ▪ | Adaptation complexe |

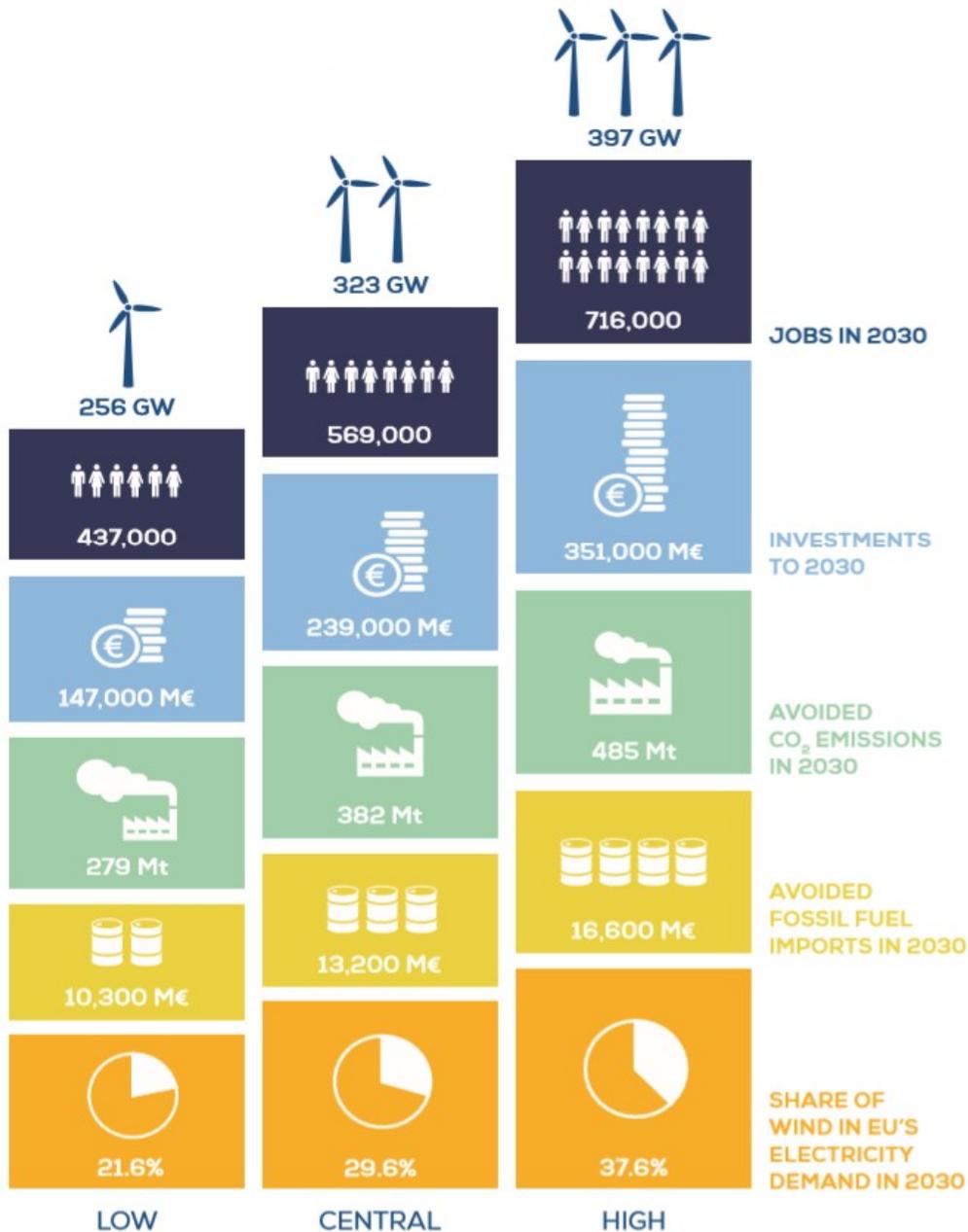


5 conditions de réussite de la transition énergétique

1. **Développer les sources d'énergie renouvelable**
2. **Rendre la consommation flexible**
3. **Développer et renforcer le réseau**
4. **Développer le « logiciel », i.e. les mécanismes de marché adéquats pour des échanges fluides et rapides**
5. **Innover !**

... et prendre en compte la dynamique temporelle !

Scénarios de WindEurope pour 2030



Pour mémoire: 160 GW en 2017

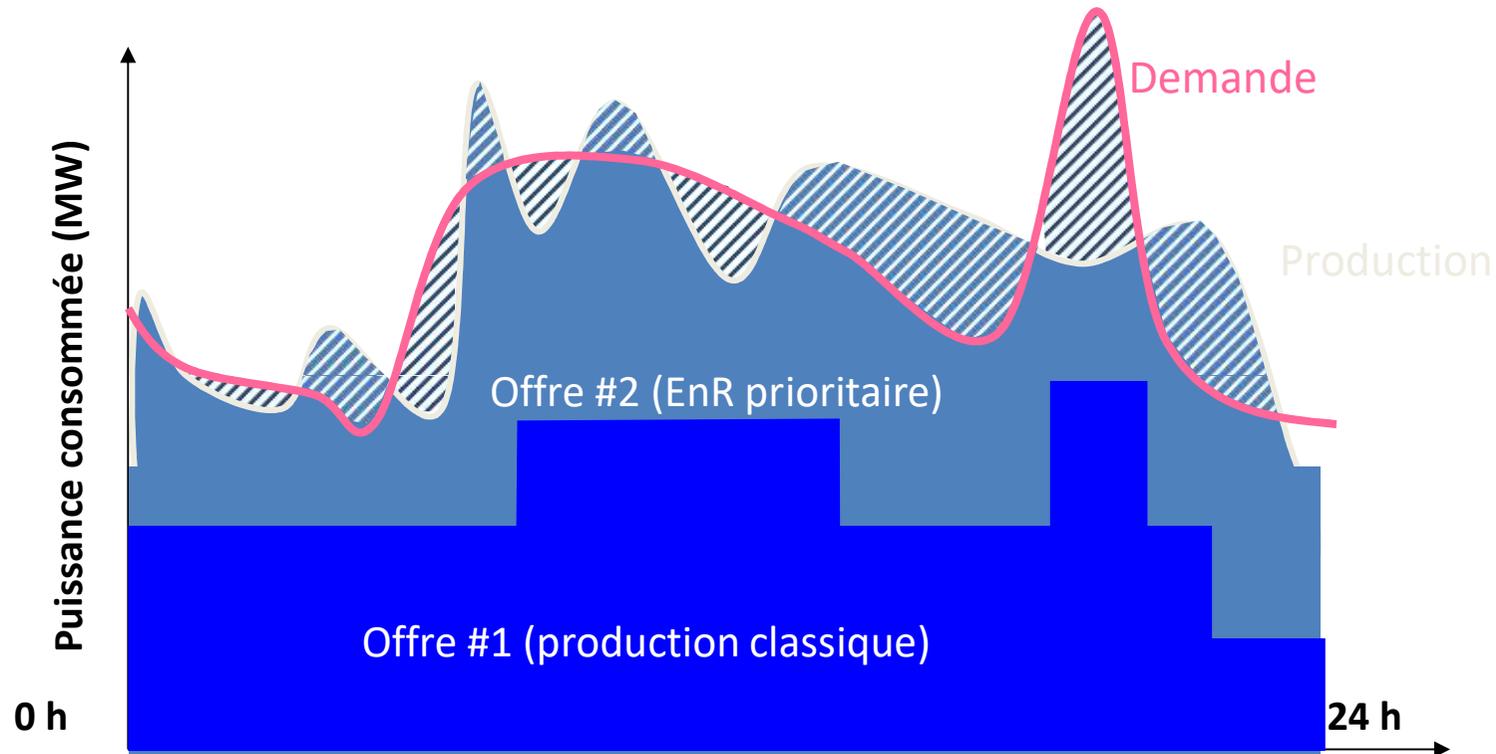
Scénario central : 323 GW en 2030

- 253 GW terrestres
- 70 GW en mer

On se bouscule en Mer du Nord et Mer Baltique...



Rendre la consommation flexible



Piloter la courbe de consommation

Permettre le développement des effacements



Que sont les smart grids ?

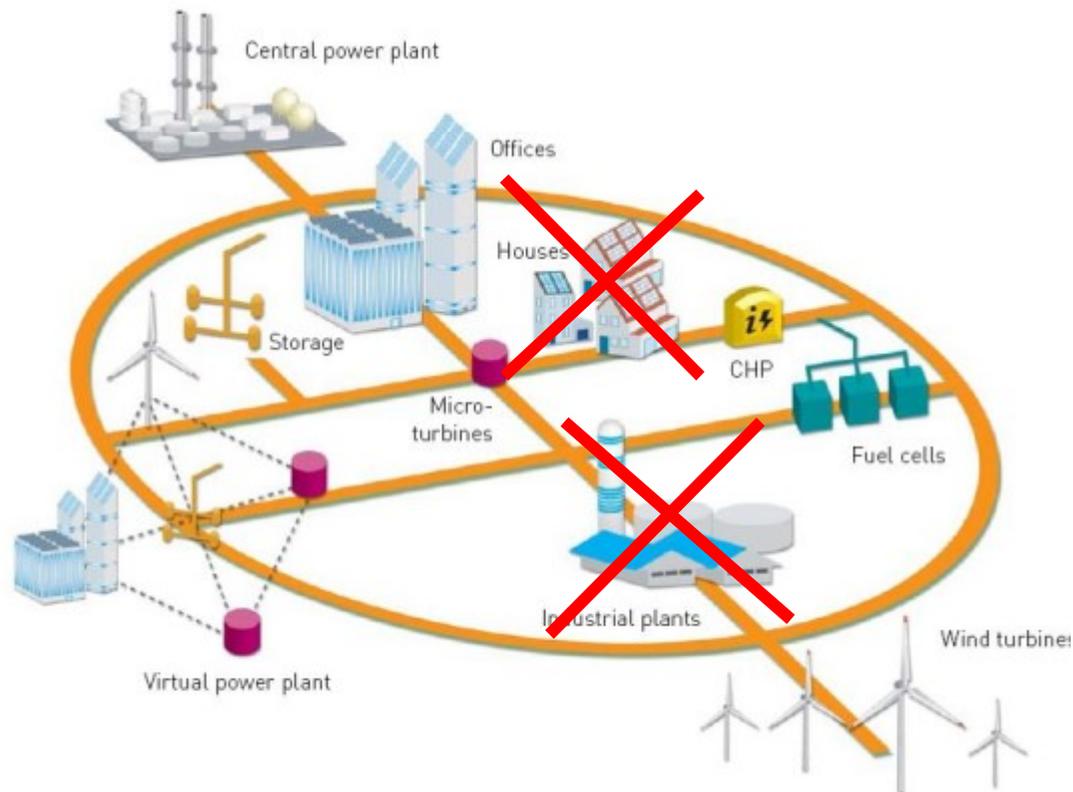


Un réseau électrique qui permet d'intégrer intelligemment l'interaction entre tous ses utilisateurs dans le but de fournir une énergie électrique durable, économique et sûre.



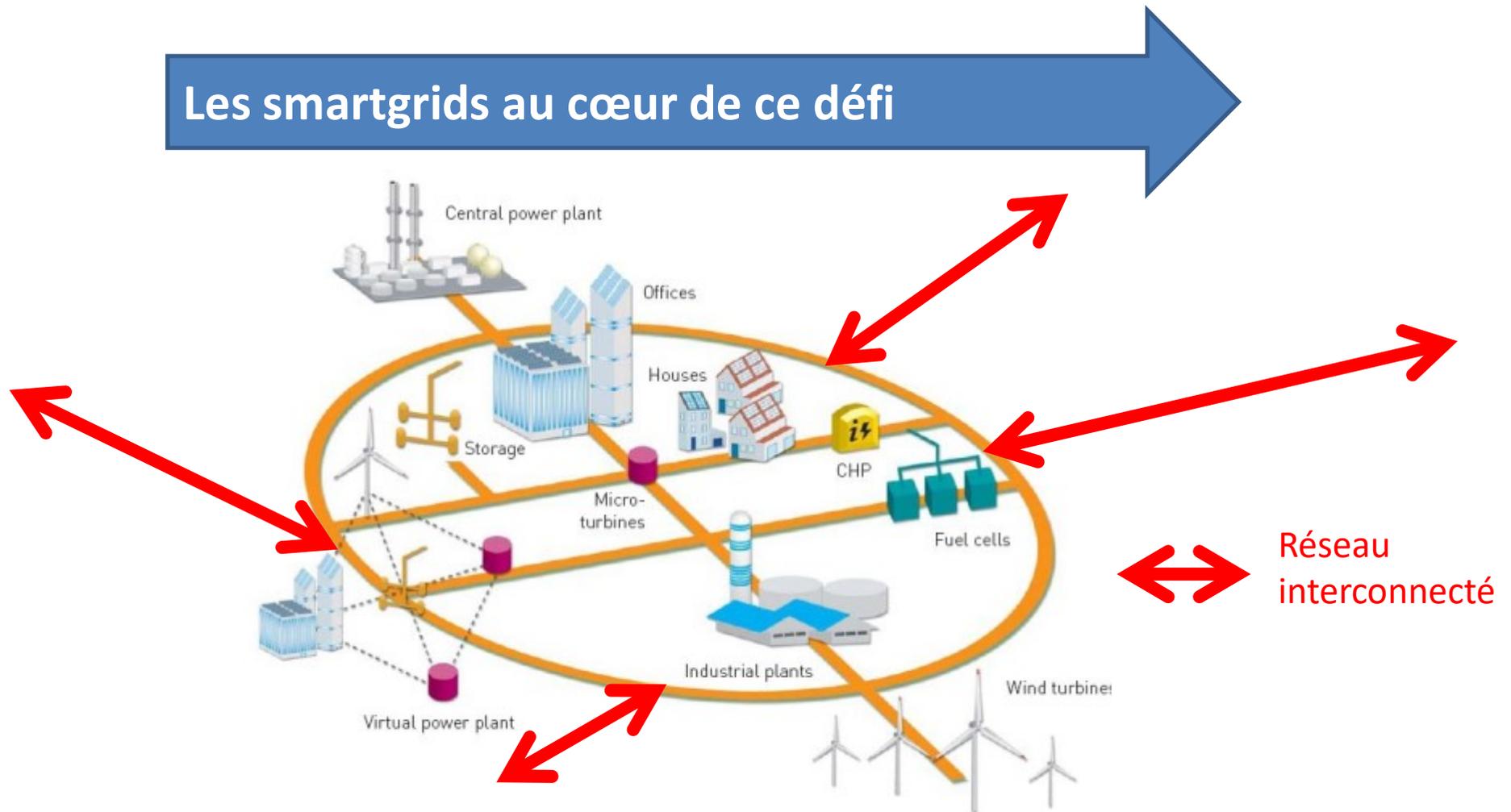
Une solution en construction pour un système électrique intelligent, flexible et résilient

Les smartgrids au cœur de ce défi



Réconcilier local et global

Les smartgrids au cœur de ce défi



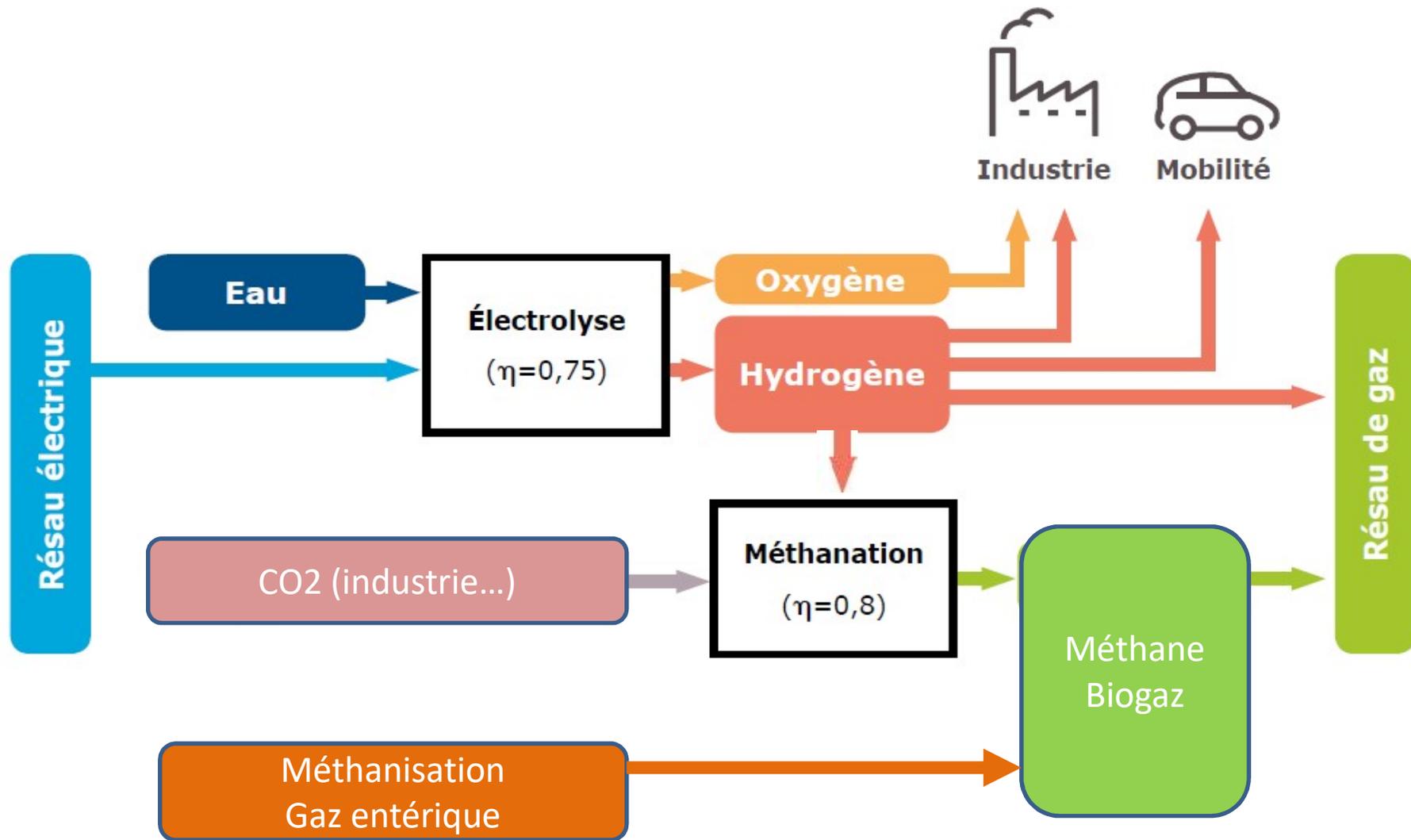
Charge, autoconsommation...



...ou stockage diffus dispatchable?

Le stockage de l'électricité : une révolution potentielle

Gaz renouvelable et P2G



De bonnes raisons d'être optimistes :

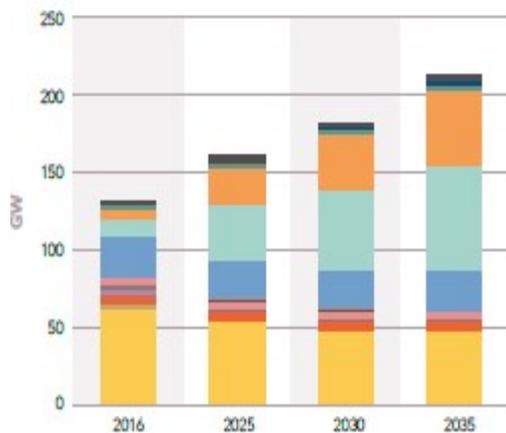
→ Innovation (stockage, P2G...)

→ Technologie (numérique, matériaux...)

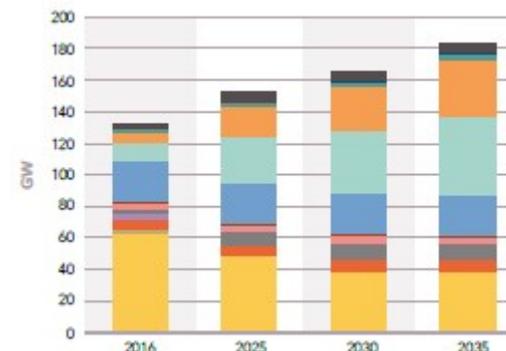
→ Une attente sociétale croissante

Quelques scénarios possibles pour 2035

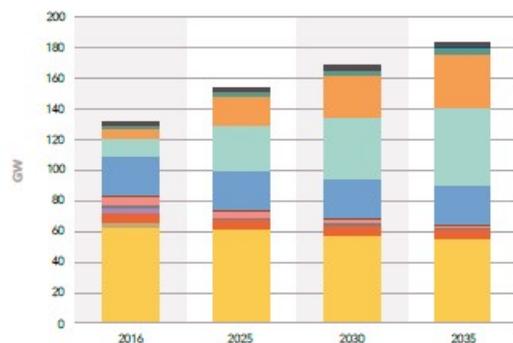
Scénario 'Ampère'



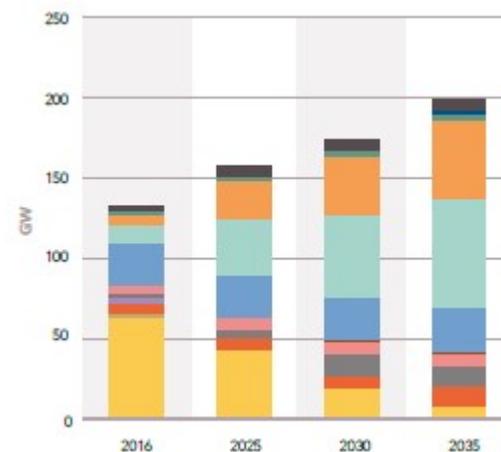
Scénario 'Hertz'



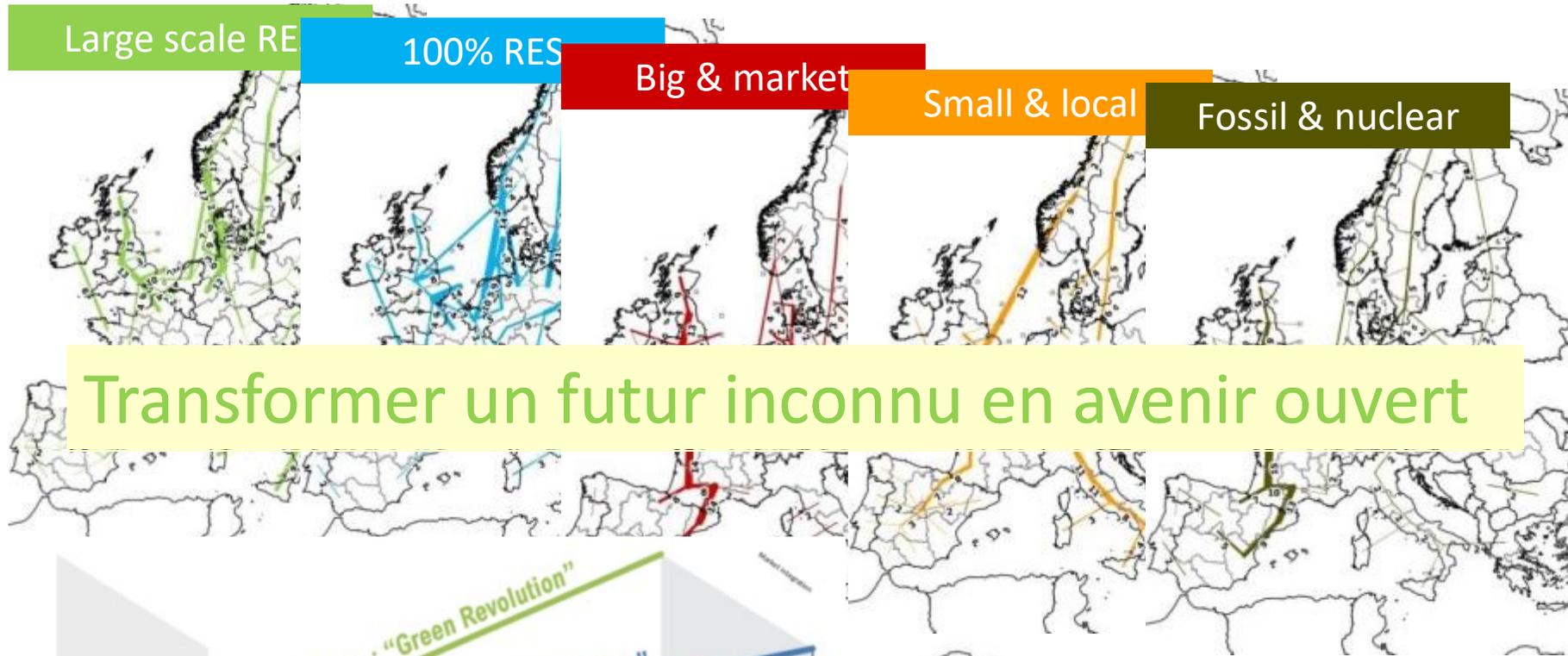
Scénario 'Volt'



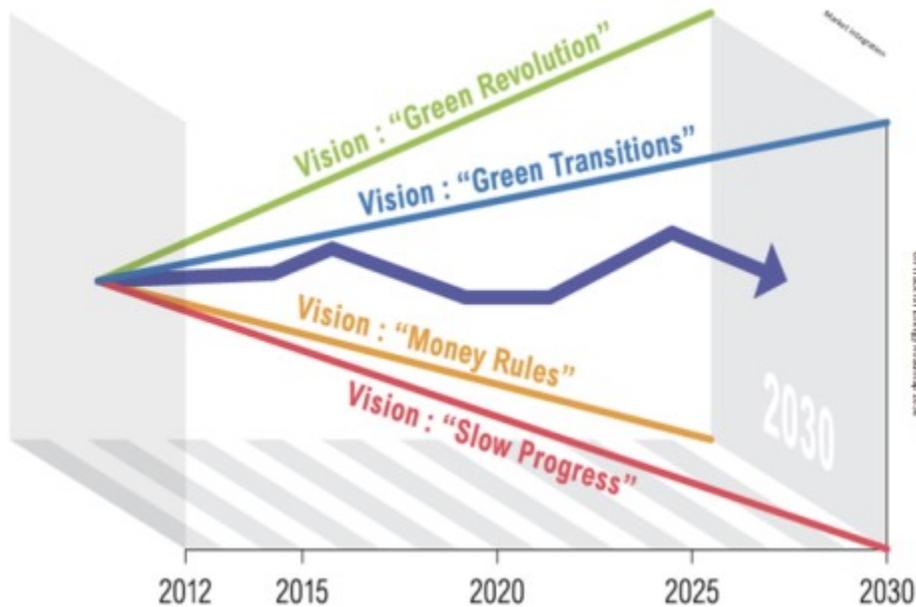
Scénario 'Watt'



Adieu planification et déterminisme !



Transformer un futur inconnu en avenir ouvert



Merci pour votre attention !

