

Les interconnexions du système européen comme flexibilité pour une France neutre en carbone

Gildas SIGGINI, Edi ASSOUMOU, Sophie DEMASSEY

CMA, MINES ParisTech, PSL

Séminaire Chaire MPDD

25 Fév. 2021

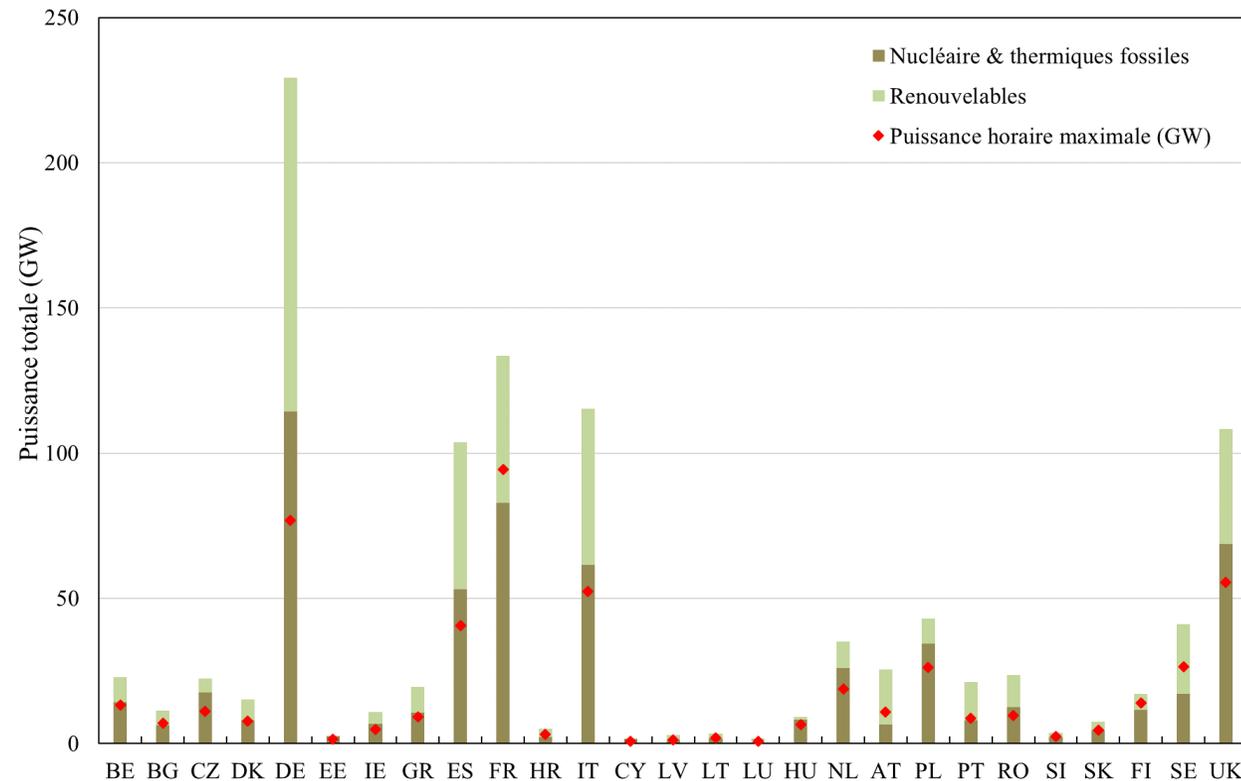


Life Is On



Capacité totale installée en 2018: 1 037 GW

Consommation totale en 2018: 2 811 TWh

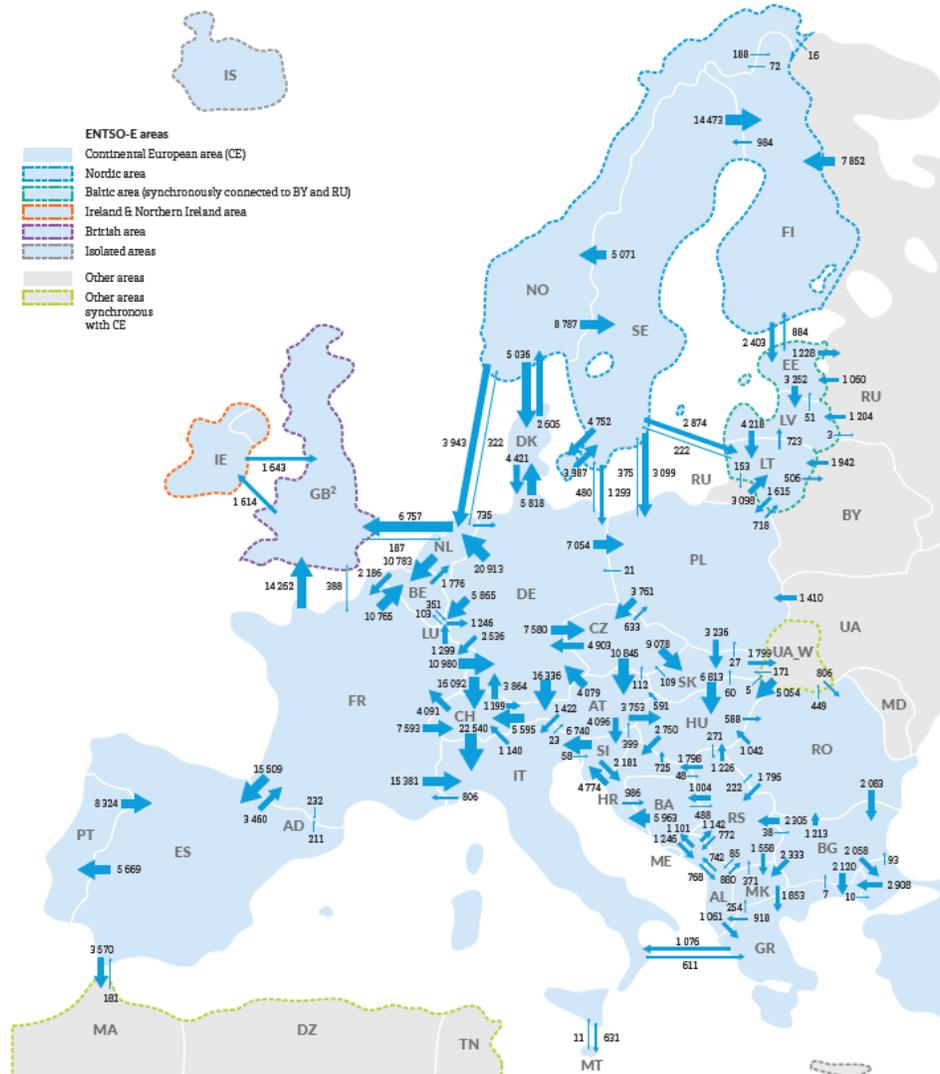


Région	Consommation (TWh)
DE	512,9
FR	440,3
UK	299,7
IT	293,1
ES	238,4
...	...
LT	10,4
EE	7,4
LV	6,6
LU	6,4
CY	4,7

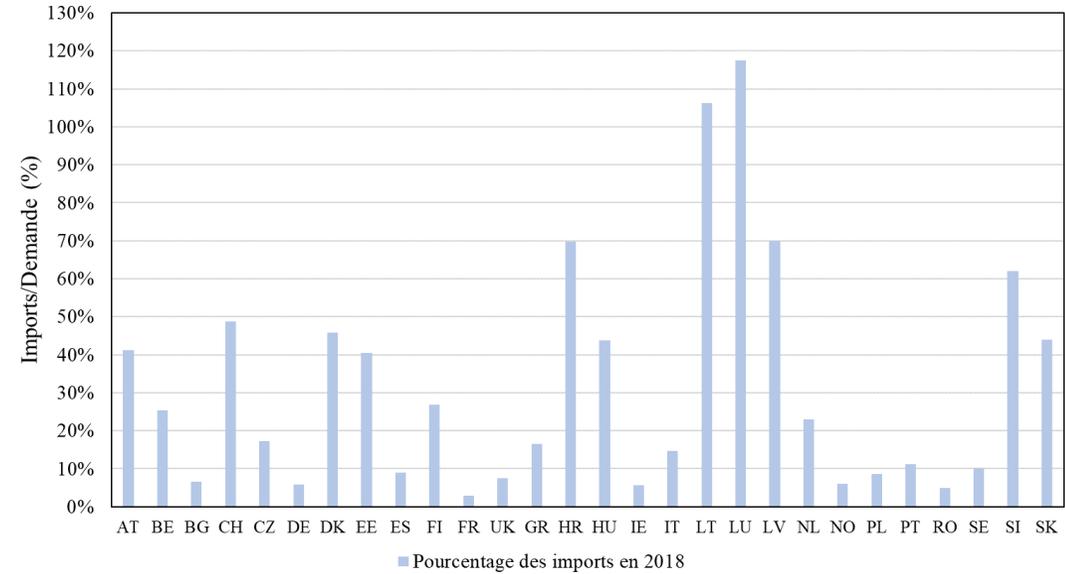
Système de production hétérogène dominé par 5 pays (DE, FR, UK, IT et ES) : 66% de la capacité installée

De fortes surcapacités dans certains pays

Des niveaux de demande électrique variant entre 5 et 500 TWh



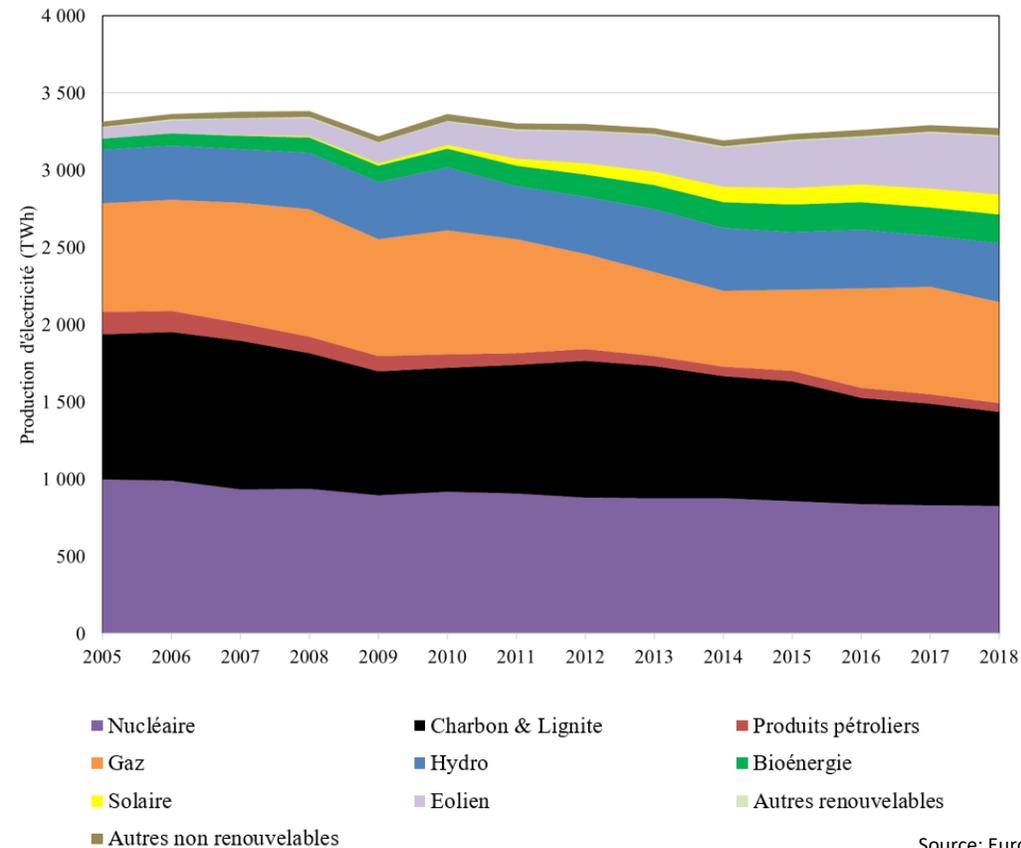
Source: ENTSO-E



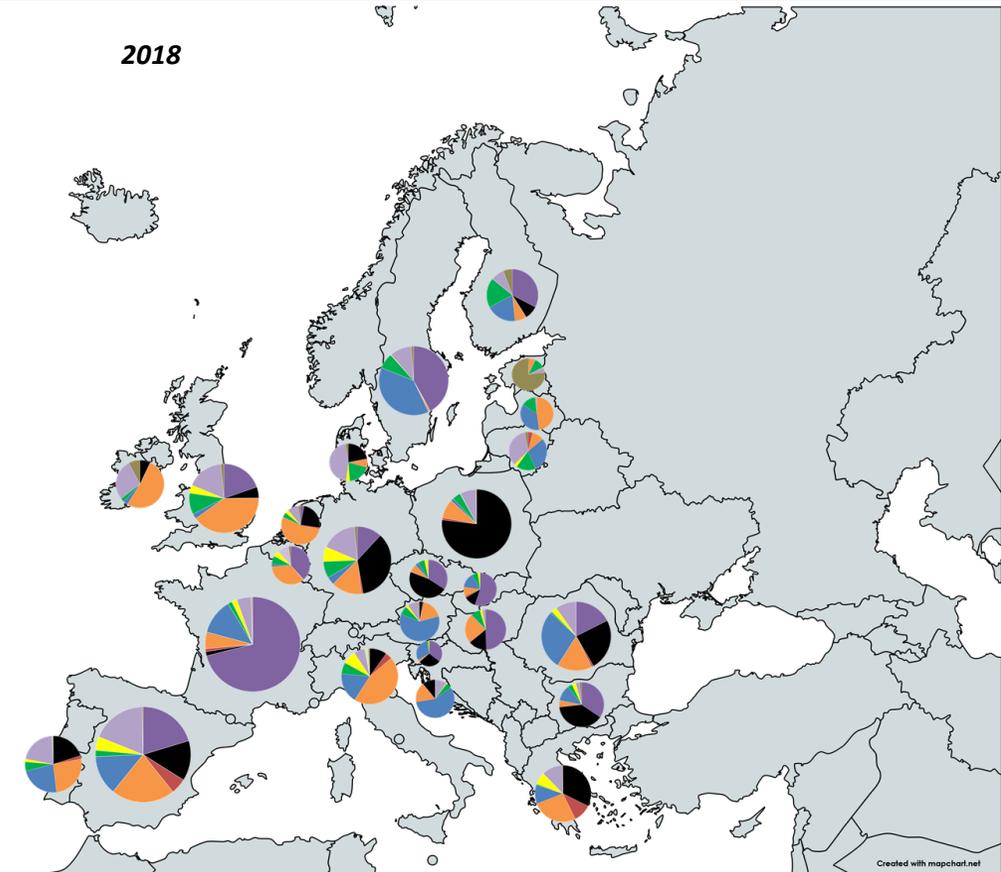
Source: ENTSO-E

Système fortement interconnecté (474 700 km de lignes transfrontalières)
 15 pays importent au moins 15% de leur demande électrique
 12% de la production électrique transite sur les interconnexions
 Plus grands exportateurs (DE, FR, SE, CZ)
 Plus grands importateurs (IT, GB, FI)

Production d'électricité en 2018



2018



Mix dominé par les énergies fossiles (54% en 2005 vs 40% en 2018)

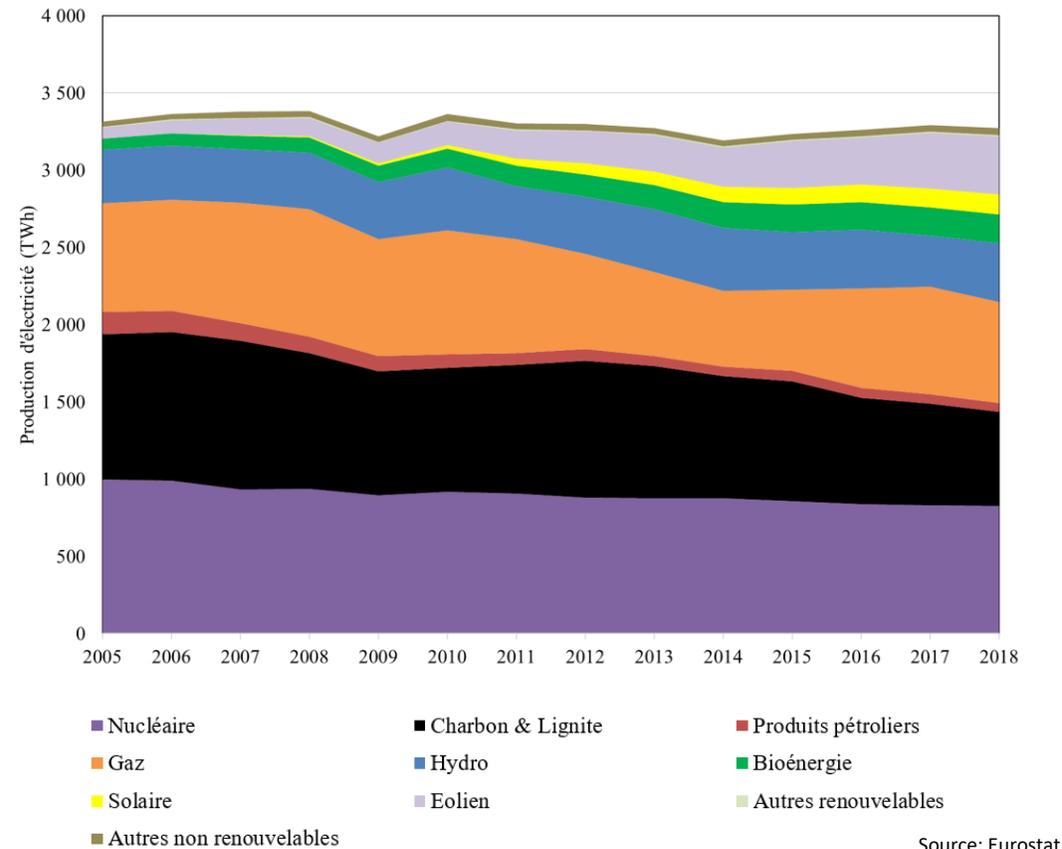
Des pays dépendant à +50% de la ressource fossile (PL, NL, GR, IE, DE, CZ, IT)

Part croissante des énergies intermittentes (2,2% en 2005 vs 15% en 2018)

Parc non renouvelable vieillissant

Energie nucléaire présente dans 14 pays et représentant 25% de la production totale

Production d'électricité en 2018



Source: Eurostat

Mix dominé par les énergies fossiles (54% en 2005 vs 40% en 2018)

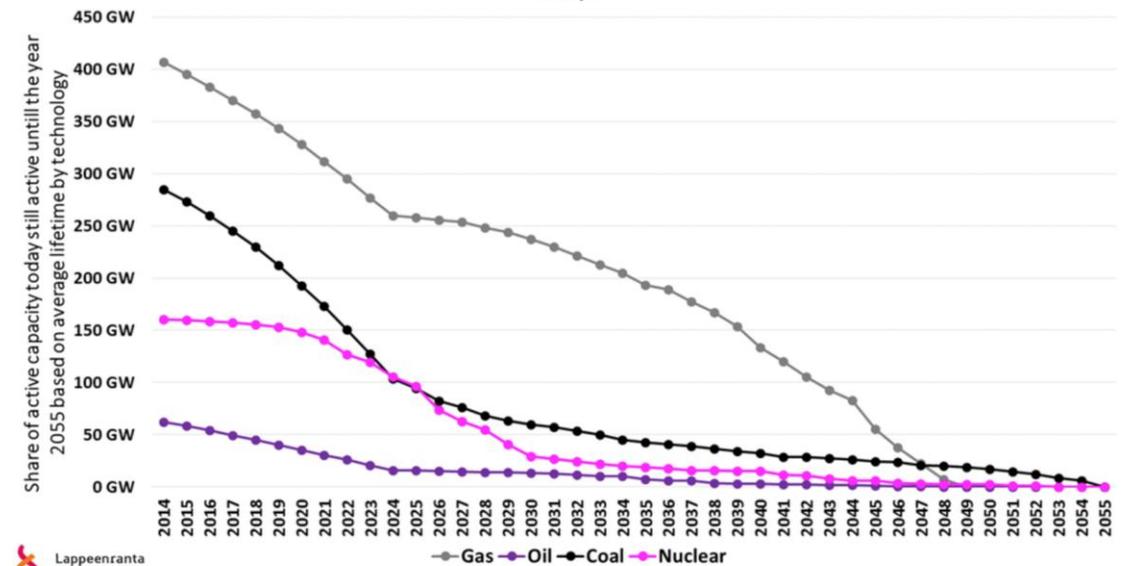
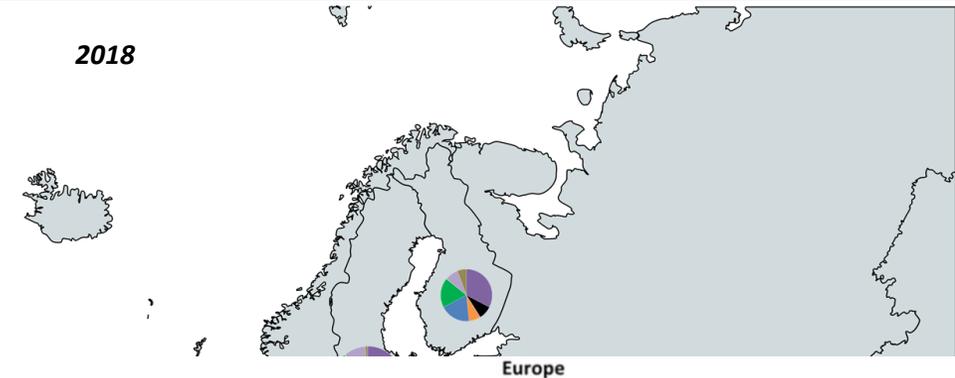
Des pays dépendant à +50% de la ressource fossile (PL, NL, GR, IE, DE, CZ, IT)

Part croissante des énergies intermittentes (2,2% en 2005 vs 15% en 2018)

Parc non renouvelable vieillissant

Energie nucléaire présente dans 14 pays et représentant 25% de la production totale

2018



Source: Javier Farfan, Christian Breyer,

Aging of European power plant infrastructure as an opportunity to evolve towards sustainability

<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.12.138>

2020

- 20% de réduction des émissions par rapport à 1990
- 20% de la production d'énergie à partir des renouvelables
- Amélioration de l'efficacité énergétique d'au moins 20%
- Installation d'interconnexions d'au moins 10% de la capacité de production installée

2050

- Atteindre la neutralité climat avec des émissions nettes nulles

2030

- 40% de réduction des émissions par rapport à 1990
- 32% de la production d'énergie à partir des renouvelables
- Amélioration de l'efficacité énergétique d'au moins 32,5%

Quelle évolution pour le système électrique européen aux différents horizons futurs?

2020

- 20% de réduction des émissions par rapport à 1990
- 20% de la production d'énergie à partir des renouvelables
- Amélioration de l'efficacité énergétique d'au moins 20%
- Installation d'interconnexions d'au moins 10% de la capacité de production installée

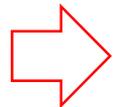
2050

- Atteindre la neutralité climat avec des émissions nettes nulles

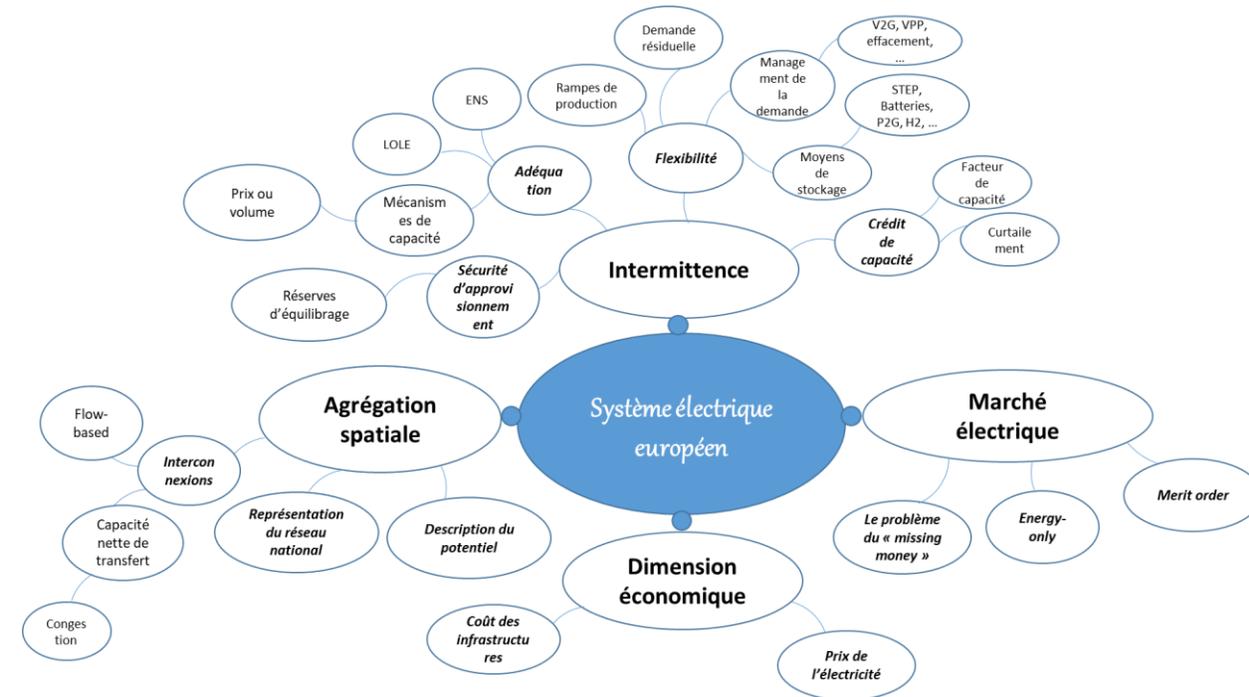
2030

- 40% de réduction des émissions par rapport à 1990
- 32% de la production d'énergie à partir des renouvelables
- Amélioration de l'efficacité énergétique d'au moins 32,5%

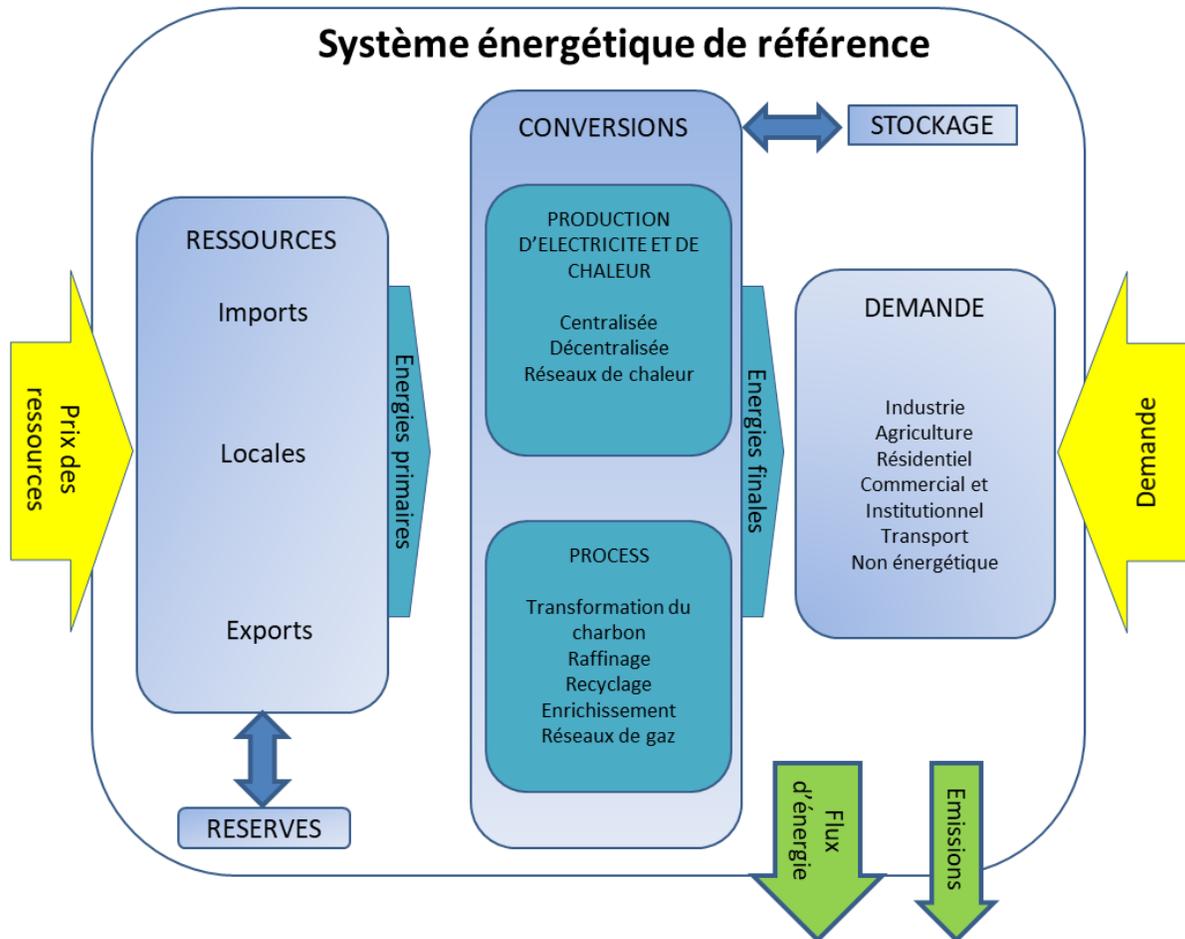
Quelle évolution pour le système électrique européen aux différents horizons futurs?



Une réflexion à mener à l'échelle du système européen pour une allocation optimale des investissements dans les projets de développement transfrontaliers



Le modèle MARKAL TIMES

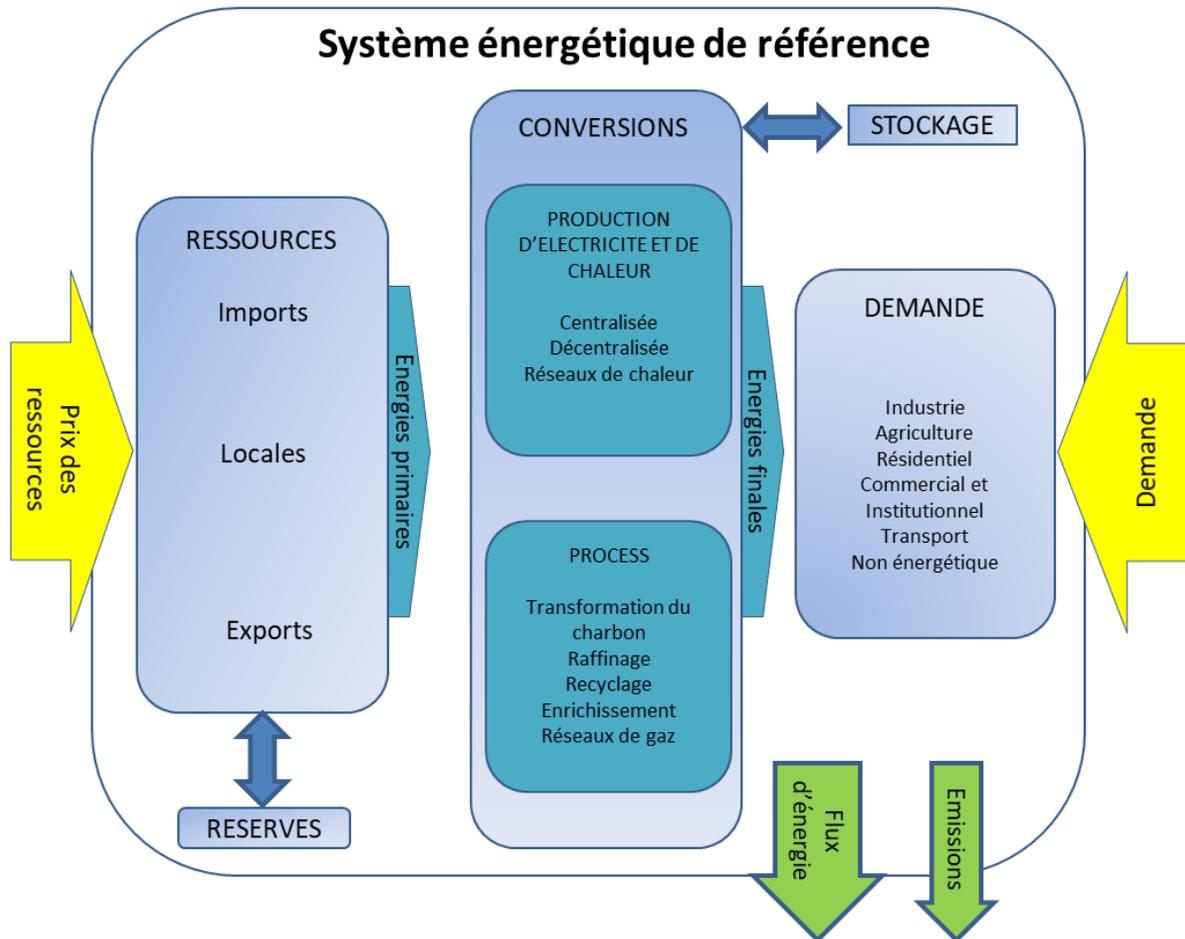


Une approche basée sur:

- Une représentation détaillée des processus et des flux de commodités
- Une compétition apportée par les options technologiques futures possibles
- Un équilibre partiel de l'offre et de la demande
- Une représentation temporelle flexible
- Des scénarios de contraintes politiques, environnementales, sécuritaires, ...
- Une approche d'optimisation : Minimisation du coût total actualisé du système

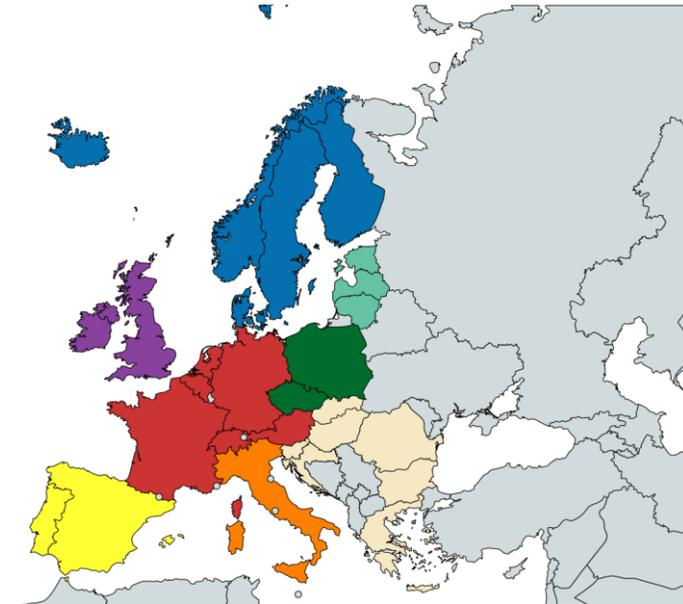
$$NPV = \sum_{r=1}^R \sum_{y \in YEARS} (1 + d_{r,y})^{REFYR-y} * ANNCOST(r, y)$$

Le modèle eTIMES-EU



Regions considered

- CWE region
- CEE region
- Nordic & Western Nordic
- British Island
- Iberian peninsula
- NEE region
- Alpine peninsula
- SEE region



Modèle du système électrique européen

29 pays à l'échelle européenne

8 régions interconnectées

Horizon de l'étude 2016-2050

- Représentation temporelle : 64 pas de temps dans chaque année (4 saisons * 2 jours-types * 8 tranches horaires)

Saisons	Signification
DJF	Hiver
MAM	Printemps
JJA	Eté
SON	Automne

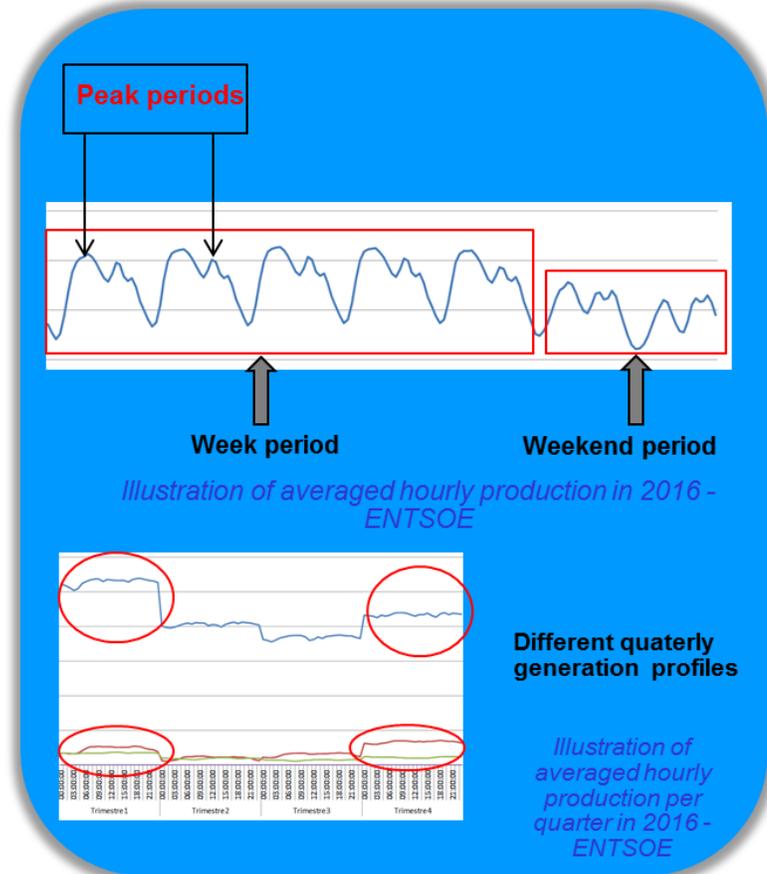
Jour type	Signification
B	Semaine
E	Weekend

Périodes	Signification
P1	[0h,3h[
P2	[3h,6h[
...	...
P8	[21h-0h[

Exemples:

DJFBP1- Période de 0h à 3h en semaine pendant l'hiver

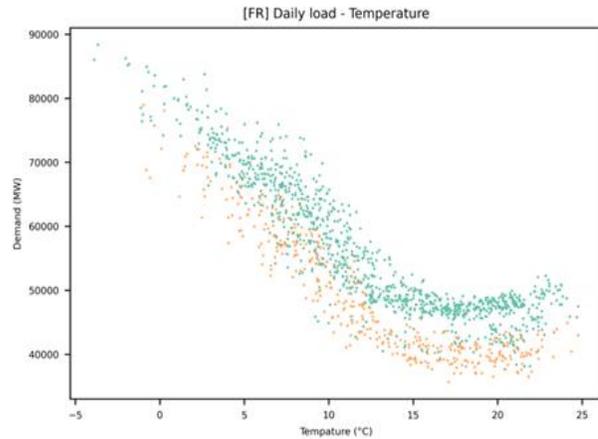
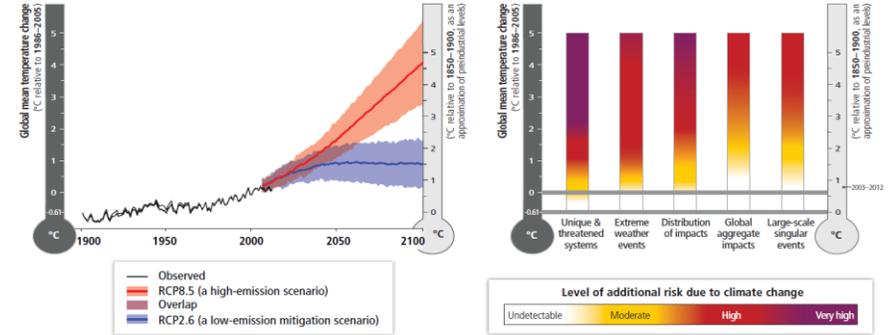
DJFEP4- Période de 9h à 12h durant le week-end pendant l'hiver



09 Décembre 2019

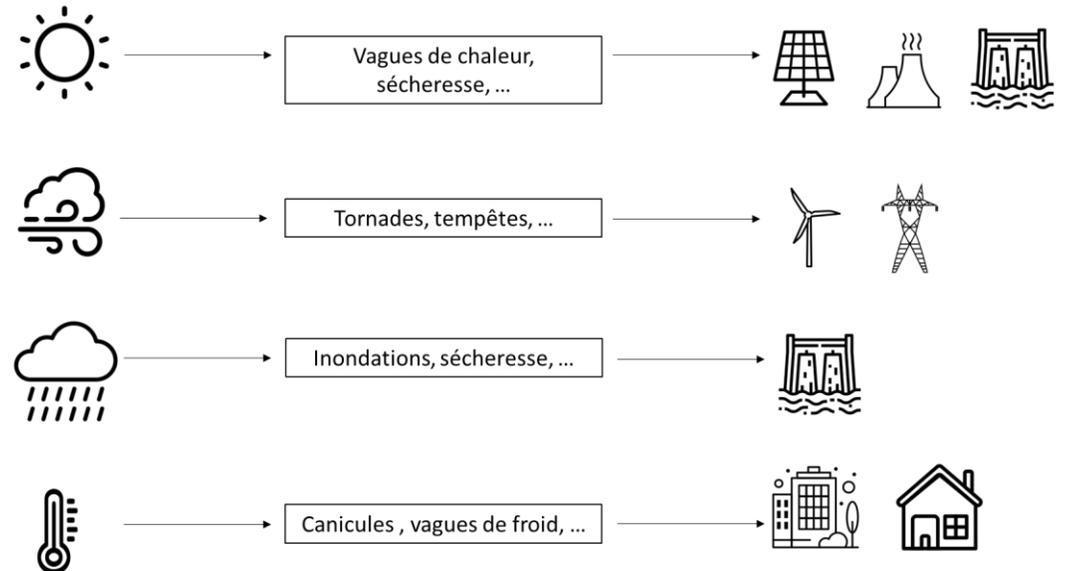


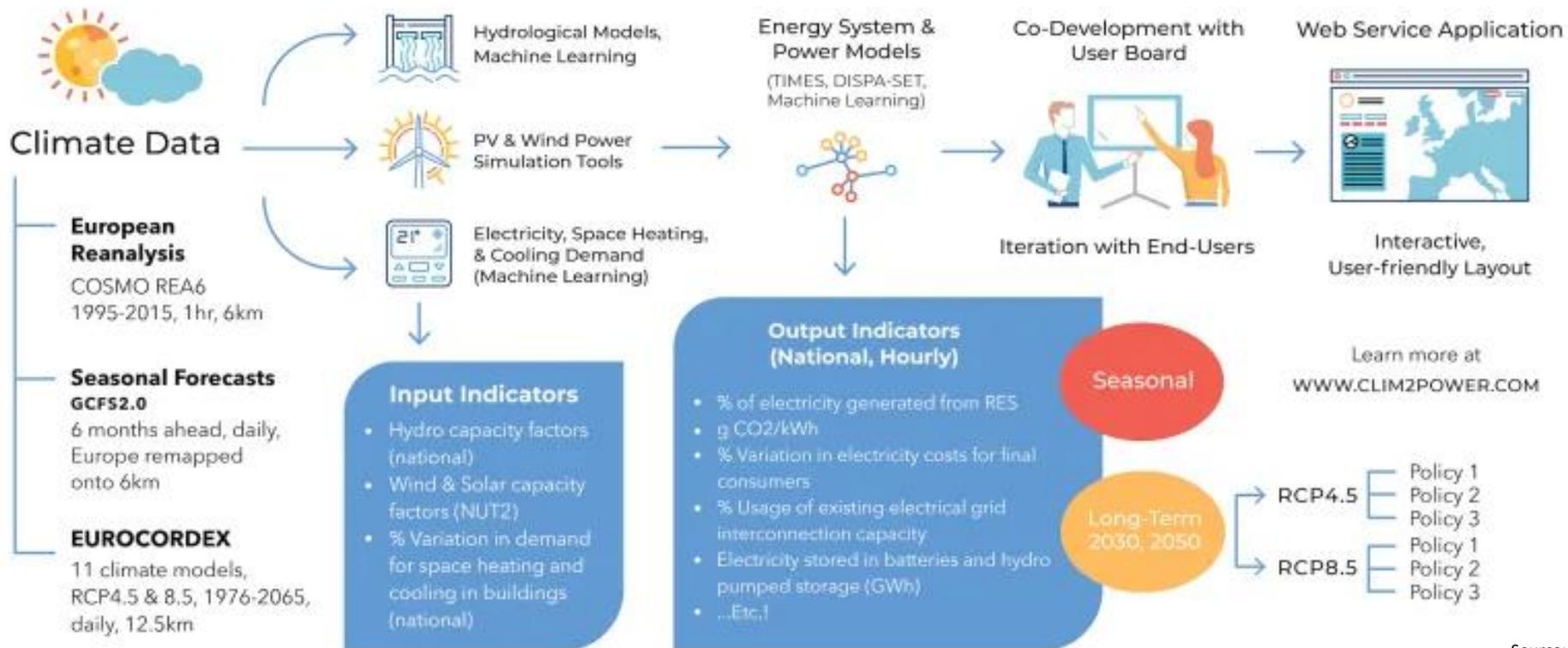
14 Octobre 2020



Une production intermittente et une demande fortement dépendantes des conditions climatiques

Des évolutions du climat projetant une augmentation du risque d'évènements extrêmes



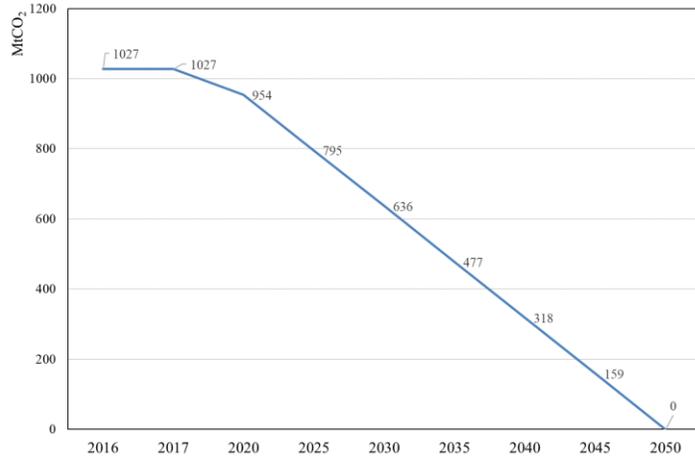


Source: Clim2Power

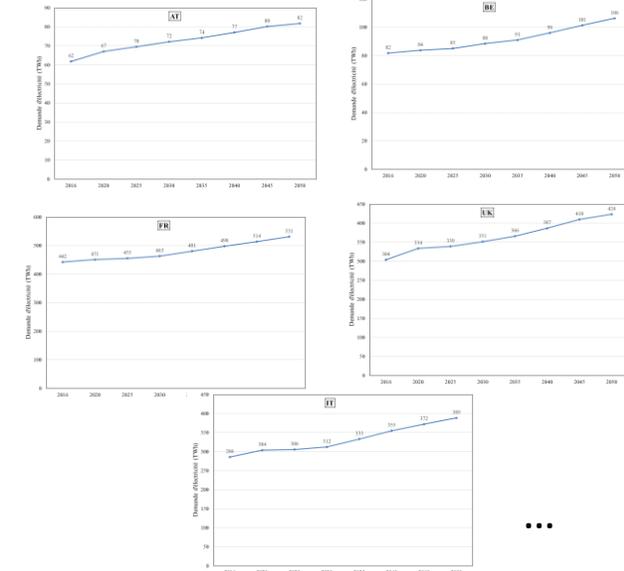
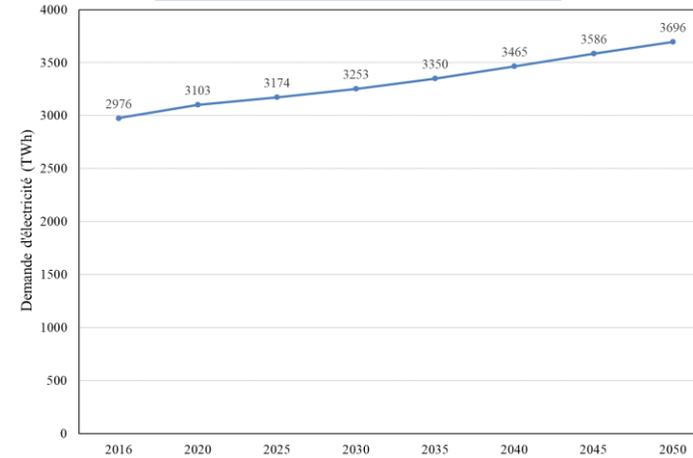
- Une approche intégrée d'évaluation de l'impact de la variabilité climatique sur l'opération du système électrique européen
- Différentes communautés scientifiques: climat, méthodes statistiques, modélisation, ...
- 22 projections RCP4.5 et RCP8.5 (température, ensoleillement, précipitation, vitesse de vent, ...)
- Impact de la variabilité sur la production et la demande

- La neutralité du secteur électrique européen- **le scénario NEUTR**

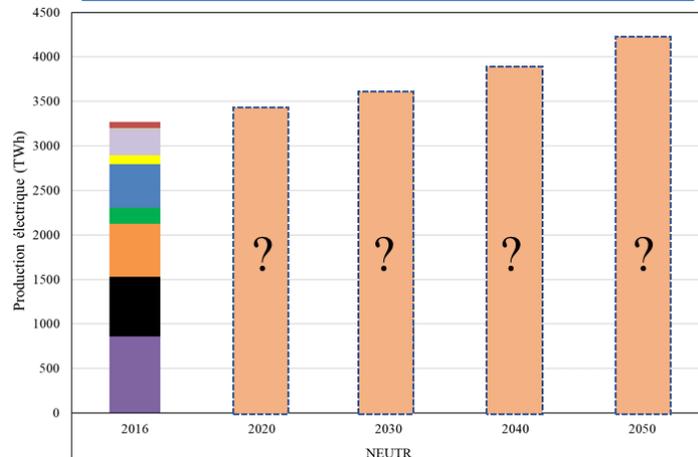
Emissions de CO₂



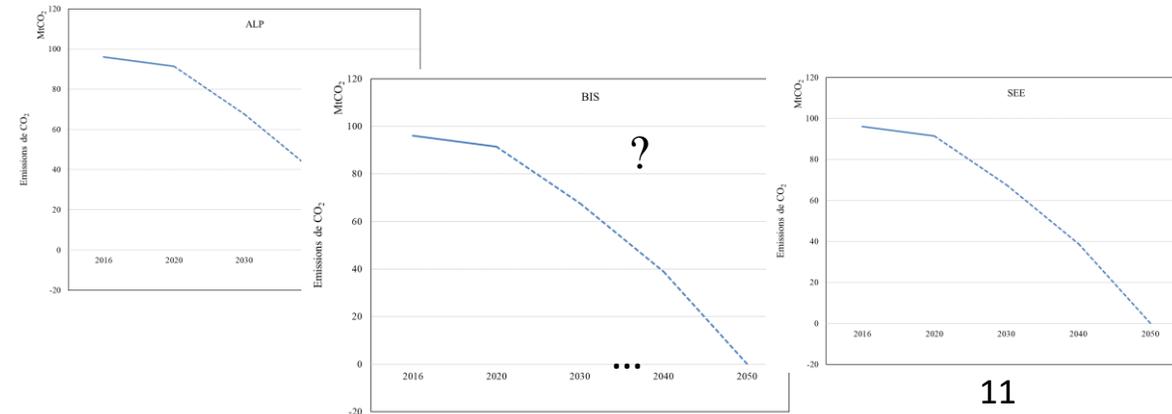
Demande électrique



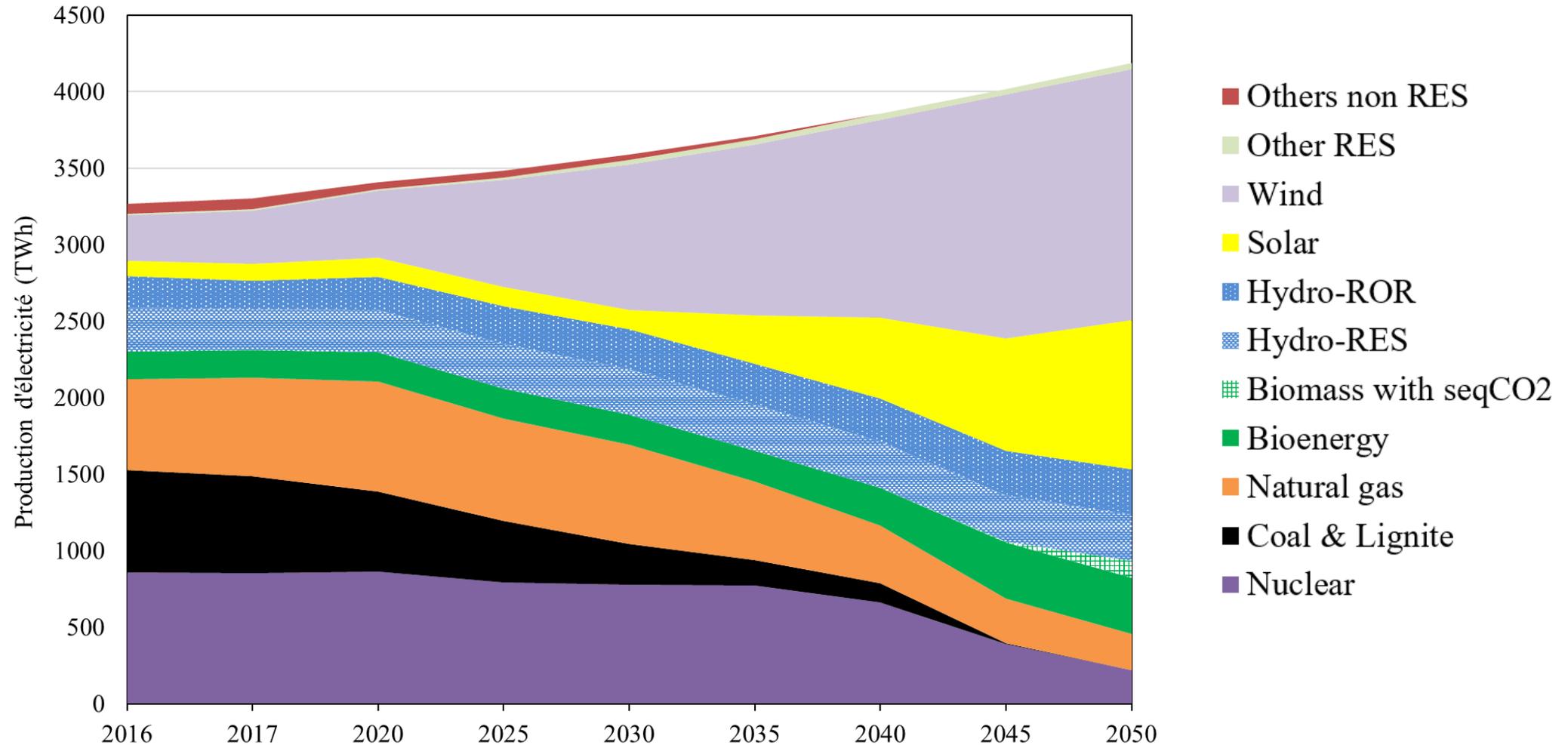
Quelle production électrique ?



Quelles réductions des émissions par région ?



- La neutralité du secteur électrique européen- **le scénario NEUTR**

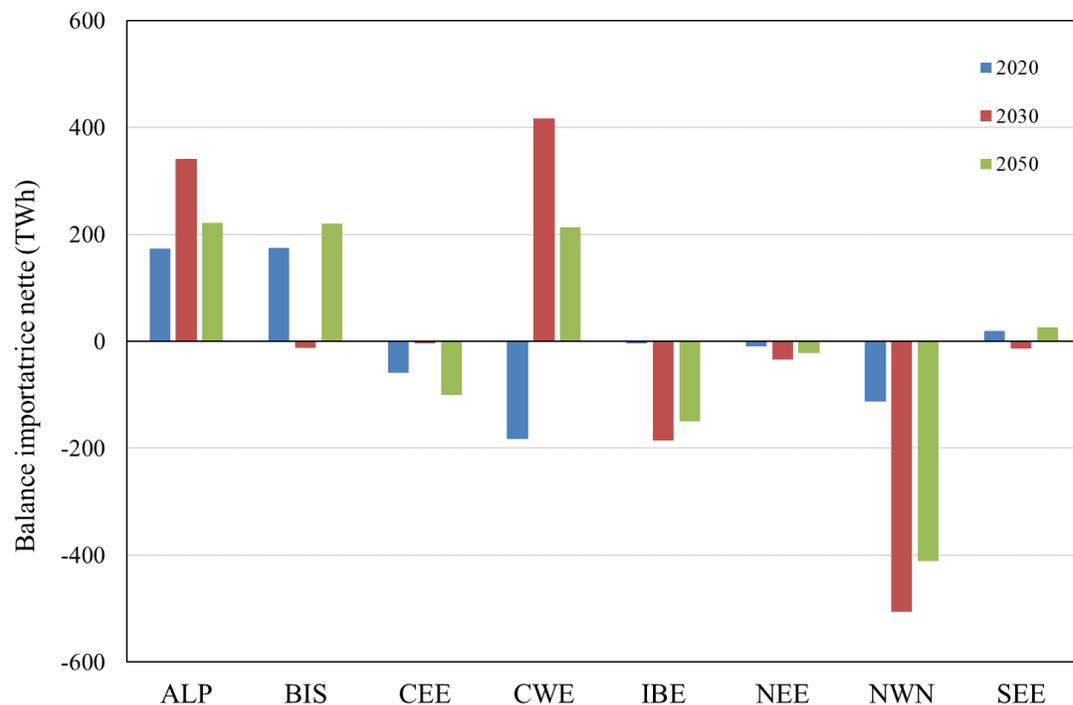


- La neutralité du secteur électrique européen- **le scénario NEUTR**

Niveaux de réduction des émissions par rapport à 2016

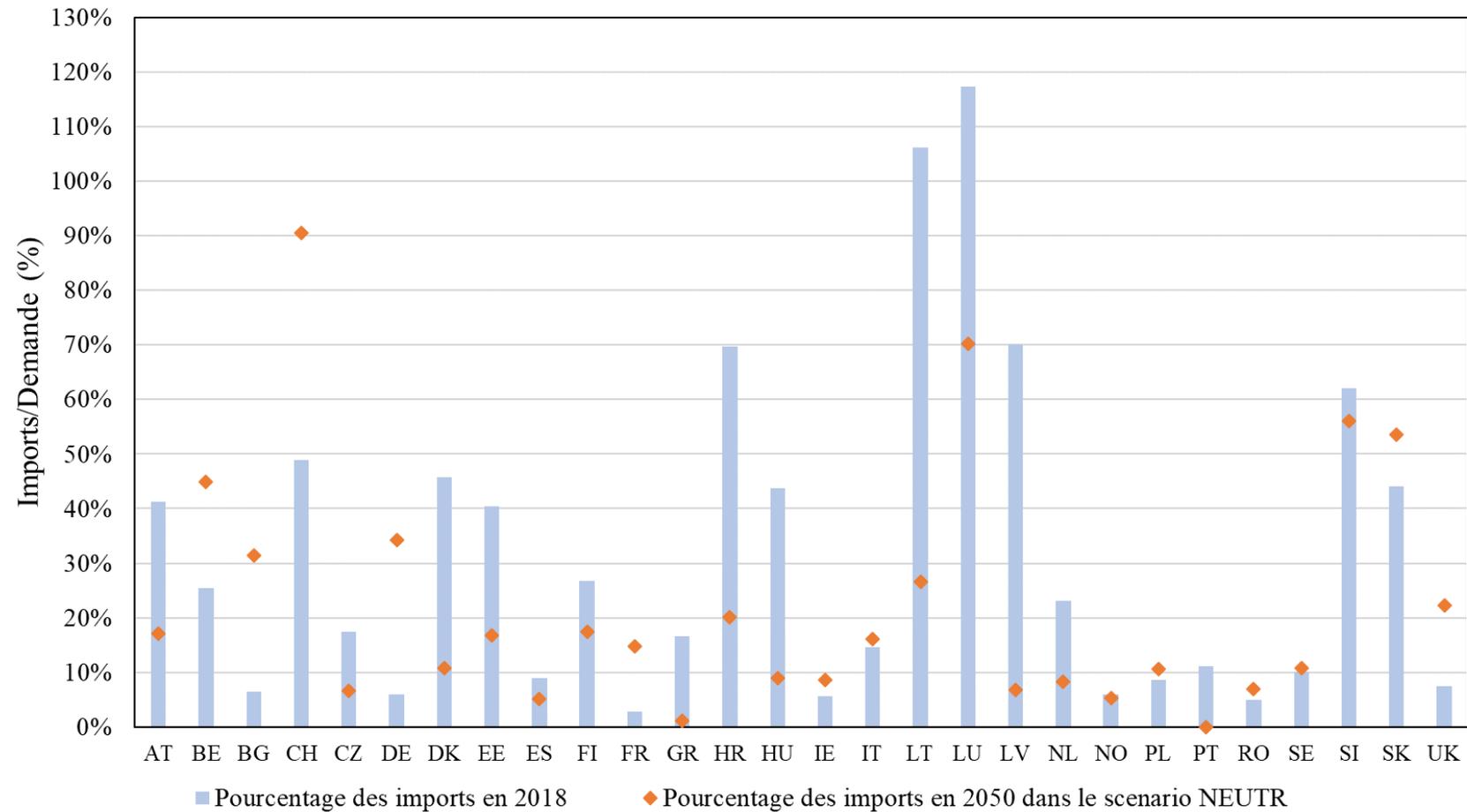
Années	ALP	BIS	CEE	CWE	IBE	NEE	NWN	SEE
2020	-4,9%	-3,7%	-7,7%	-8,8%	-5,4%	28,7%	1,0%	-13,3%
2030	-29,6%	-24,0%	-42,0%	-34,8%	-49,5%	23,1%	-72,0%	-66,1%
2040	-59,5%	-78,5%	-70,6%	-64,0%	-77,0%	-80,3%	-73,5%	-85,1%
2050	-100,0%	-100,0%	-100,0%	-100,0%	-100,0%	-100,0%	-100,0%	-100,0%

Région	Signification
ALP	Péninsule alpine
BIS	Iles britanniques
CEE	Centre-est de l'Europe
CWE	Centre-Ouest de l'Europe
IBE	Péninsule ibérique
NEE	Nord Est de l'Europe
NWN	Nord Ouest de l'Europe
SEE	Sud Est de l'Europe

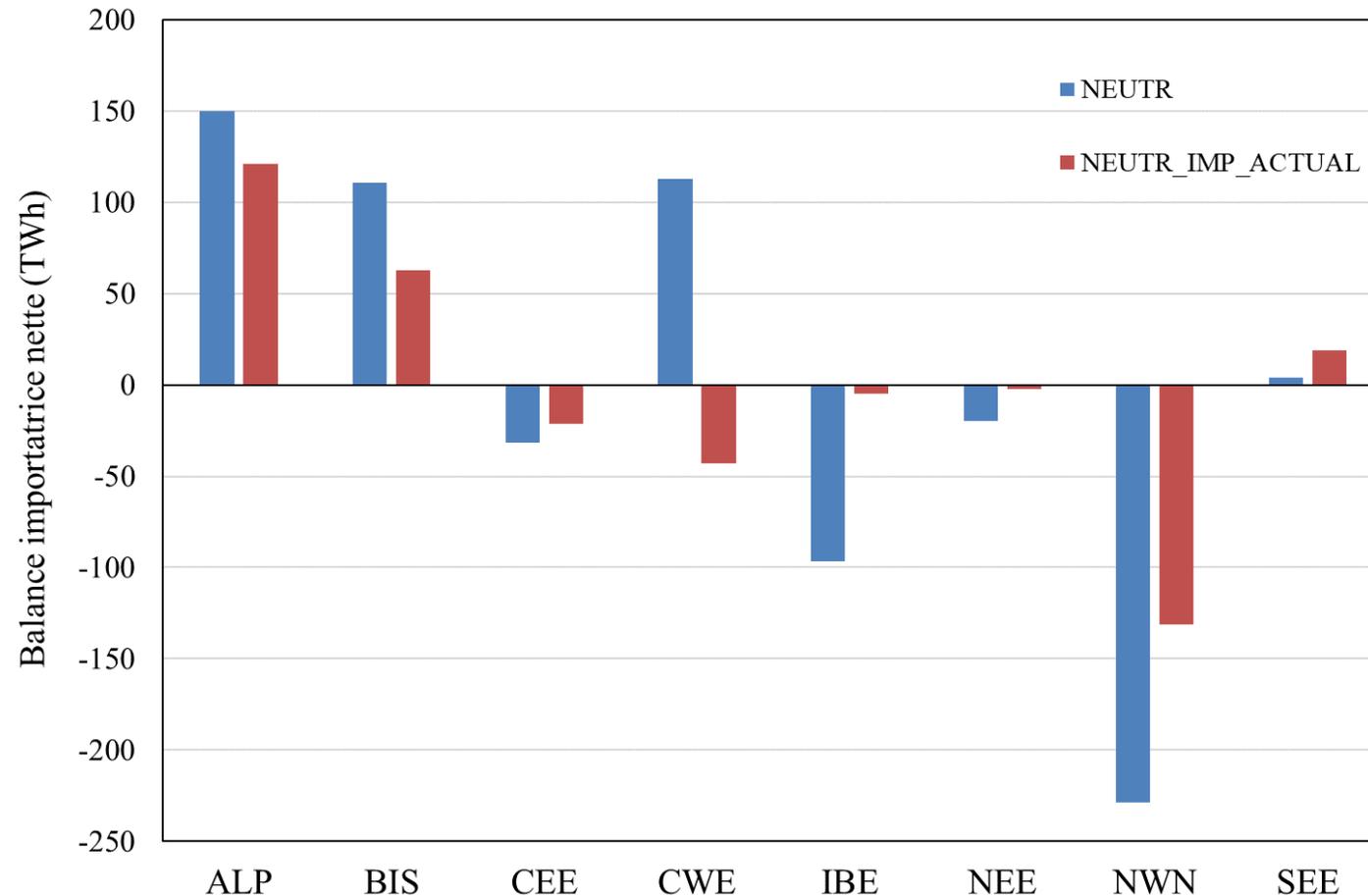


- Volumes totaux échangés multipliés par 4 entre 2020 et 2050
- Des exports accrus depuis les zones IBE et NWN

- La neutralité du secteur électrique européen- **le scénario NEUTR**



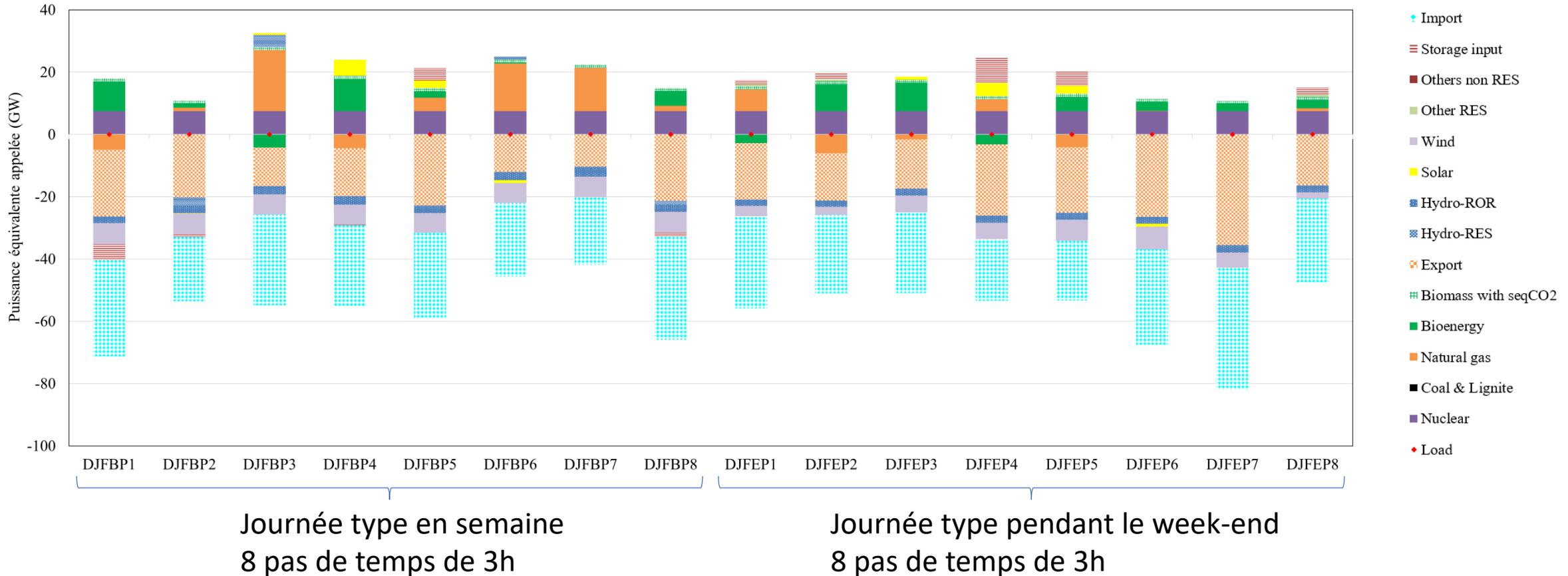
- La neutralité du secteur électrique européen- **le scénario NEUTR_IMP_ACTUAL (NEUTR + Imports limités)**
 - Evolution des volumes d'échanges et statut des différentes régions en 2050



Région	Signification
ALP	Péninsule alpine
BIS	Iles britanniques
CEE	Centre-est de l'Europe
CWE	Centre-Ouest de l'Europe
IBE	Péninsule ibérique
NEE	Nord Est de l'Europe
NWN	Nord Ouest de l'Europe
SEE	Sud Est de l'Europe

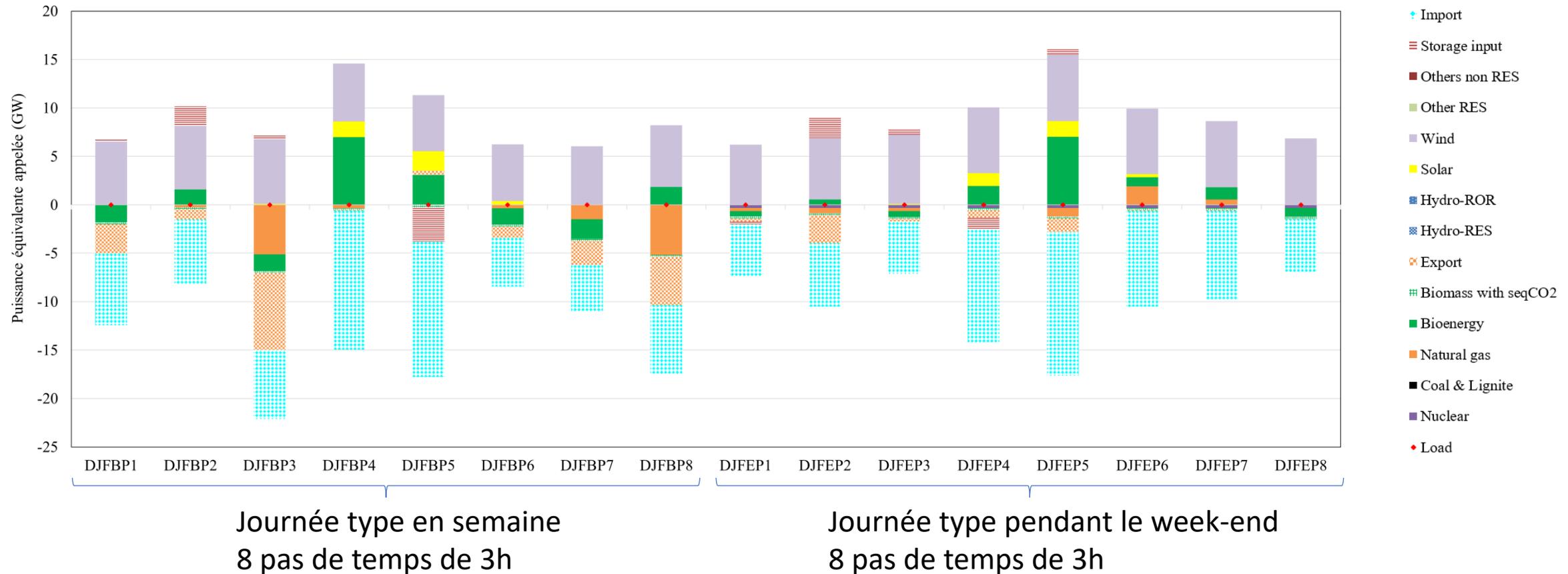
- La neutralité du secteur électrique européen- **le scénario NEUTR_IMP_ACTUAL (NEUTR + Imports limités)**
 - Différence de puissance équivalente en hiver par rapport au scénario NEUTR

CWE 2050

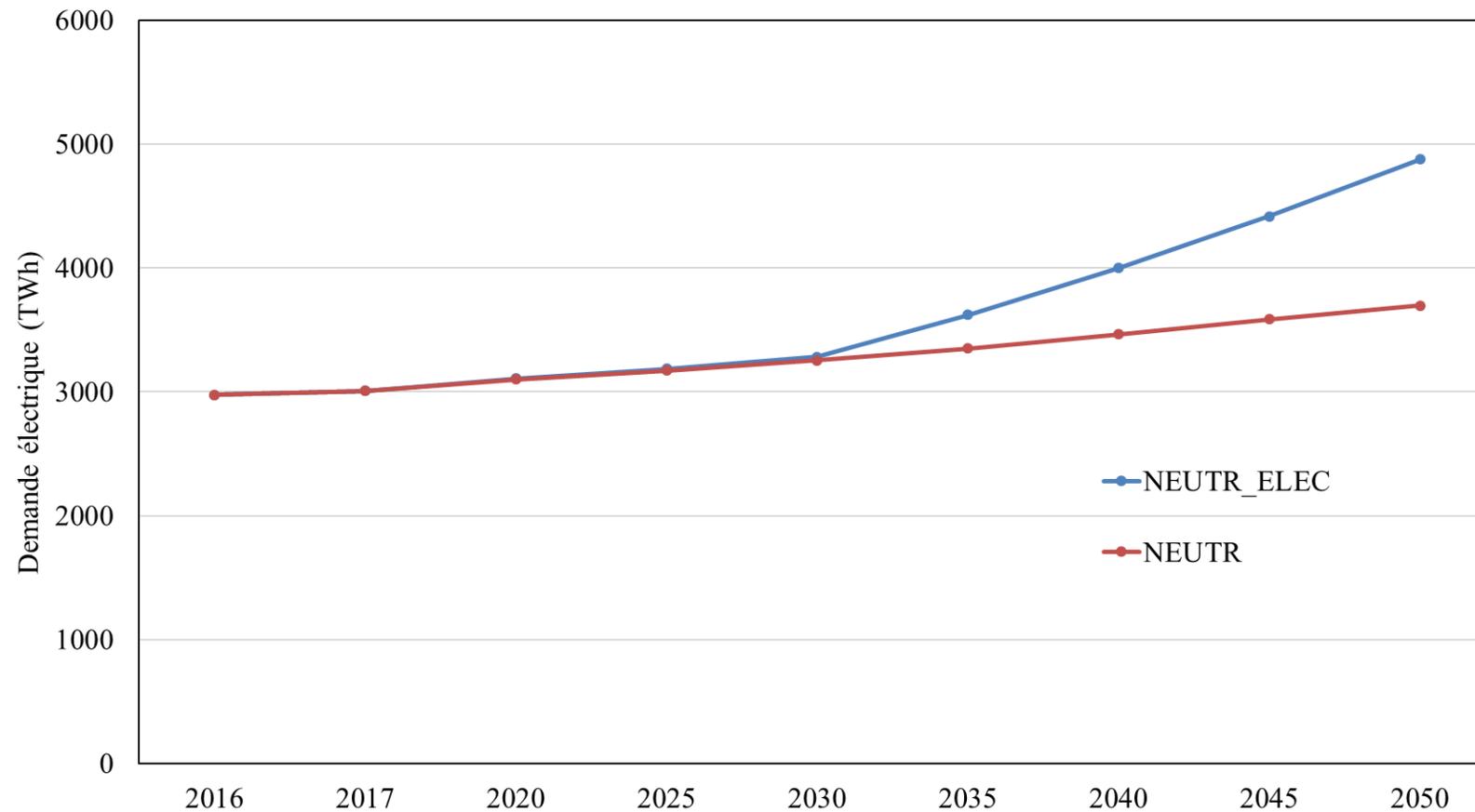


- La neutralité du secteur électrique européen- **le scénario NEUTR_IMP_ACTUAL (NEUTR + Imports limités)**
 - Différence de puissance équivalente en hiver par rapport au scénario NEUTR

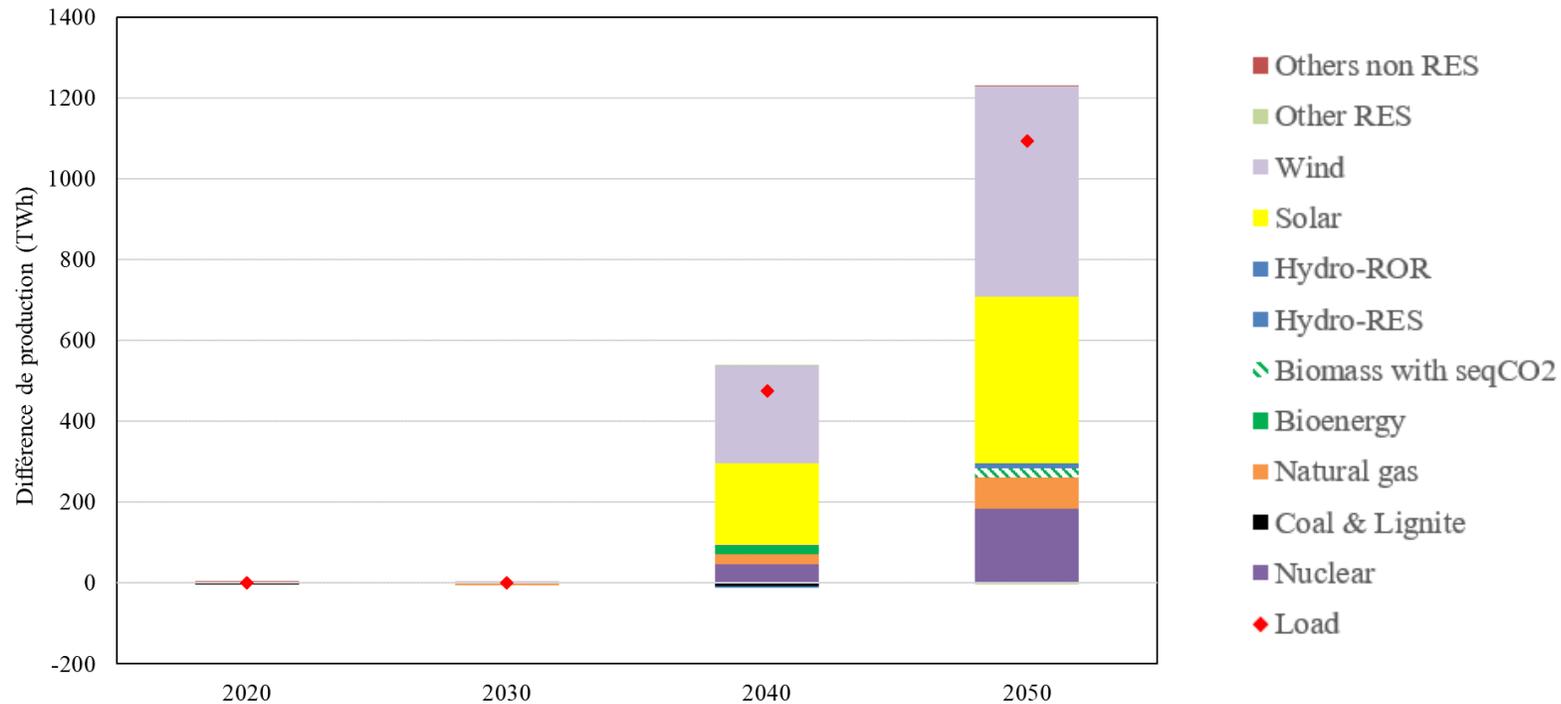
BIS 2050



- La neutralité du secteur électrique européen- **le scénario NEUTR_ELEC (NEUTR + demande électrique élevée)**



- La neutralité du secteur électrique européen- **le scénario NEUTR_ELEC (NEUTR + demande électrique élevée)**
 - Différence de production électrique par rapport au scénario NEUTR

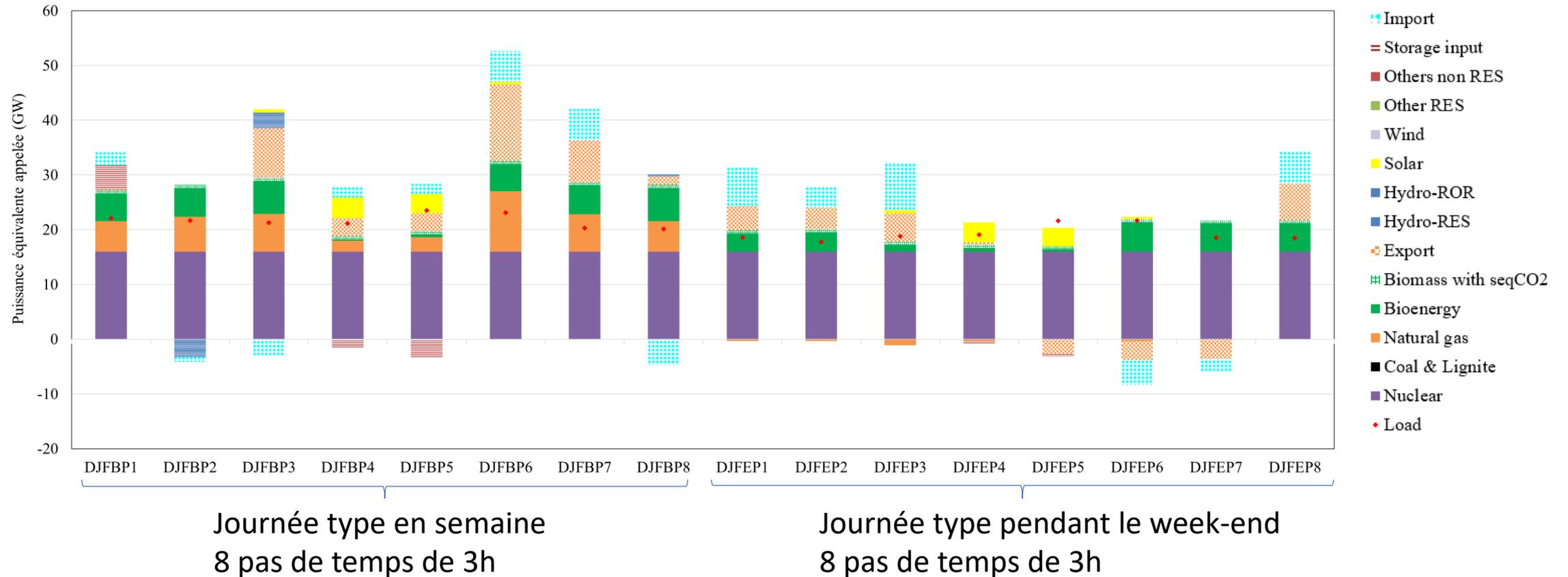


Rythmes annuels de déploiement des capacités (GW) entre 2020 et 2050

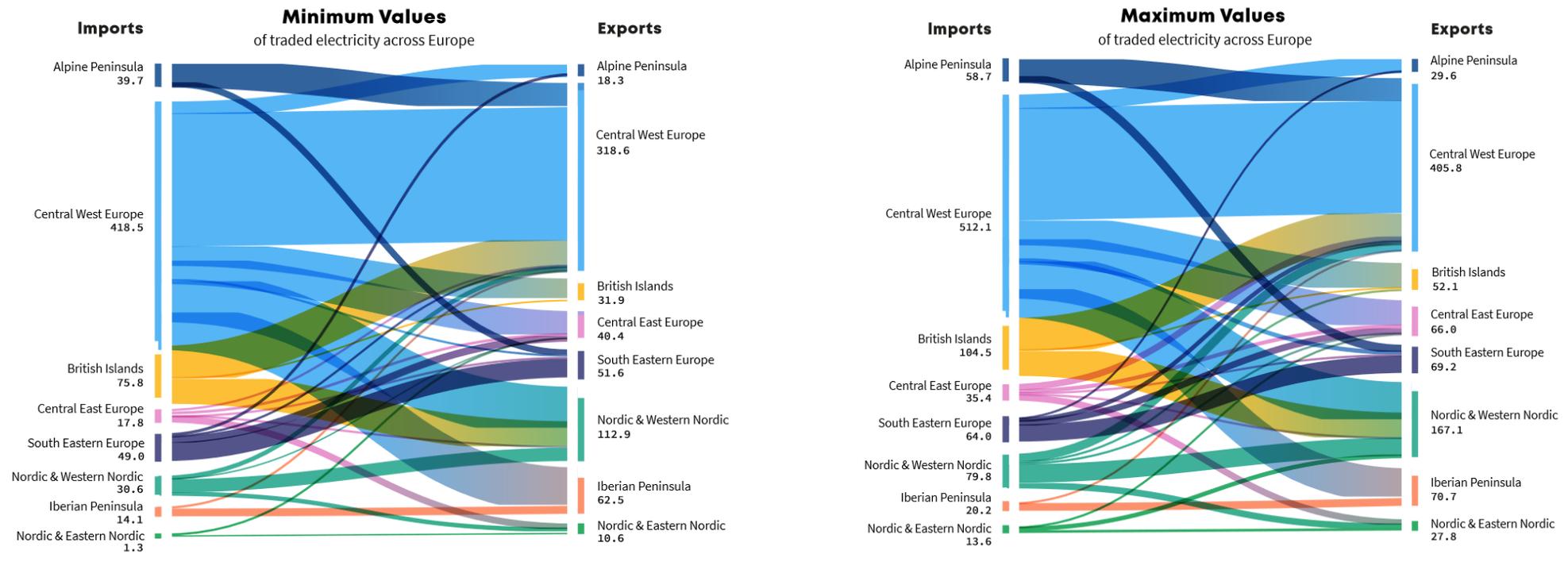
Scénario	Solar	Wind
NEUTR	23,8	17,4
NEUTR_ELEC	37,5	24,4
Rythme actuel (2013-2018)	6,8	12,4

- La neutralité du secteur électrique européen- **le scénario NEUTR_ELEC (NEUTR + demande électrique élevée)**
 - Différence de puissance équivalente en hiver par rapport au scénario NEUTR

FR 2050



- La neutralité du secteur électrique européen
 - L'impact du changement climatique sur les volumes d'électricité échangés en 2050



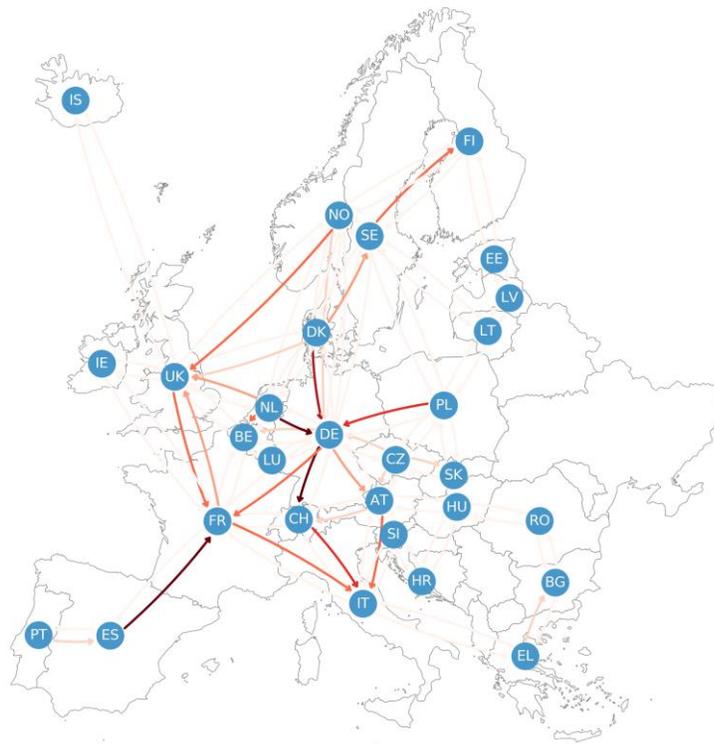
Conclusion

Quelle place pour les interconnexions dans une France 'renouvelable'?

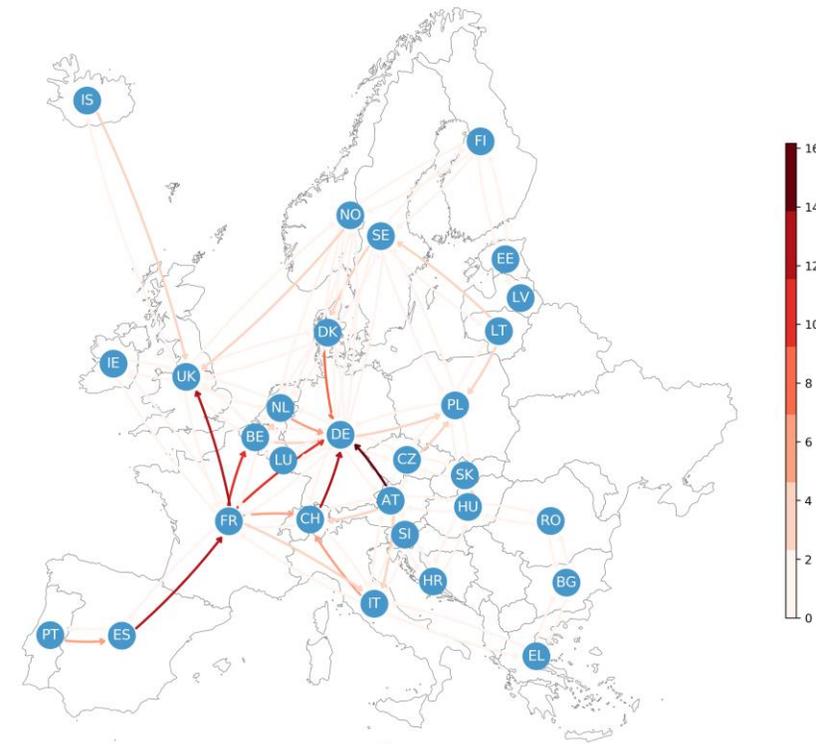
- Un rôle accru dans l'équilibre offre-demande en présence d'une forte intégration des VRES
- Une variable critique d'ajustement pour l'atteinte de la neutralité face à la variabilité climatique
- Une interconnectivité limitée renforce le besoin d'autres moyens de production notamment nucléaire

Perspectives

- Evaluer le dimensionnement du système face aux événements extrêmes



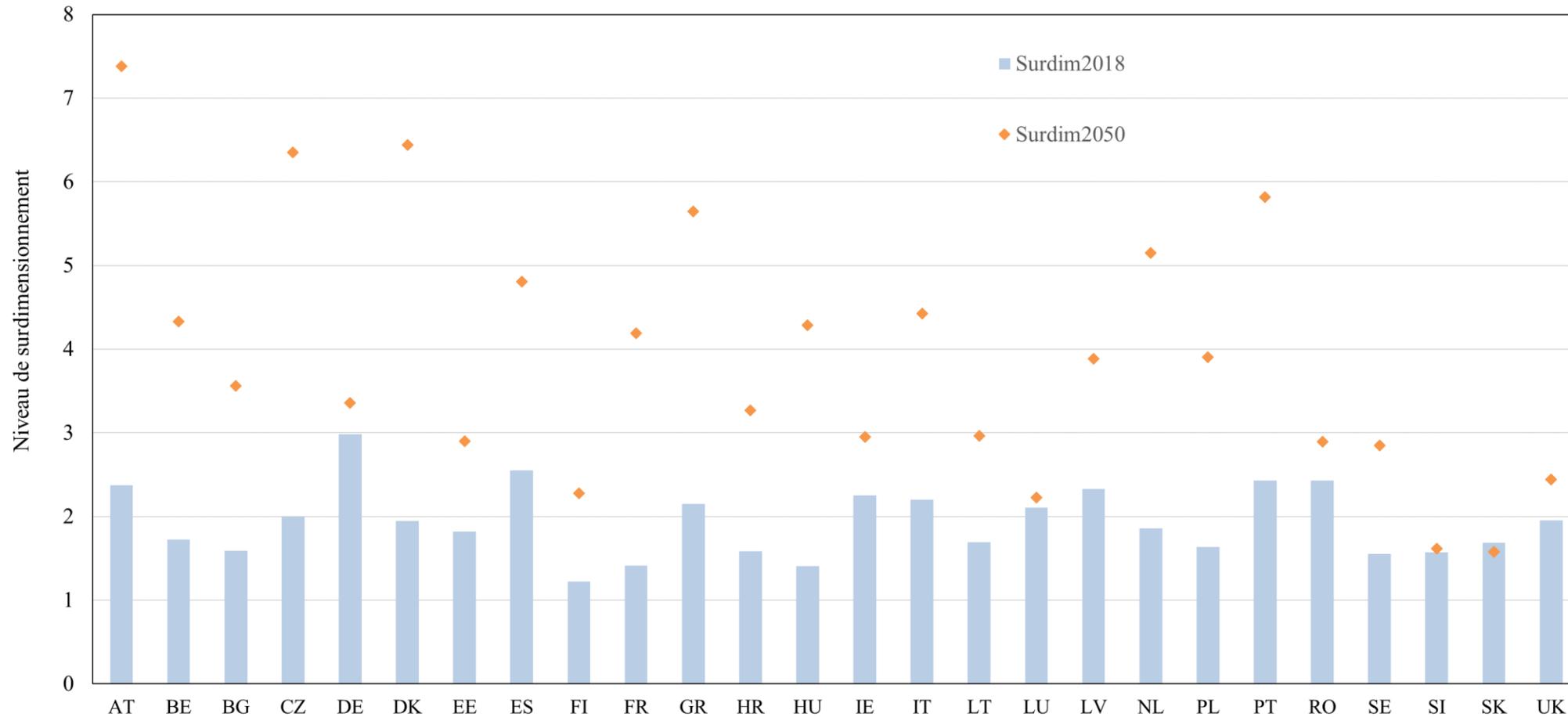
Scénario NEUTR
2050- hiver



Scénario NEUTR
2050- été

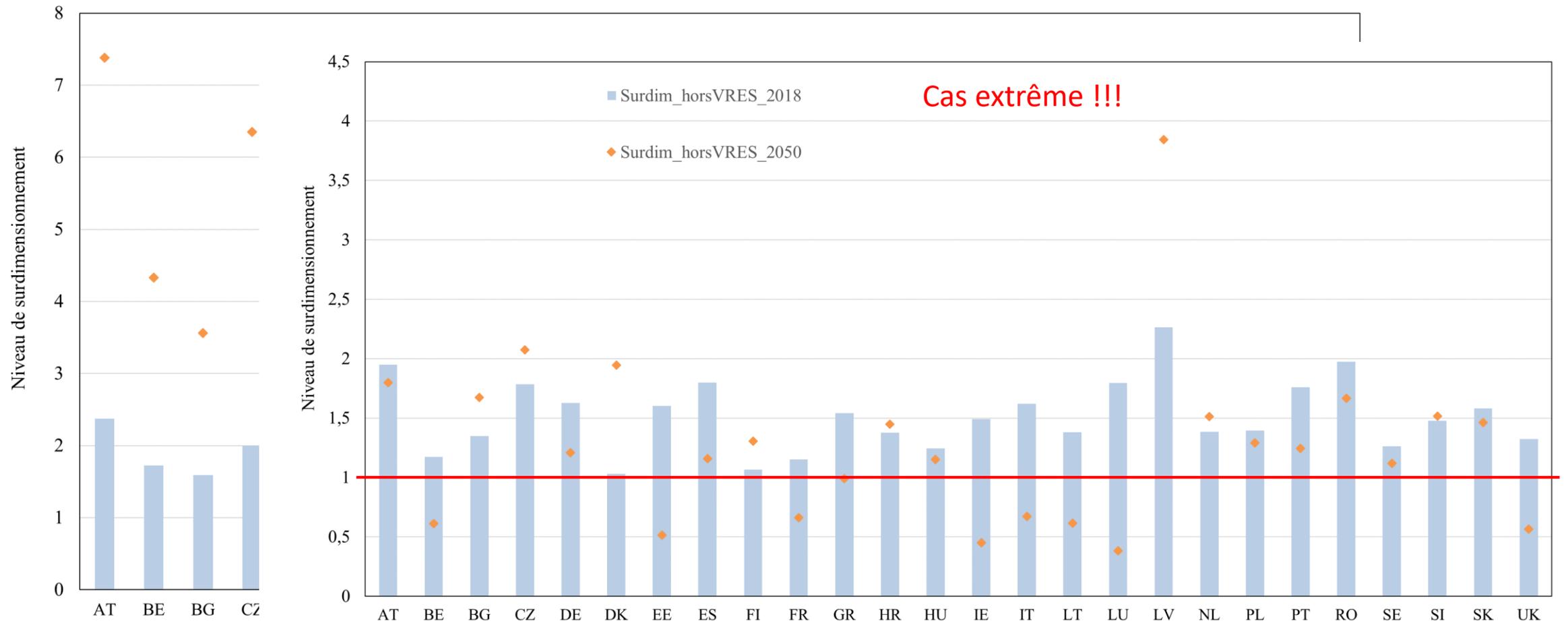
- Evaluer la fiabilité du système électrique en 2050 à l'échelle européenne

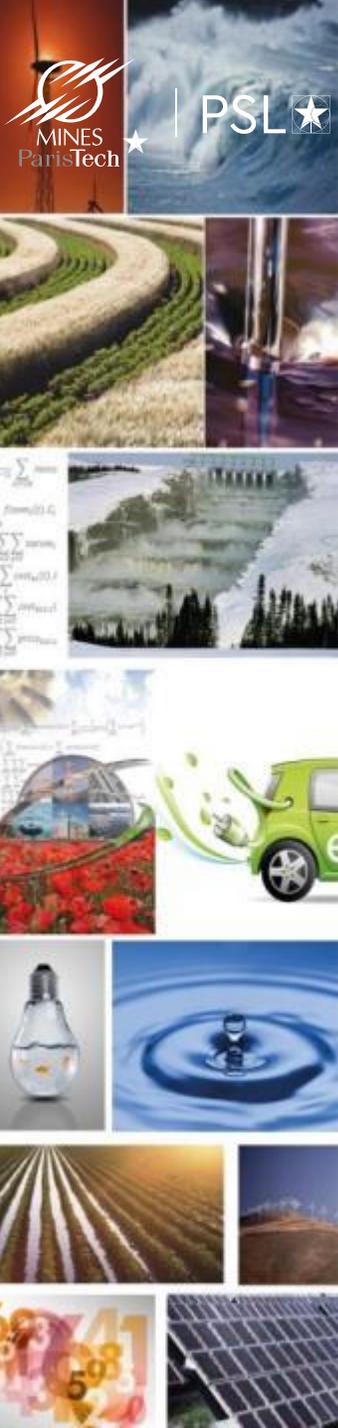
$$N_{surdim} = \frac{Capacité}{Puissance\ maximale\ appelée}$$



- Evaluer la fiabilité du système électrique en 2050 à l'échelle européenne

$$N_{surdim} = \frac{Capacité}{Puissance\ maximale\ appelée}$$





**Les interconnexions du système électrique européen
carbone neutre comme flexibilité pour une
France 'renouvelable'**

Gildas SIGGINI, Edi ASSOUMOU, Sophie DEMASSEY

CMA, MINES ParisTech, PSL

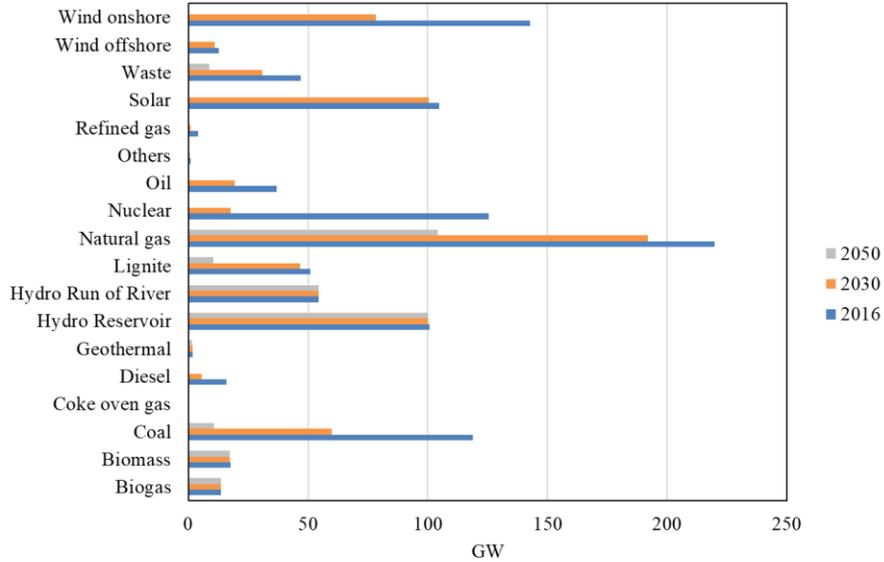
Séminaire Chaire MPDD

25 Fév. 2021

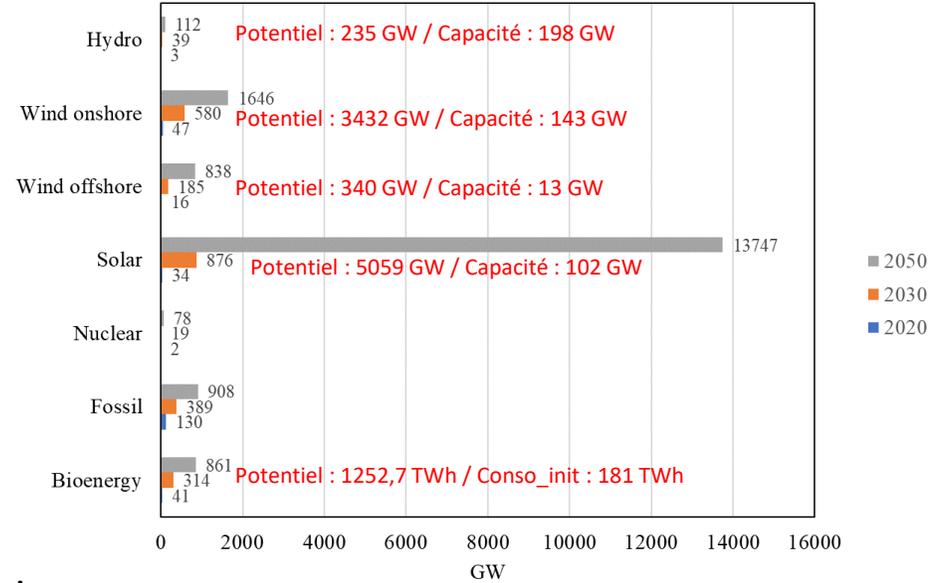
MERCI POUR VOTRE ATTENTION



Evolution de la capacité



Rythmes de déploiement



Prix des technologies

