

Colloque Hydro 21
Grenoble 4 novembre 2016

**Quelle taille de stockage faut-il prévoir
pour gérer l'intermittence des productions
éoliennes et solaires?**

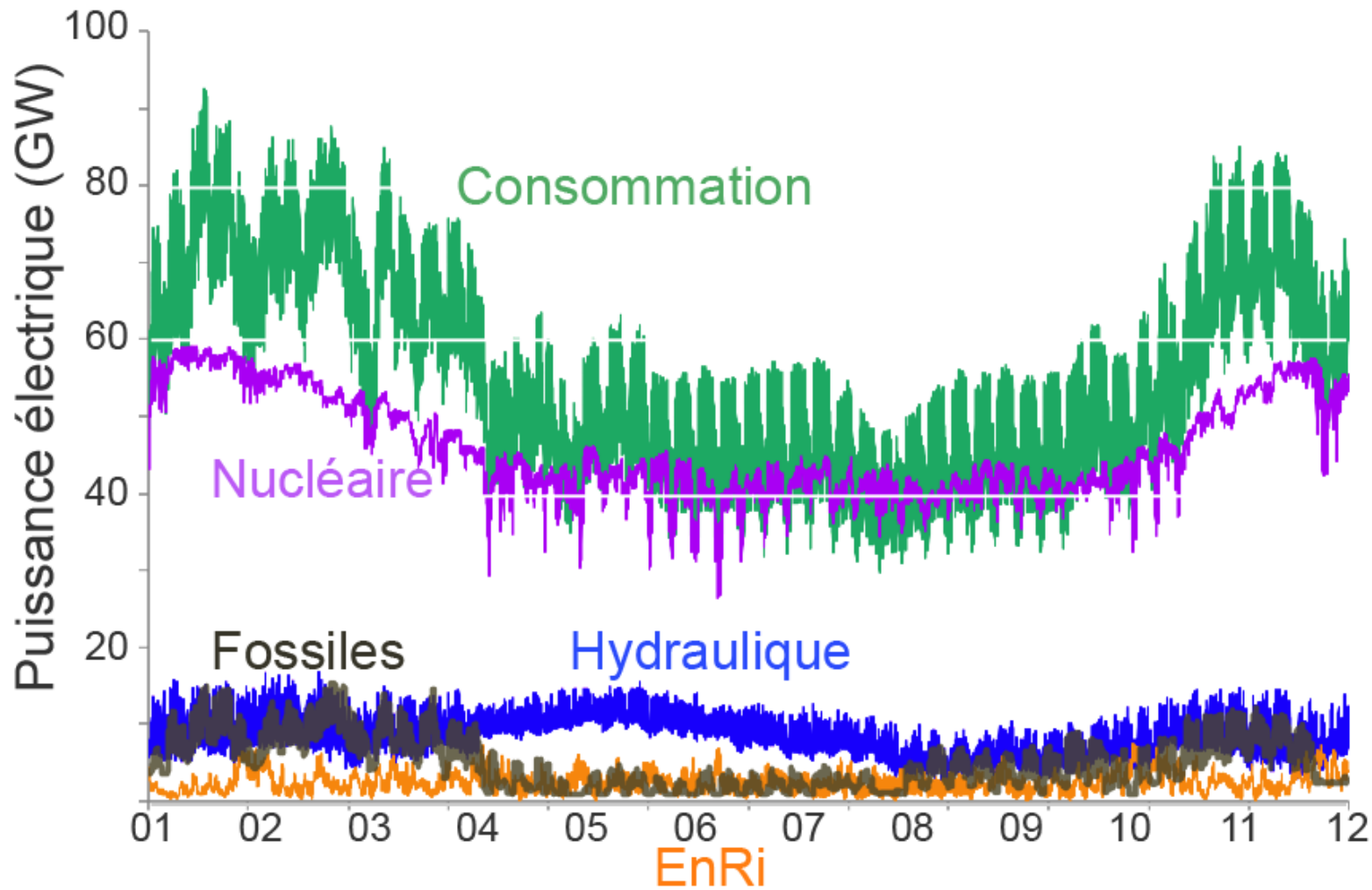
D. Grand, A. Latrobe, C. Le Brun, R. Vidil
GIRE (Groupe pour une expertise Indépendante
& Rationnelle sur l'Energie)

<http://www.realisticenergy.info>

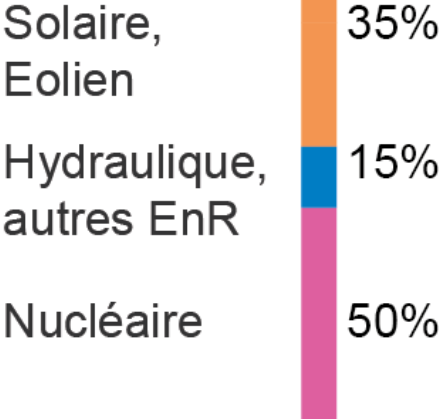
Sommaire

- L'intermittence avec 35% d'éolien et solaire
- Taille d'un stockage parfait
- Possibilités et conséquences

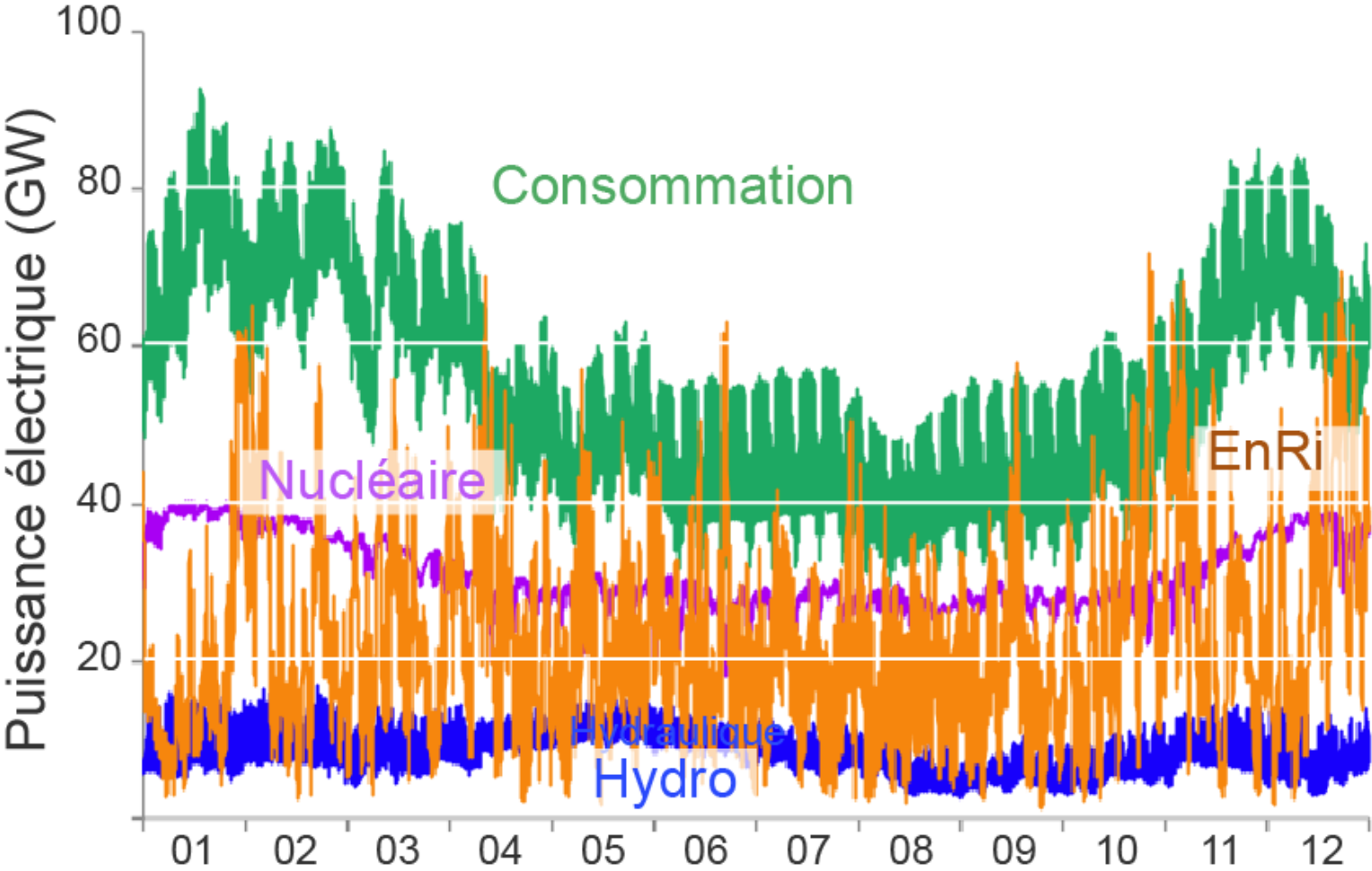
Production électrique France 2013



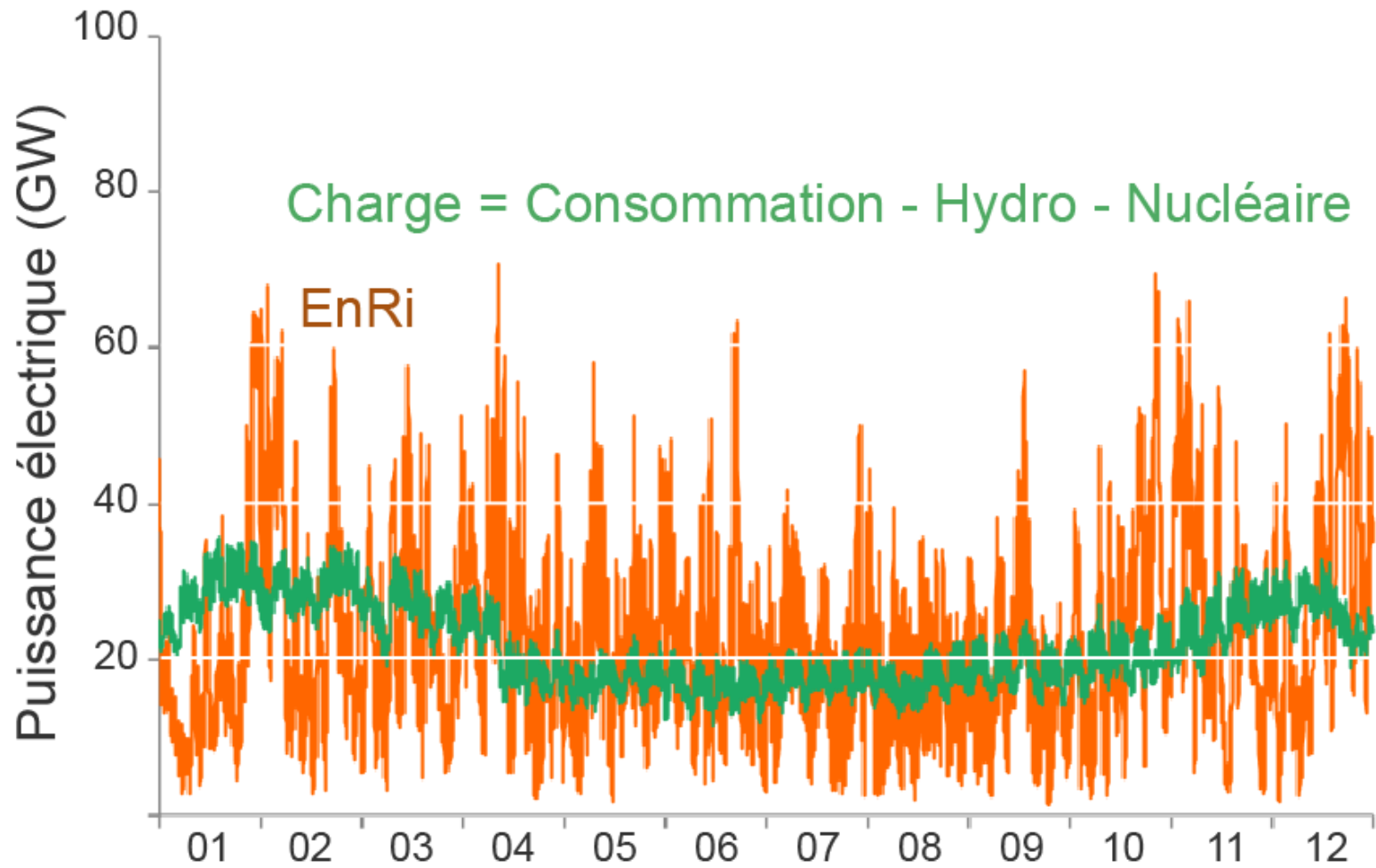
Mix avec 35% d'éolien et PV



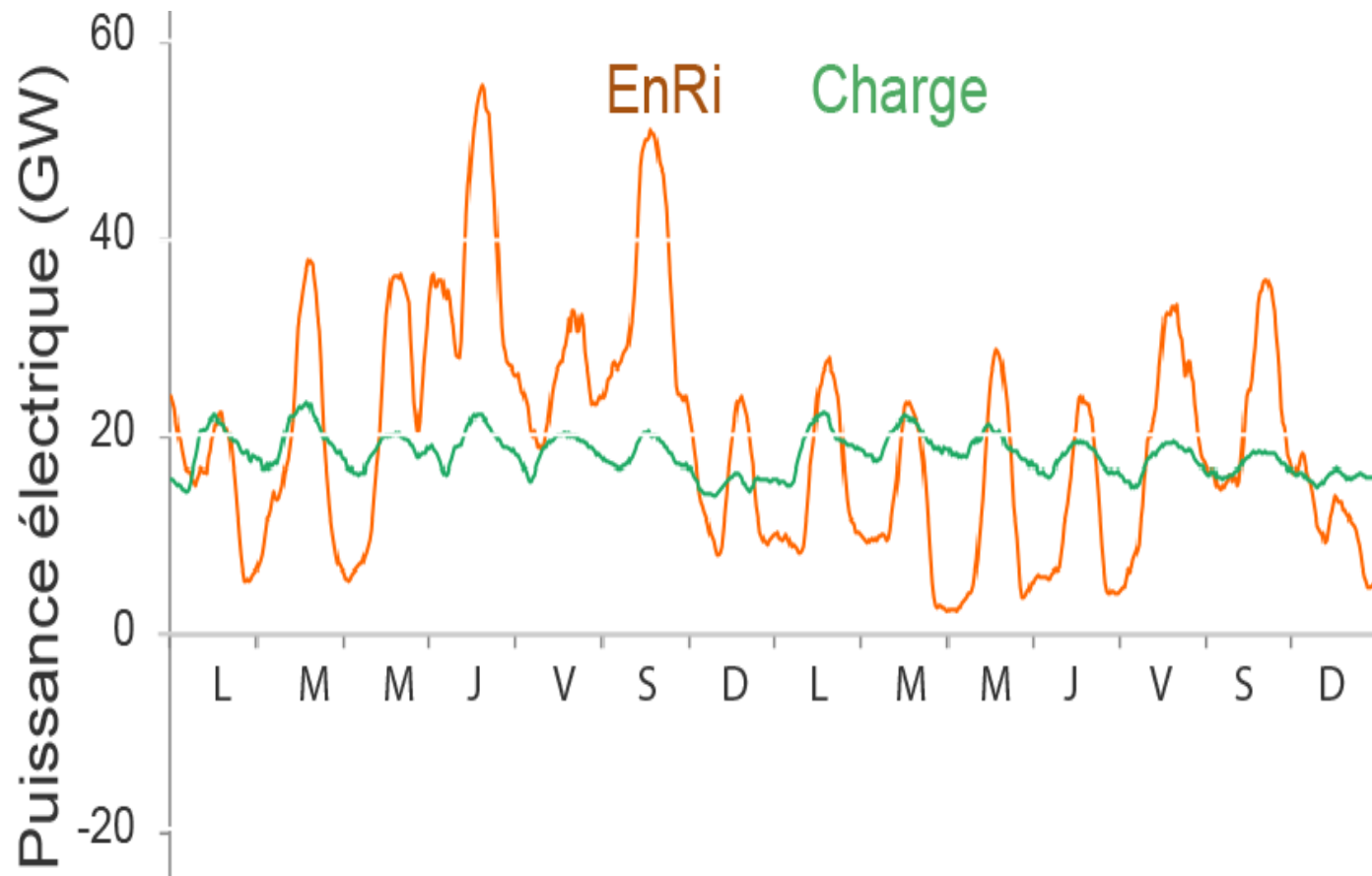
550 TWh/an



Production des EnRi face au besoin

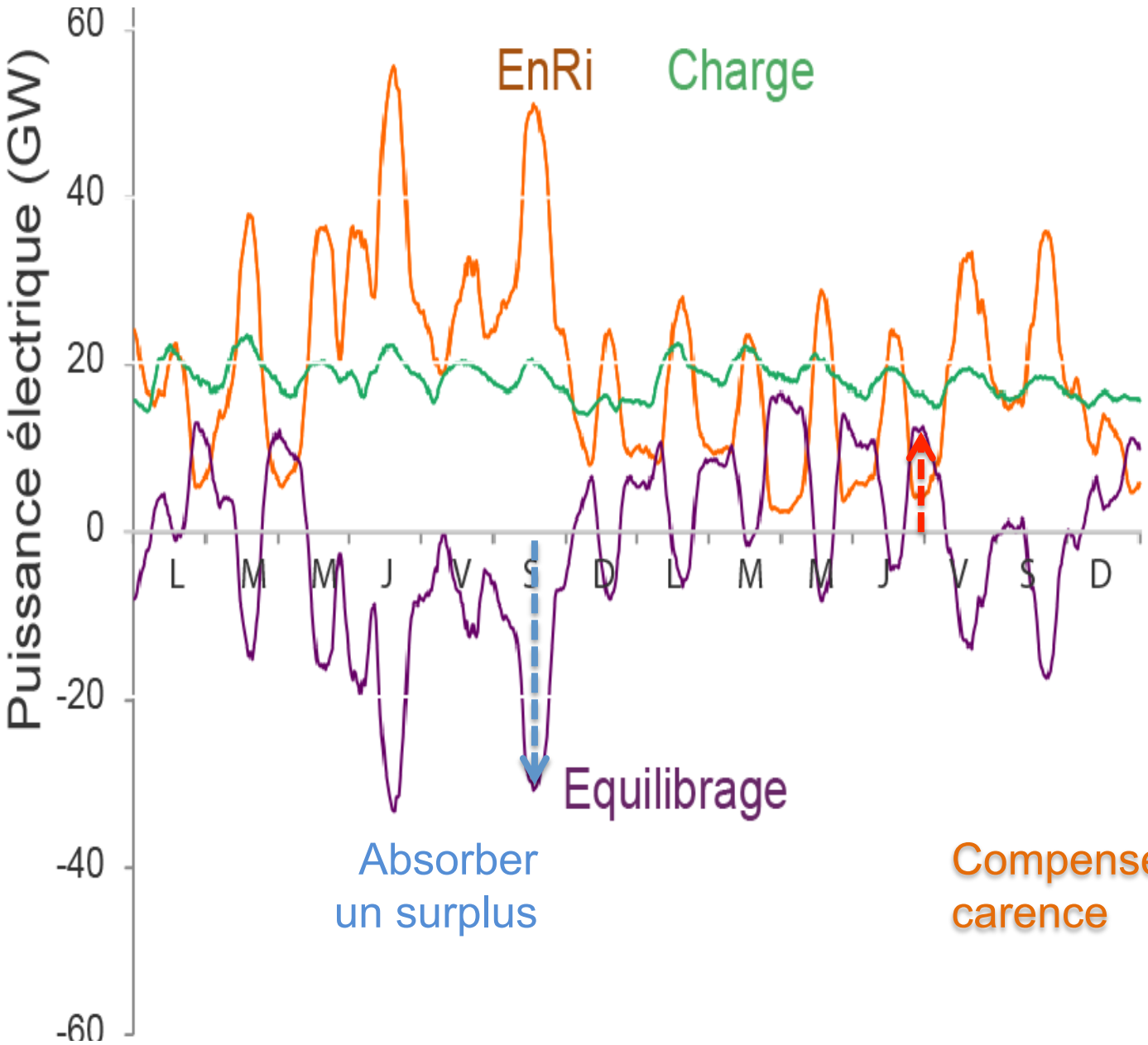


Détail d'une quinzaine d'avril



Charge = Consommation – Hydro – Nucléaire

Besoin de retour à l'équilibre

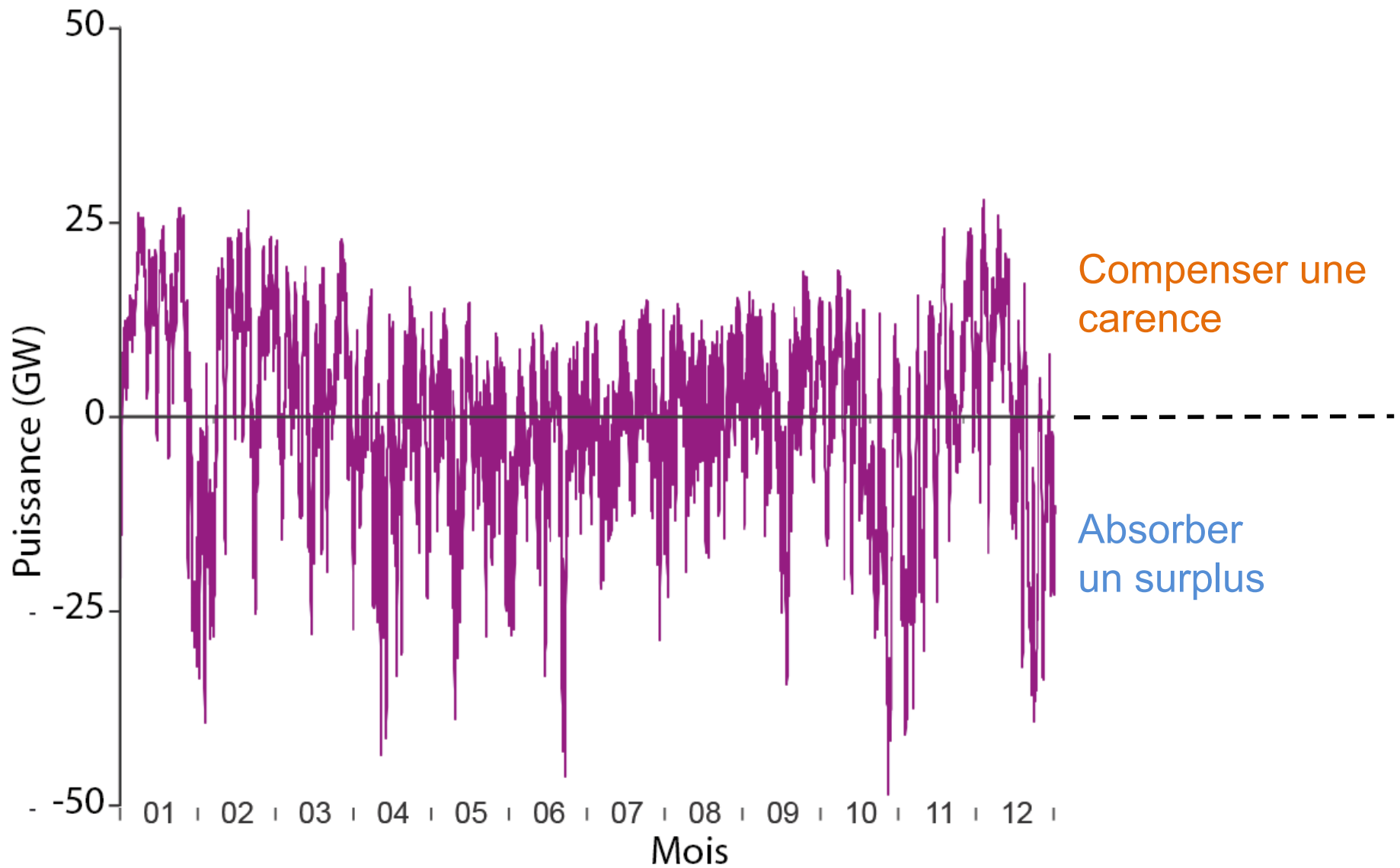


Absorber un surplus

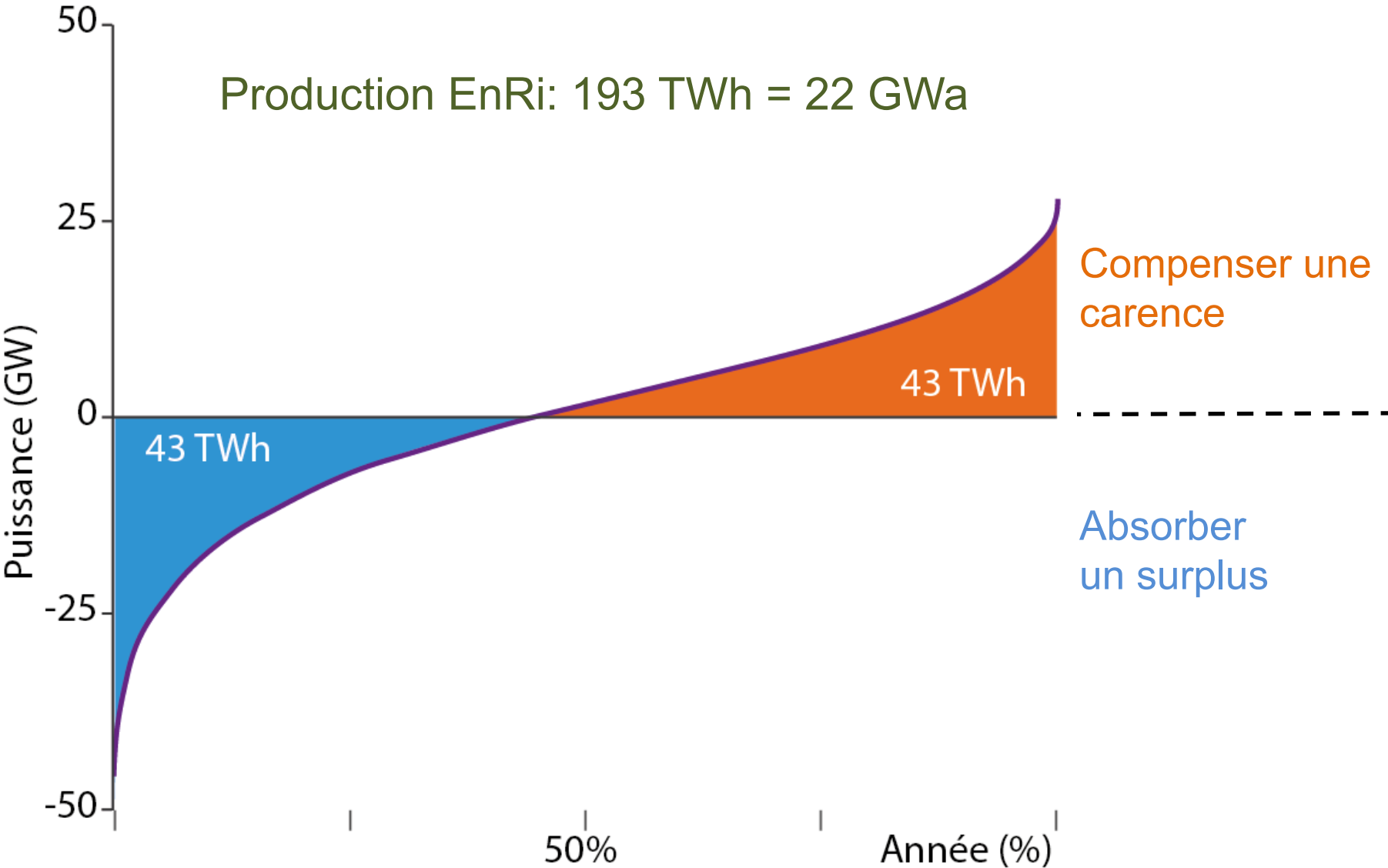
Compenser une carence

Equilibrage

Equilibrage : historique de l'année



Equilibrage : monotone



Sommaire

- L'intermittence avec 35% d'éolien et solaire
- Taille d'un stockage parfait
- Possibilités et conséquences

Stockage parfait

Moyen d'absorption – stockage – restitution

- Dimensionné sur le besoin
 - Puissance absorbée ou restituée
 - Capacité
- Au fonctionnement parfait
 - Sans perte
 - Sans retard, ni inertie

Charge du stockage parfait

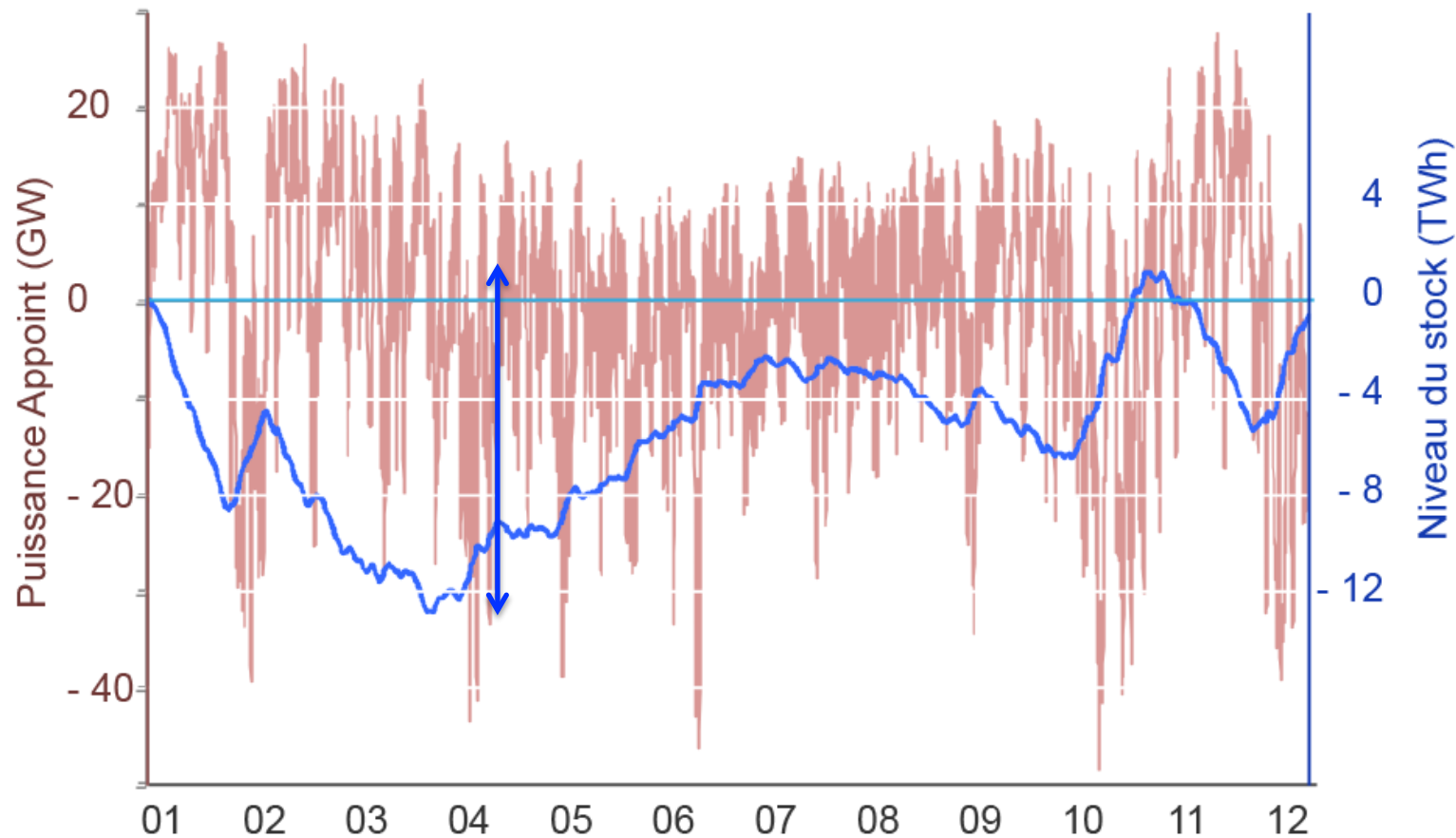
Puissance

Absorption - 45 GW

Restitution + 25 GW

Capacité

15 TWh



Stockages disponibles

Corean 56 Megawatt Energy Storage Project Features World's Largest Lithium NMC Energy Storage System for Frequency Regulation



Barrage de Grand' Maison



Puissance	56 MW	x 800	1,8 GW	x 25
Capacité	15 MWh	x 10 ⁶	35 GWh	x 430

pour atteindre 45 GW et 15 TWh

Sommaire

- L'intermittence avec 35% d'éolien et solaire
- Taille d'un stockage parfait
- **Possibilités et conséquences**

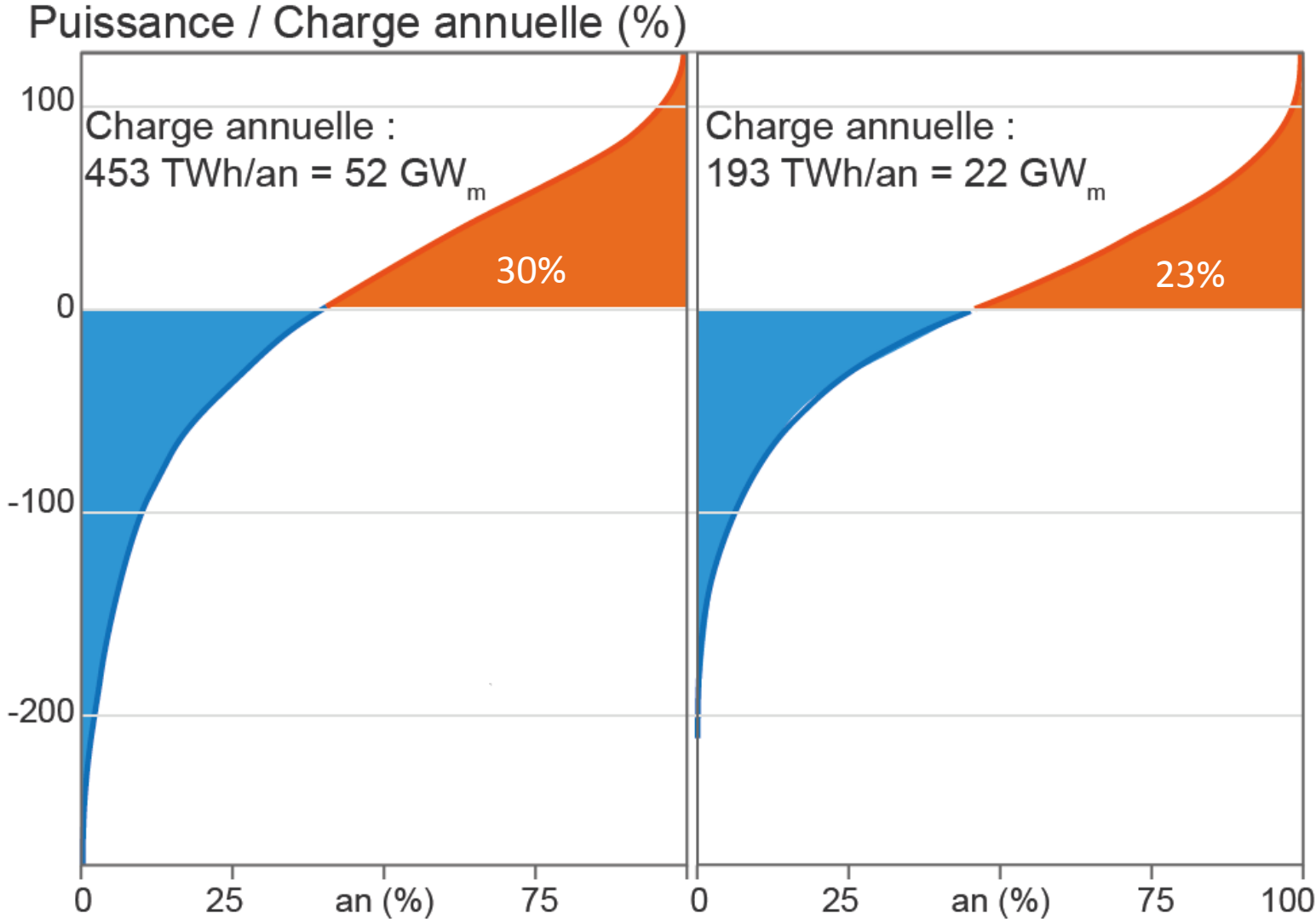
Gestion des excédents et manques

- Quotidienne et hebdomadaire
 - Echanges transfrontaliers
 - Hydraulique: pompage et modulation
 - Stockage par batteries
 - Déplacement de la consommation
- Saisonnière
 - Stockage par hydrogène ou méthane puis combustion (P2G).

Echanges entre DE et FR?

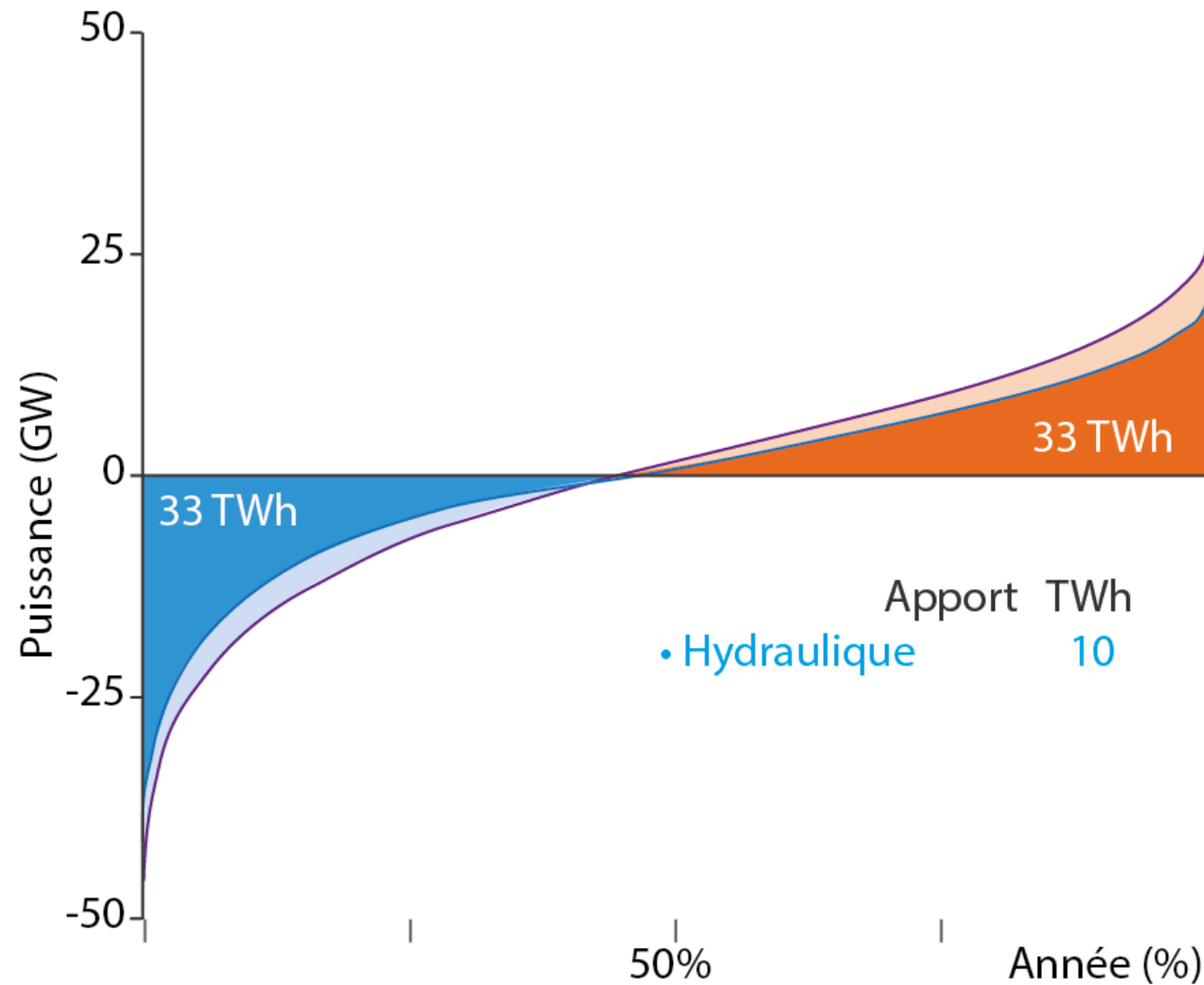
DE 72%

FR 35%



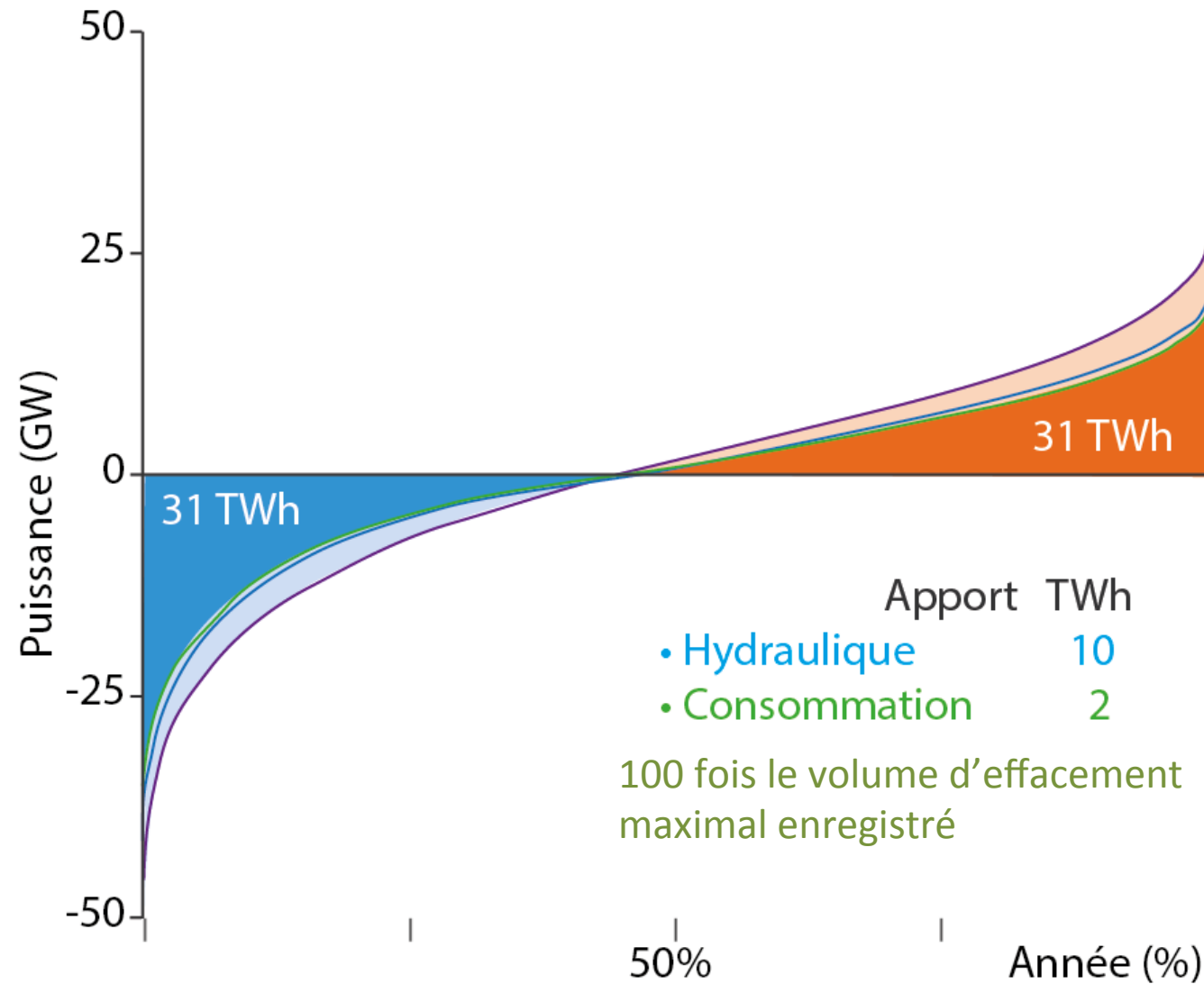
Ajustement de l'hydraulique

FR 35%



Ajustement de la consommation

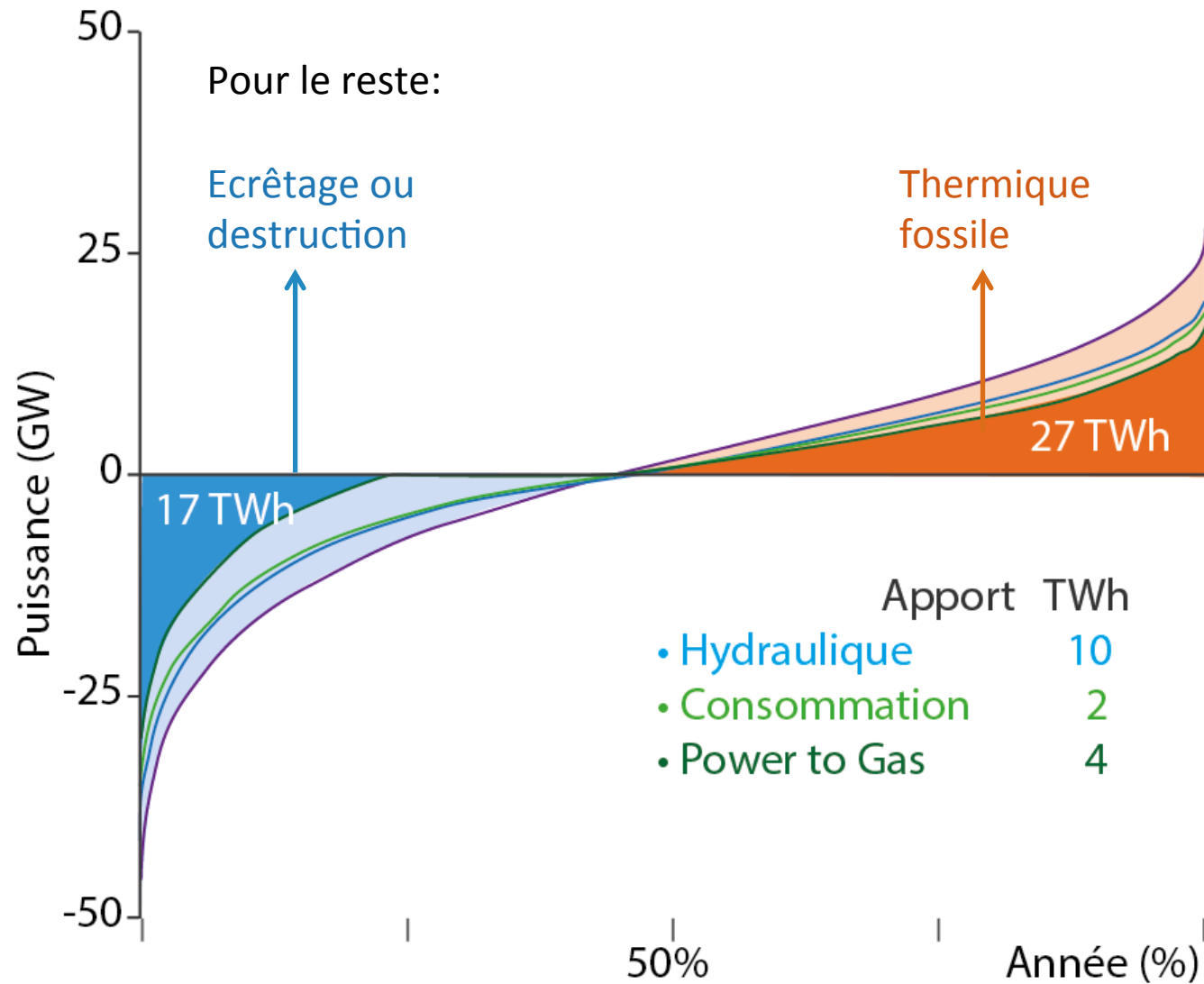
FR 35%



Stockage saisonnier: power to gas

Puissance installée: 5 GW

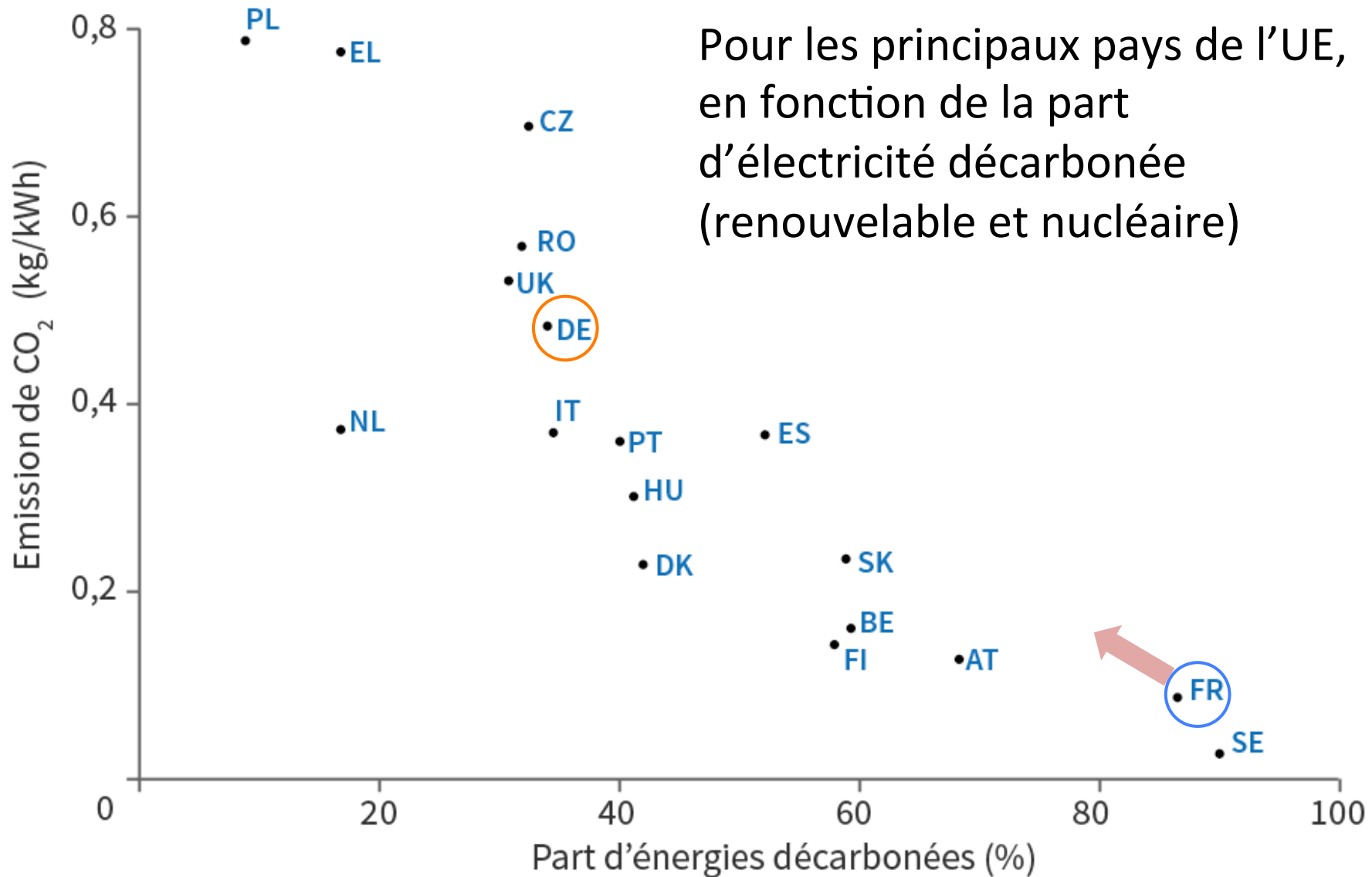
FR 35%



Tendances des résultats

- Pessimiste: flexibilité du nucléaire non exploitée.
- Optimiste: flexibilité de l'hydraulique utilisée deux fois.
- Au total: surestimation de la capacité du système à traiter l'intermittence.
- Apparition de **prix négatifs** dus aux surplus des EnRi allemandes (13% de sa production)

Emissions de CO₂ (kg par kWh_e)



Conclusions du cas 35% d'EnRi

- A cause de l'intermittence, un quart de la production éolienne et solaire est inutilisable directement.
- Pour l'utiliser, il faudrait un stockage parfait avec une capacité d'environ 8% de la production des EnRi.
- L'hydraulique peut contribuer pour une part; avec un bon rendement.
- Les centrales thermiques (fossiles, P2G) émettrices de CO₂ restent nécessaires (31 TWh contre 34 TWh en 2015).
- Les moyens d'équilibrage devront suivre de fortes variations de puissance.
- Le coût (investissements en production, réseau et stockage) et la rentabilité (baisse des facteurs de charge) restent à évaluer.

Pour aller plus loin

www.realisticenergy.info

GRAND (D.), LE BRUN (C.) et VIDIL (R.) *Transition énergétique et mix électrique* Revue de l'Energie, 619 (2014)

GRAND (D.), LE BRUN (C.) et VIDIL (R.), *Intermittence des énergies renouvelables et mix électrique* Techniques de l'Ingénieur, IN-301 (2015)

GRAND (D.), LE BRUN (C.) et VIDIL (R.) *Un mix électrique 100% renouvelable: avec quelles conséquences?* Revue de l'Energie, 631 (2016) A paraître.

GRAND (D.), LE BRUN (C.), VIDIL (R.) et WAGNER (F.) *Electricity production by intermittent renewable sources: a synthesis of French and German studies* Europ. Phys. J. Plus (2016) **131**: 329