



Les effets de l'intermittence des énergies renouvelables dans la production d'électricité

GIRE (*groupement pour une expertise indépendante et rationnelle sur l'énergie*) D. Grand, A. Latrobe, **C. Le Brun**, R. Vidil

Sommaire

- L'énergie, l'électricité et la production électrique par le vent et le soleil.
- Les mix électriques envisagés et les conséquences de l'intermittence.
- Quels moyens pour y remédier?
- Quelques leçons à tirer pour la suite

L'énergie, , la « force en action », ce qui permet de vivre de bouger, de chauffer, ...

- L'électricité, une forme d'énergie, un vecteur d'énergie
- Ne se stocke pas directement donc nécessité de la transformer 2 fois pour la retrouver avec des pertes à prendre en compte.
- Puissance électrique capacité d'un système produire de l'énergie en Watt, ($P=V \times I$ volt x ampère), GW, ...
- Energie électrique ($P \times \text{Temps}$) mesurée en kWh
- Puissance maximale ou installée, puissance instantanée
- Puissance moyenne sur un mois, un an, ...
- **Double équilibre pour le réseau : Egalité des puissances instantanées et énergie disponible**

Quelques ordres de grandeur

- 1kWh c'est un appareil d'1 kW fonctionnant pendant 1 h
- 1 kWh, c'est chauffer 20 l d'eau de 15 à 60°
- 1 kWh, c'est monter ou descendre 1 tonne de 400 m.
- 1 litre d'essence c'est 11 kWh
- 1Kg de bois c'est 1,5 à 3 kWh,
- 1 mg d'uranium c'est 50 kWh
- 1 batterie Tesla 10 kWh, 30kg, 3 500€



Production photovoltaïque

Fonction de:

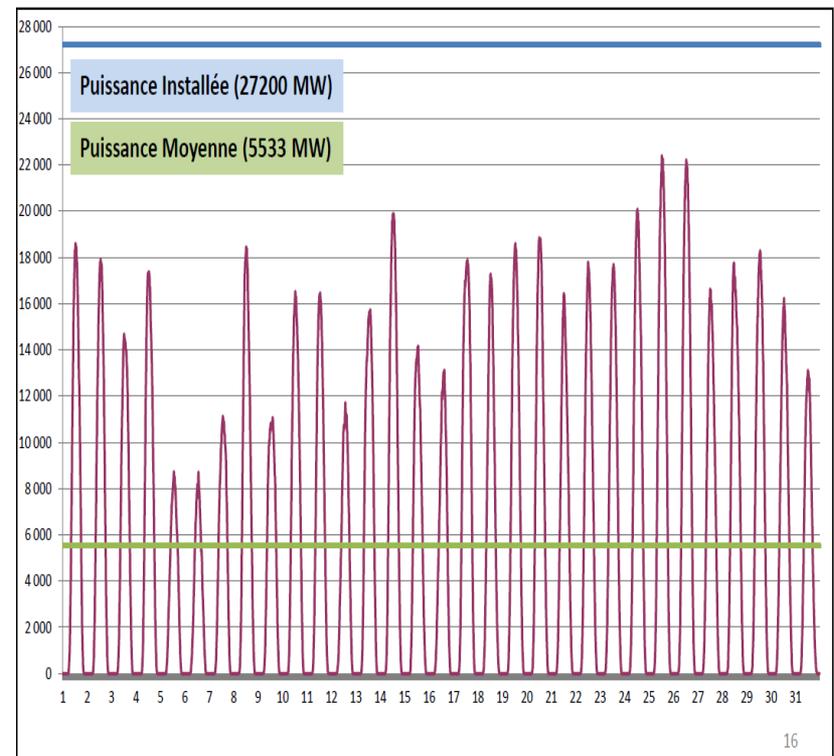
- Ensoleillement (latitude, nuages, ombres)
- Orientation, inclinaison et température des modules
- **Jamais stable avec un passage à zéro chaque jour**
- CSP (centrale solaire à concentration) réservé aux forte ensoleillements et cher, étalement journalier

Allemagne mai 2012

Sur ce mois l'efficacité du parc solaire allemand a été de 20 %

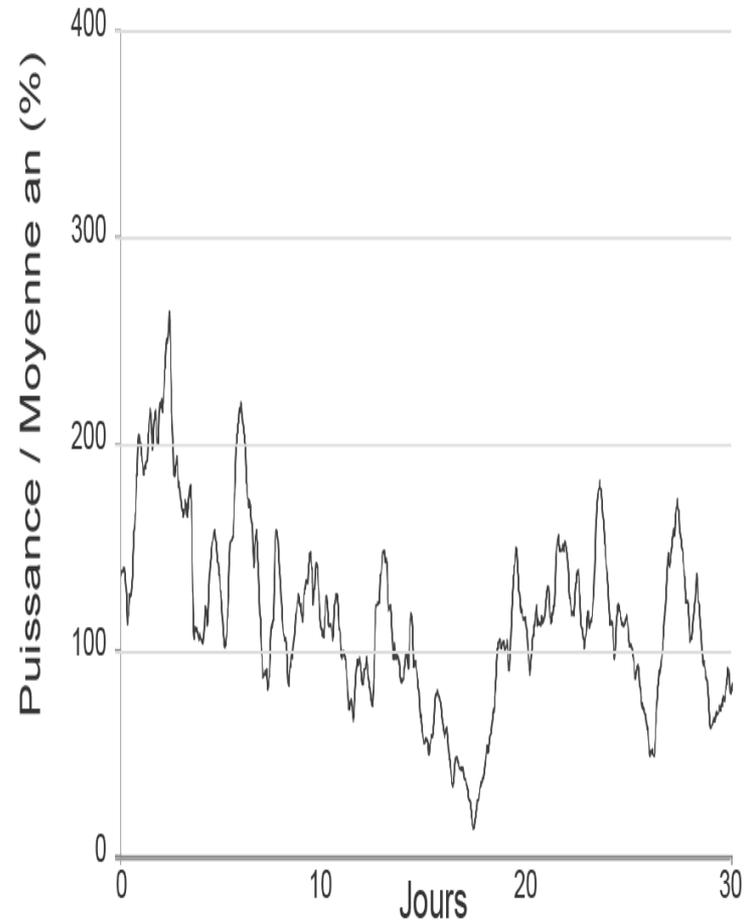
Pendant 1/4h l'efficacité à son pic atteint 80%

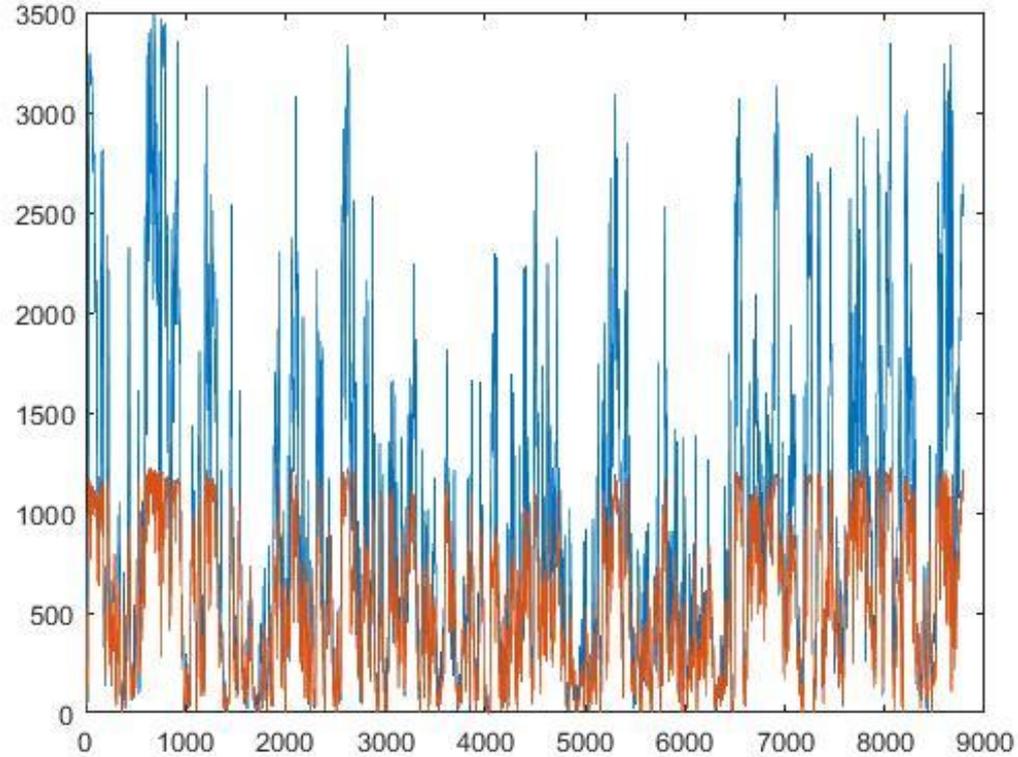
L'efficacité la plus basse du mois au pic de midi solaire a été de 30%, la veille elle était de 65%



Production éolienne Novembre 2012

- L'énergie électrique produite varie comme la vitesse du vent à la puissance 3
- D'où des variations brutales à compenser en permanence
- Puissance installée 7,4GW
- Puissance moyenne 1,9 GW, max 4,8 GW, min 0,25 GW





Production éolienne du Danemark en 2016

Rouge: éolien maritime 1271 MW

Bleu: éolien terrestre 3 754 MW

Sommaire

- La production électrique par le vent et le soleil.
- Les mix électriques envisagés et les conséquences de l'intermittence.
- Quels moyens pour y remédier?
- Quelques leçons à tirer pour la suite

Les situations de production électrique étudiées

- 1975

Total 178 TWh

Fossiles

- 2013

Total 548 TWh

Nucléaire

- 2030

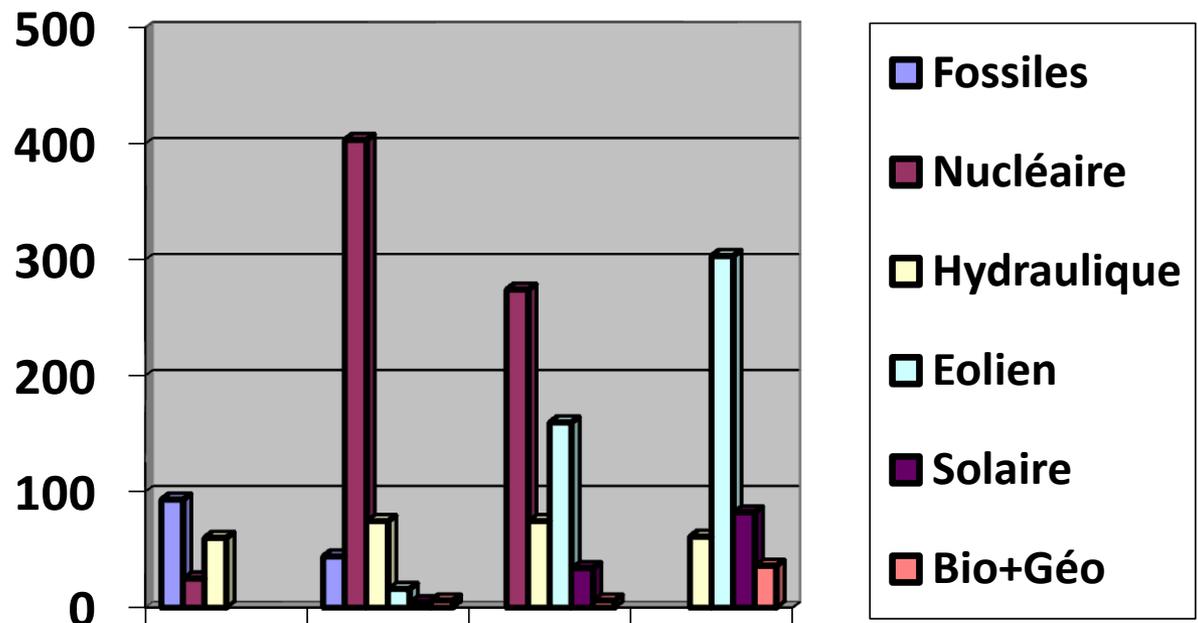
Total 548 TWh

Transition
énergétique

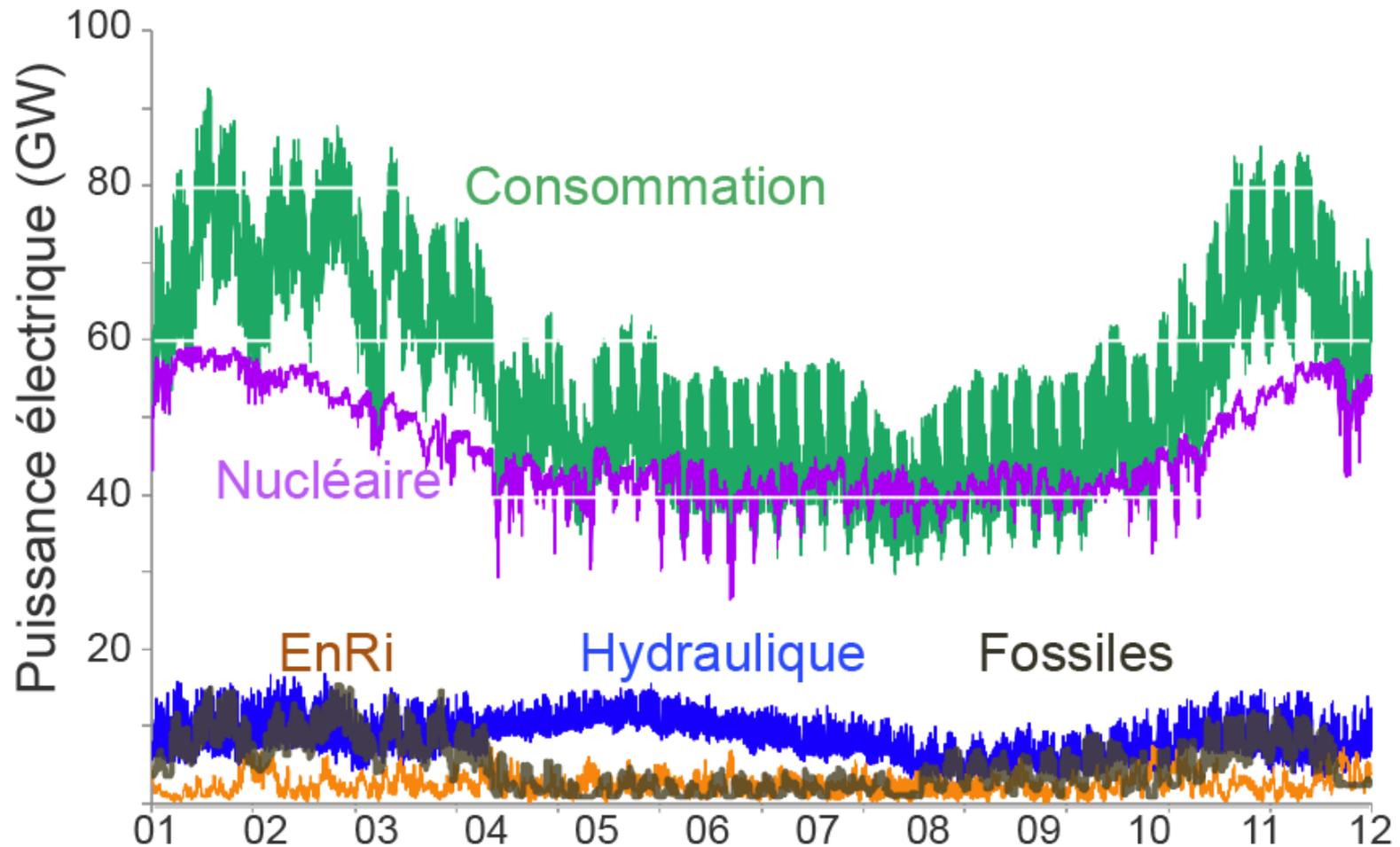
- 2050

Total 482 TWh

100% renouvelables



Production électrique France 2013

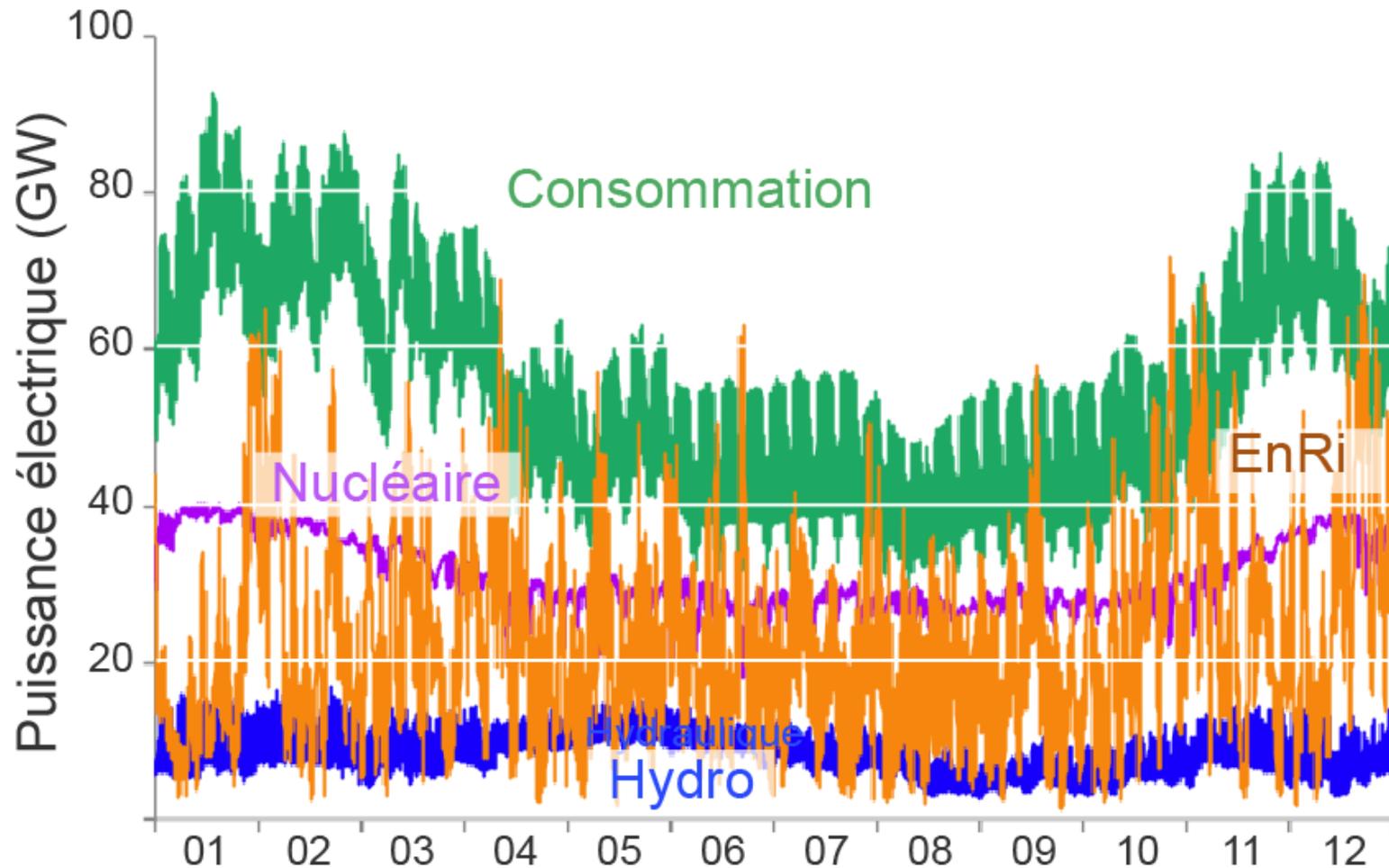


Procédure utilisée F. Wagner

- Choisir le mix: 2030, la transition énergétique 50% nucléaire
- Partir d'une année de référence 2013 pour les différentes productions et la consommation
- Multiplier chaque production annuelle pour obtenir, pour le mix choisi, l'égalité globale avec la consommation annuelle; soit le nucléaire $\times 0,68$, l'éolien $\times 10$, le solaire $\times 7,5$, les fossiles mis à 0 et le reste inchangé)
- Chaque demi heure, on fait la somme des productions et la comparaison avec la consommation au même instant
- Détermination chaque demi heure d'une action nécessaire: soit répondre à un manque soit absorber un trop plein

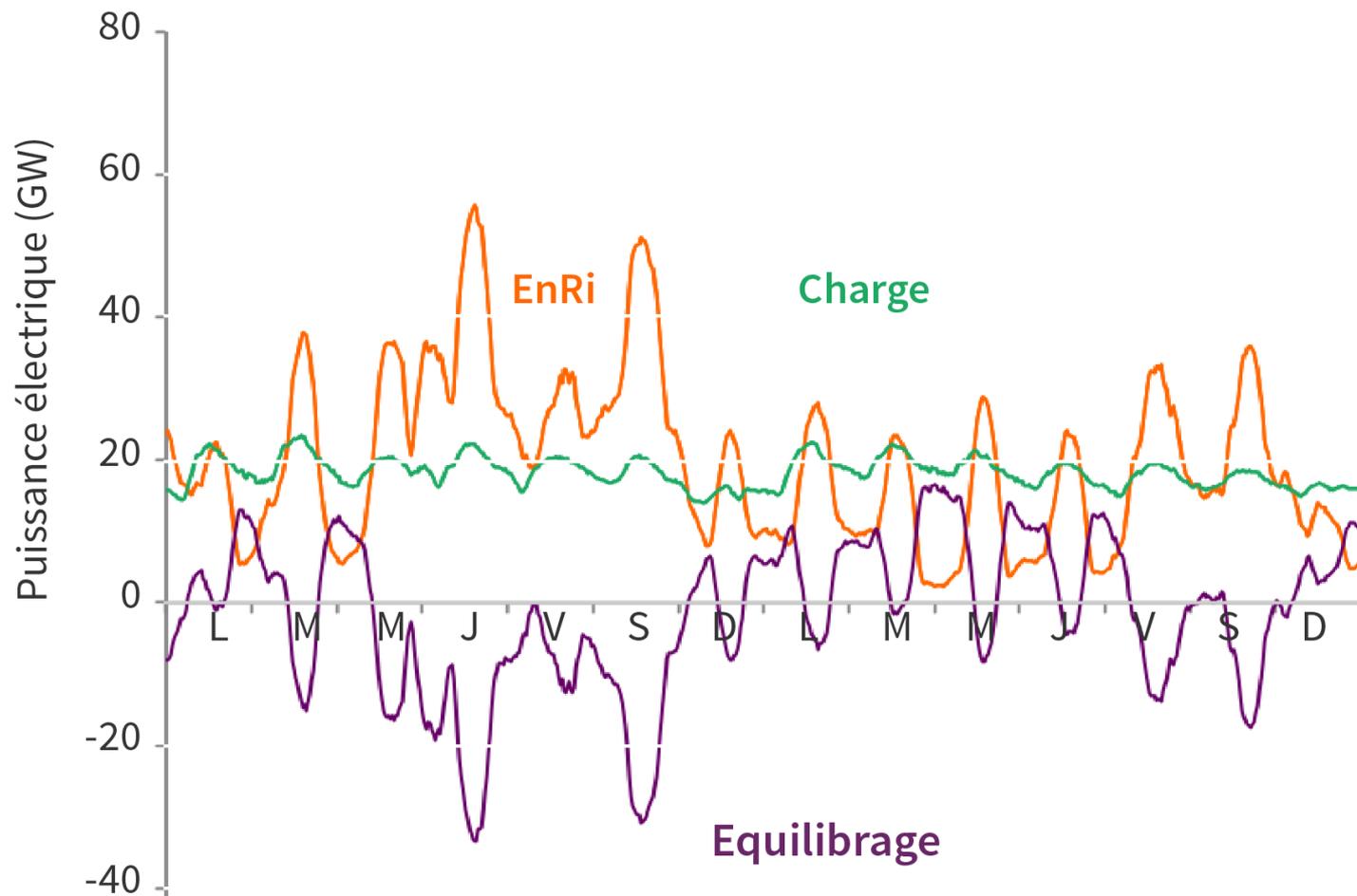
EnRi en hausse et nucléaire à 50%

FR-35%



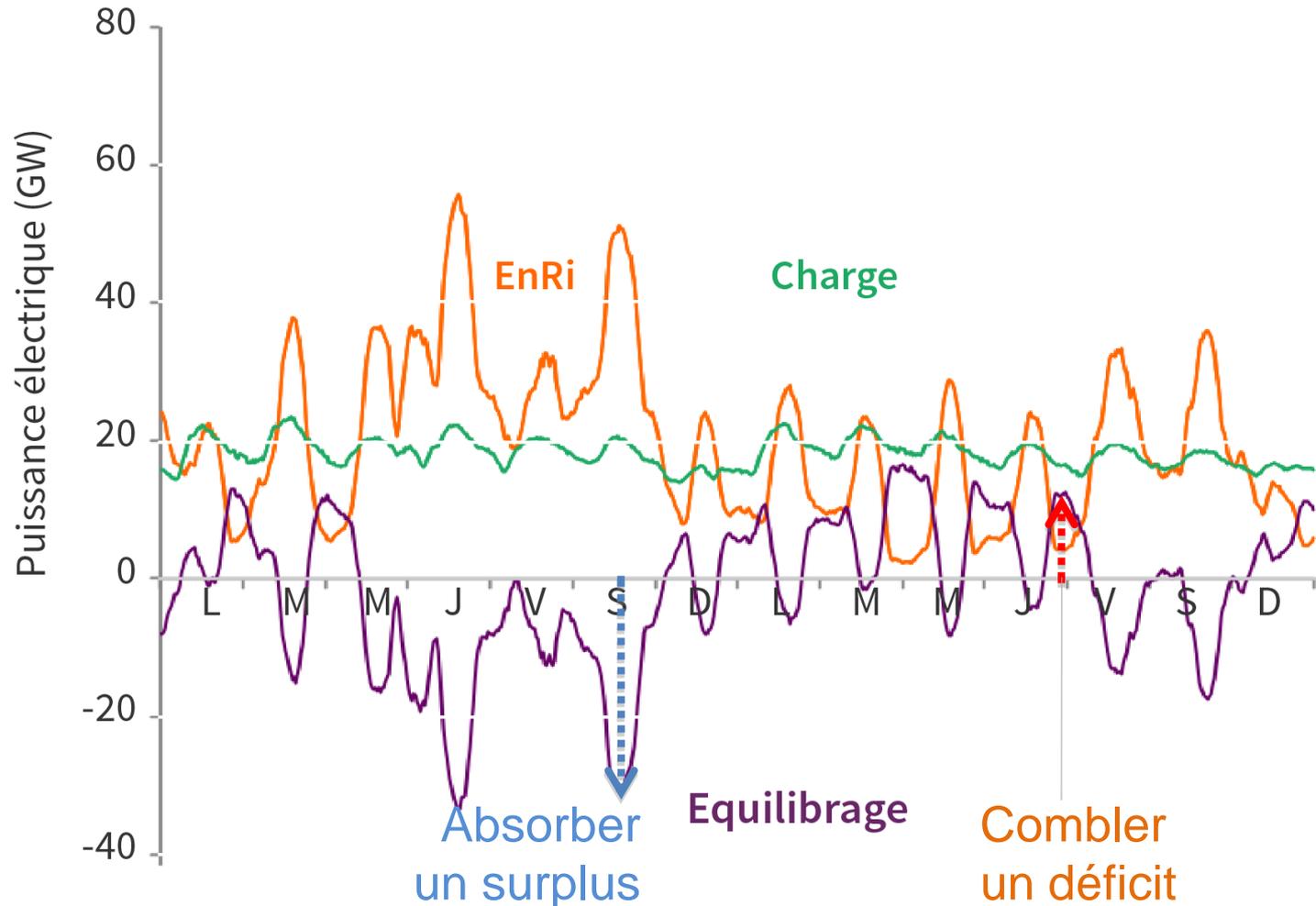
Evolution lors d'une quinzaine d'avril

FR 35%, charge= consommation- nucléaire- hydro

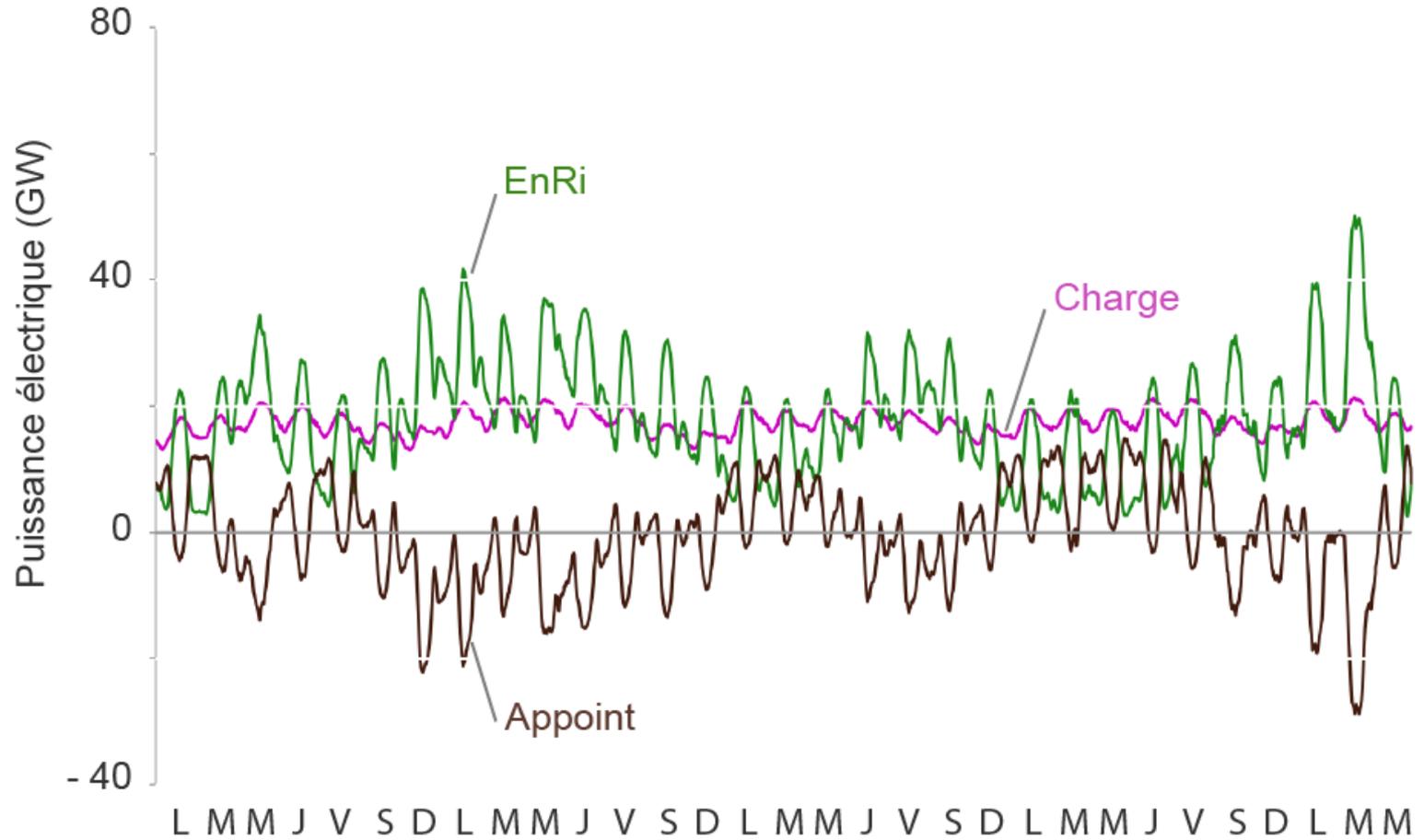


Evolution lors d'une quinzaine d'avril

FR 35%, charge= consommation- nucléaire- hydro

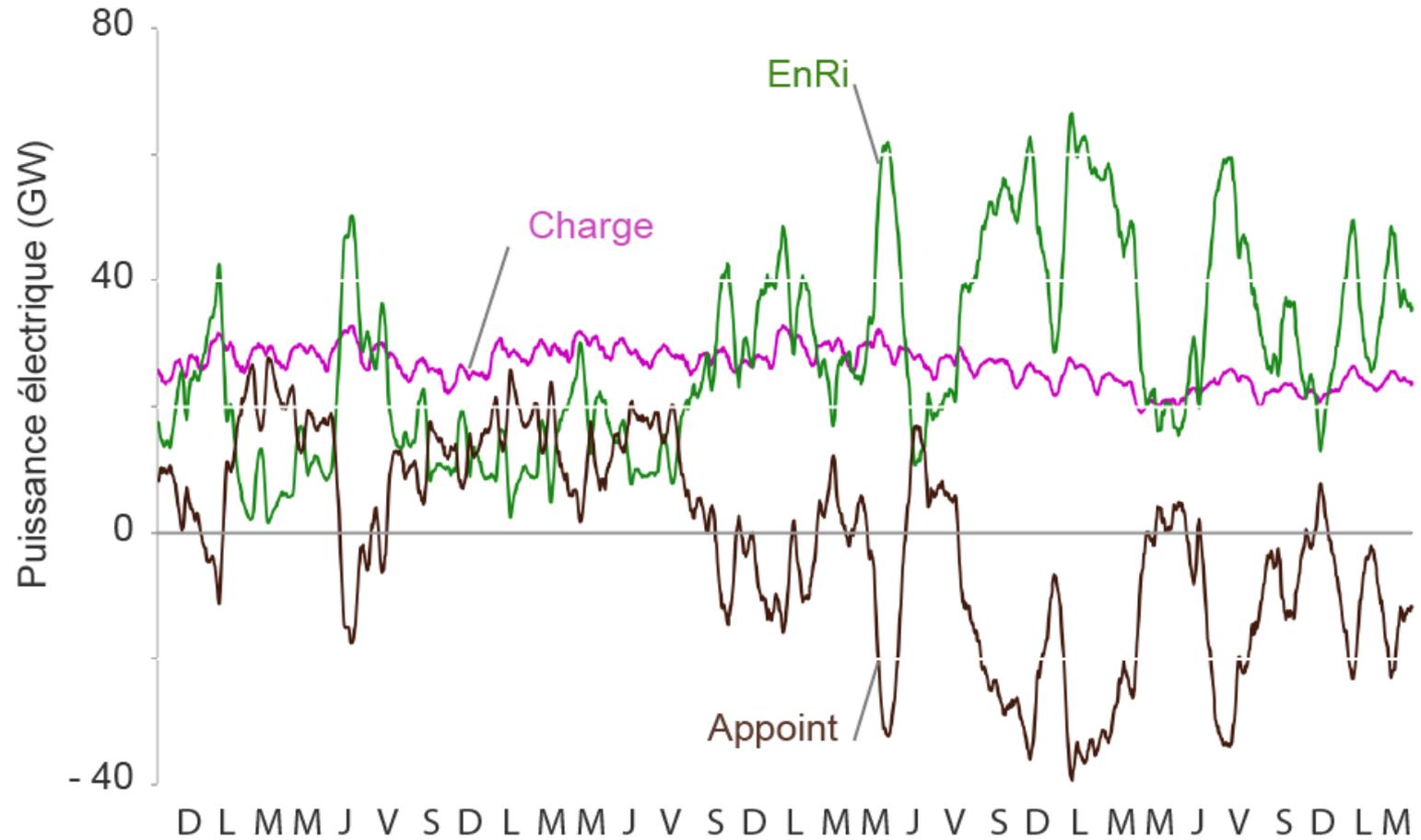


Mois de juillet



France 2013 `

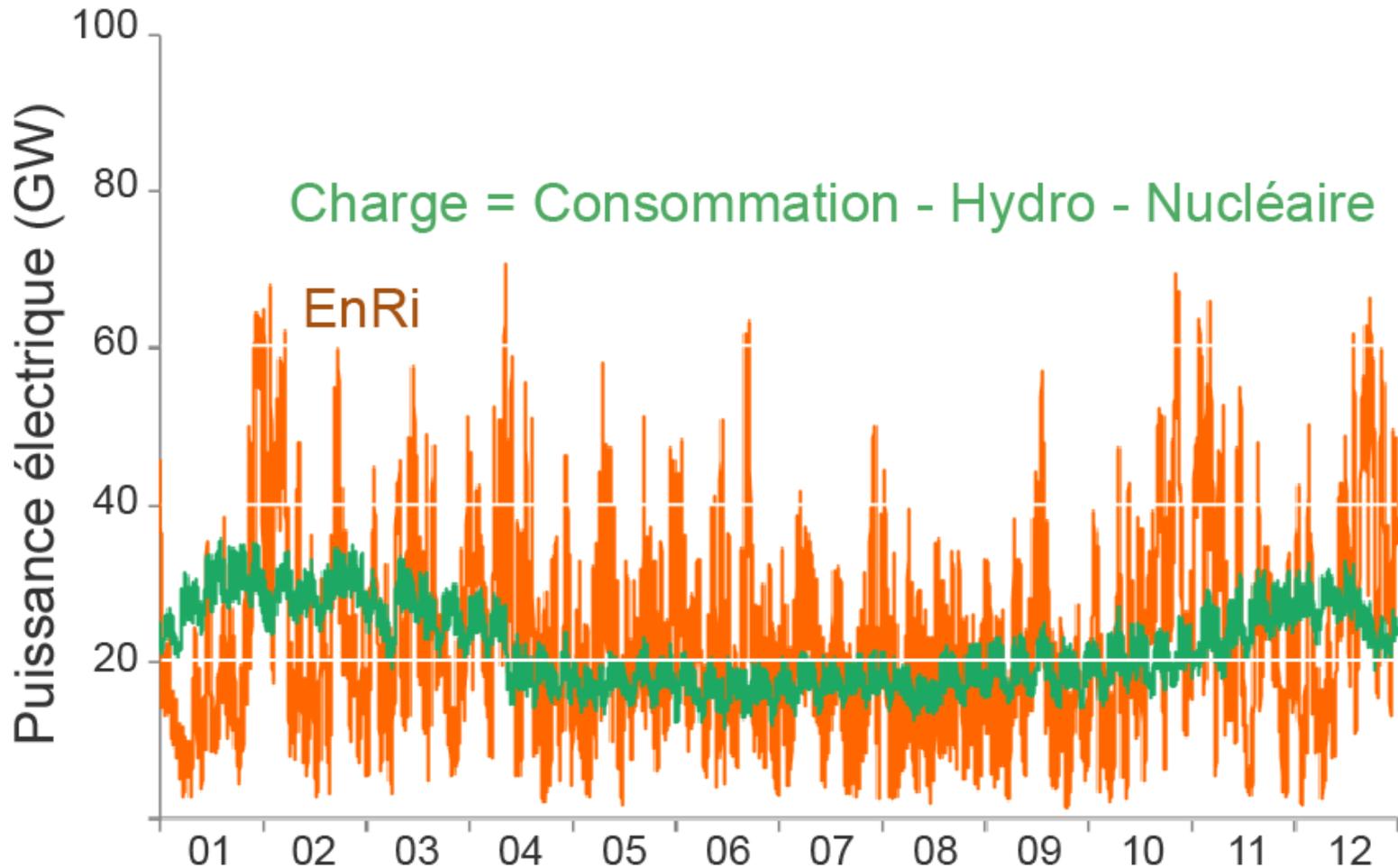
Mois de décembre



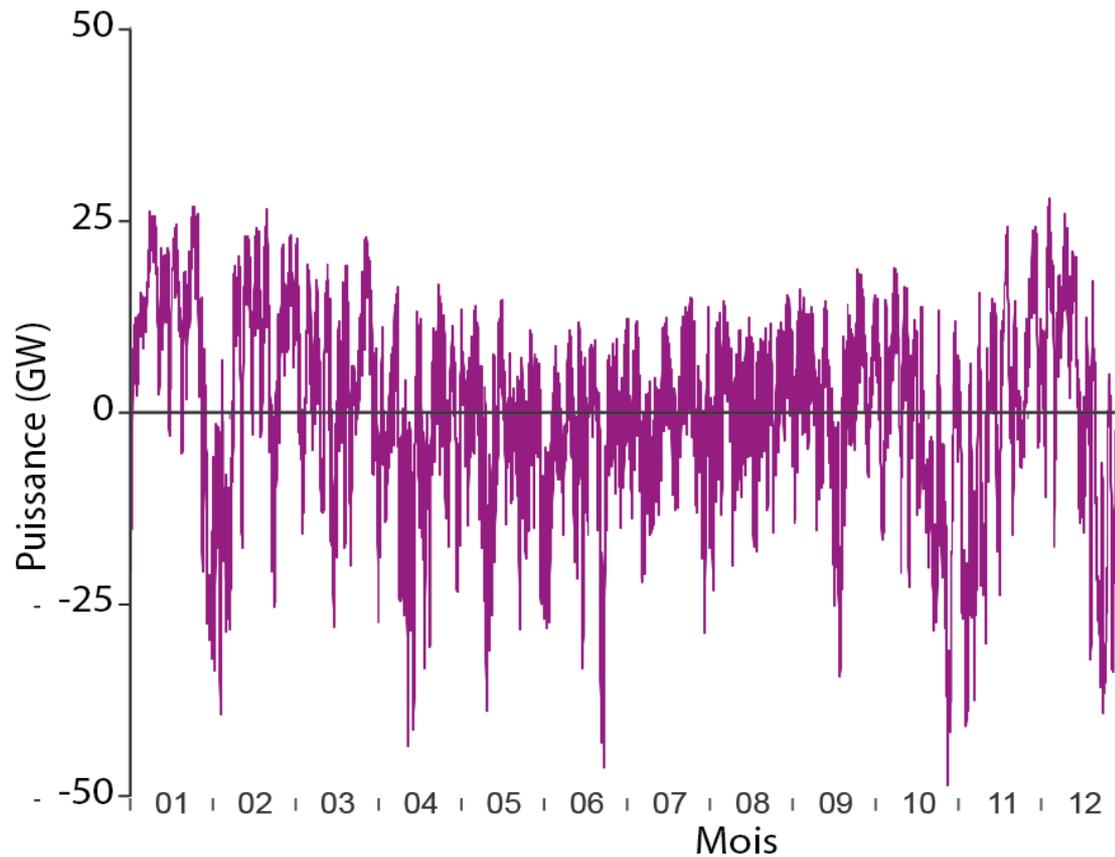
France 2013 `

Evolutions des EnRi et de leur charge

FR-35%=193 TWh



Equilibrage, historique de l'année



- Compenser un manque
- Absorber un surplus
- 1,43 changement par jour
- Qui gère? Avec quels moyens?

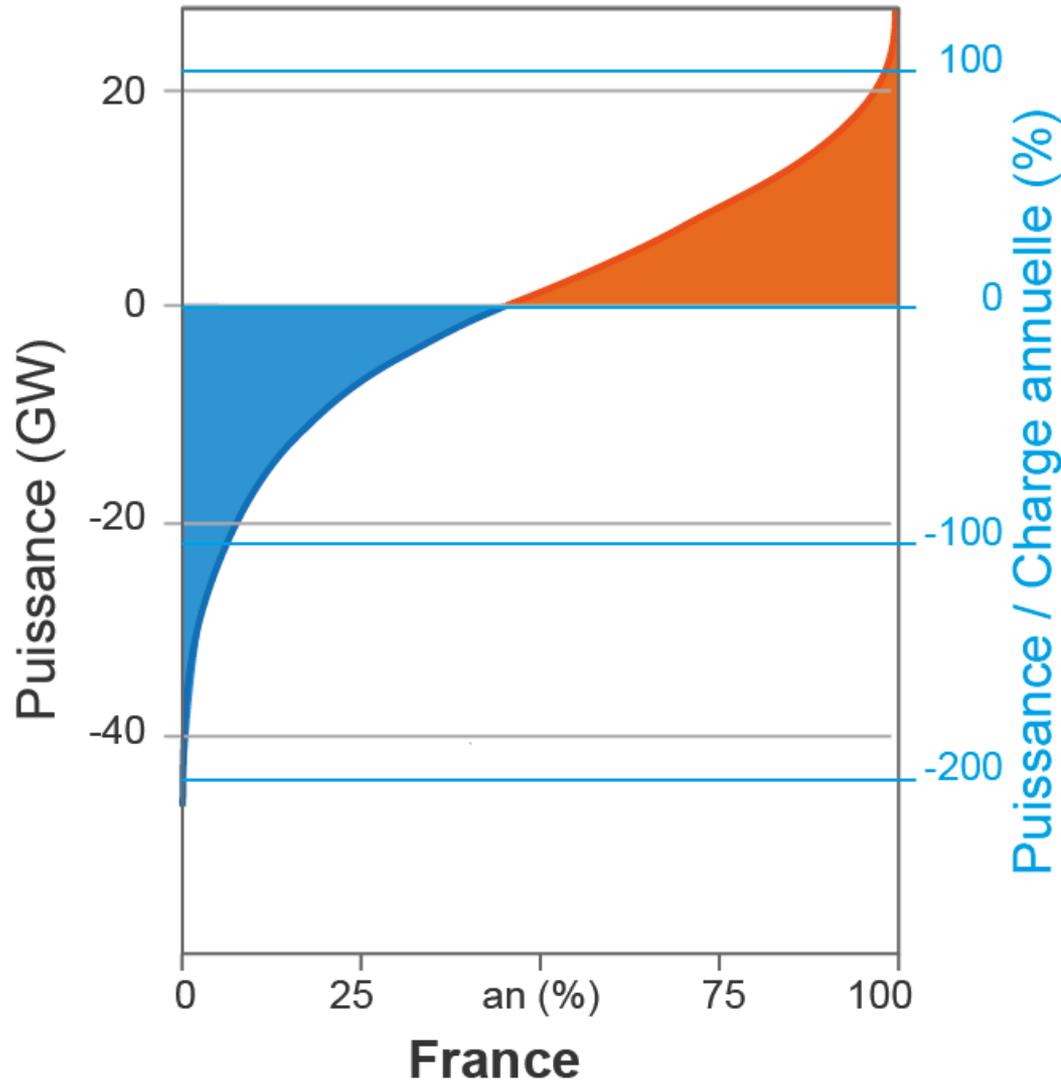
Monotone de l'appoint

soit +/- 44TWh

Charge annuelle
193 TWh/an
22 GW_m

Compléter
manque

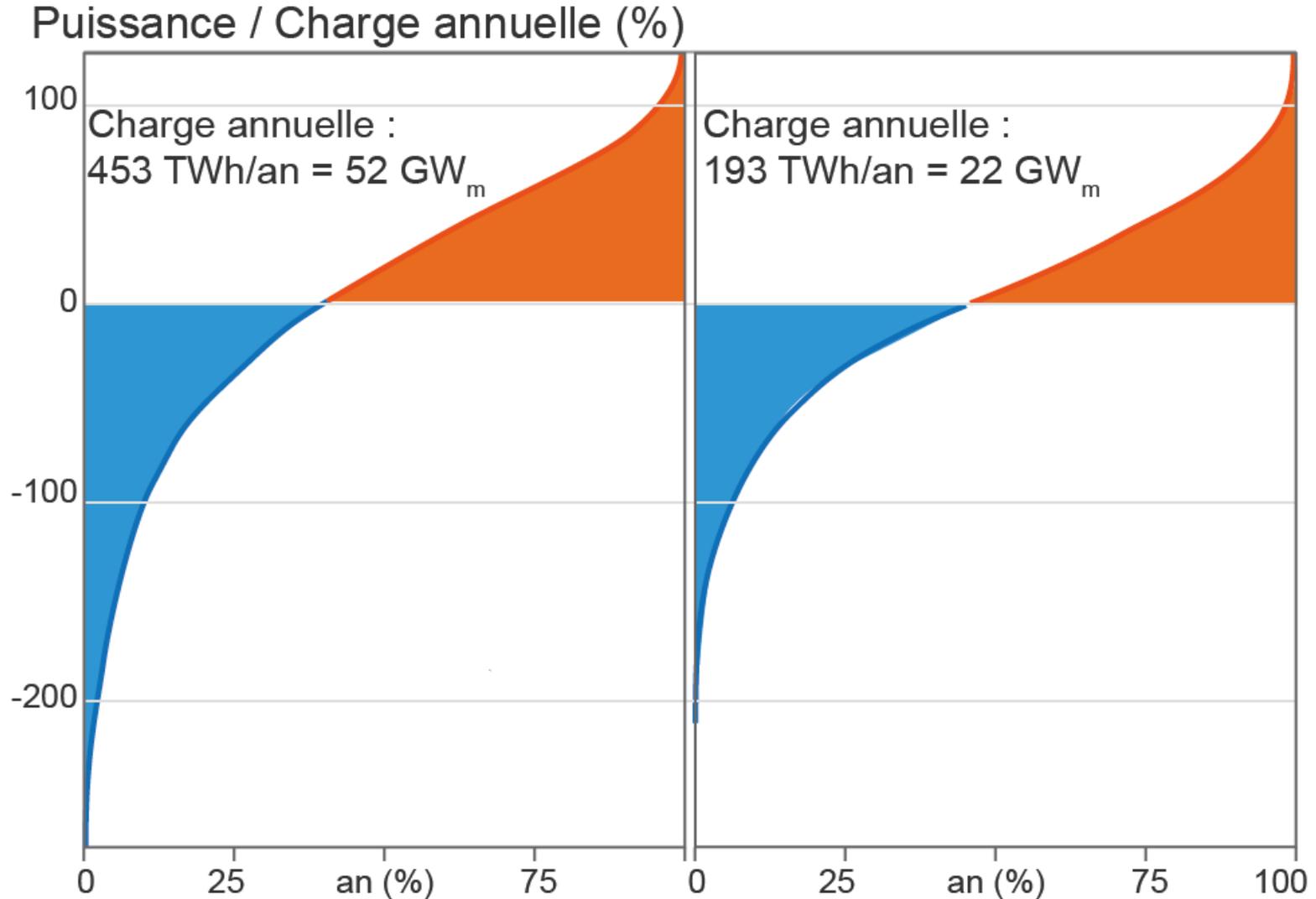
Retirer un
excédent



Comparaison DE et FR

DE-72%

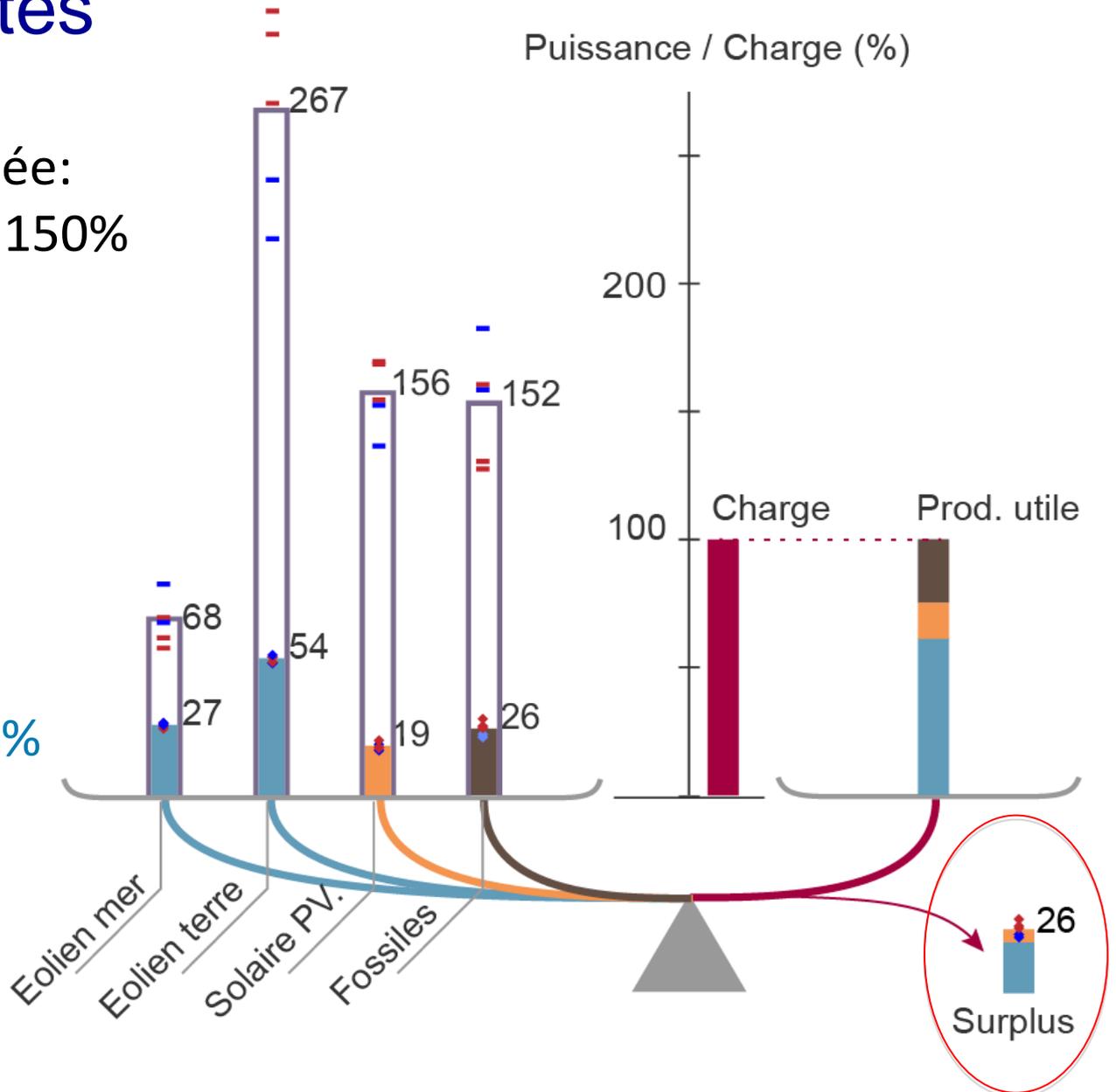
FR-35%



Résumé 5 études ER intermittentes

Puissance installée:
643% au lieu de 150%
actuellement

Productions 126%



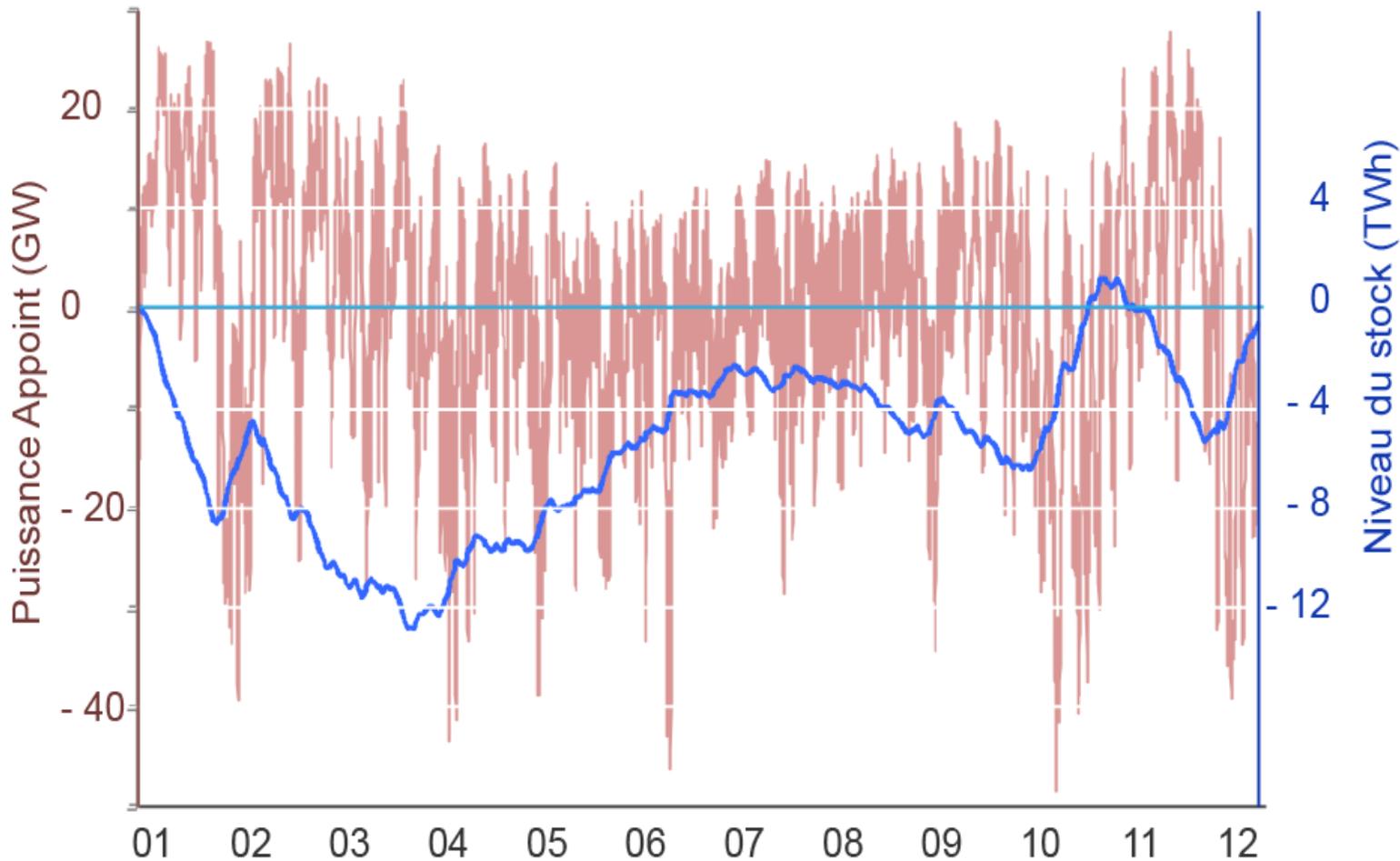
Sommaire

- L'énergie, l'électricité et la production électrique par le vent et le soleil.
- Les mix électriques envisagés et les conséquences de l'intermittence.
- **Quels moyens pour y remédier?**
- Quelques leçons à tirer pour la suite

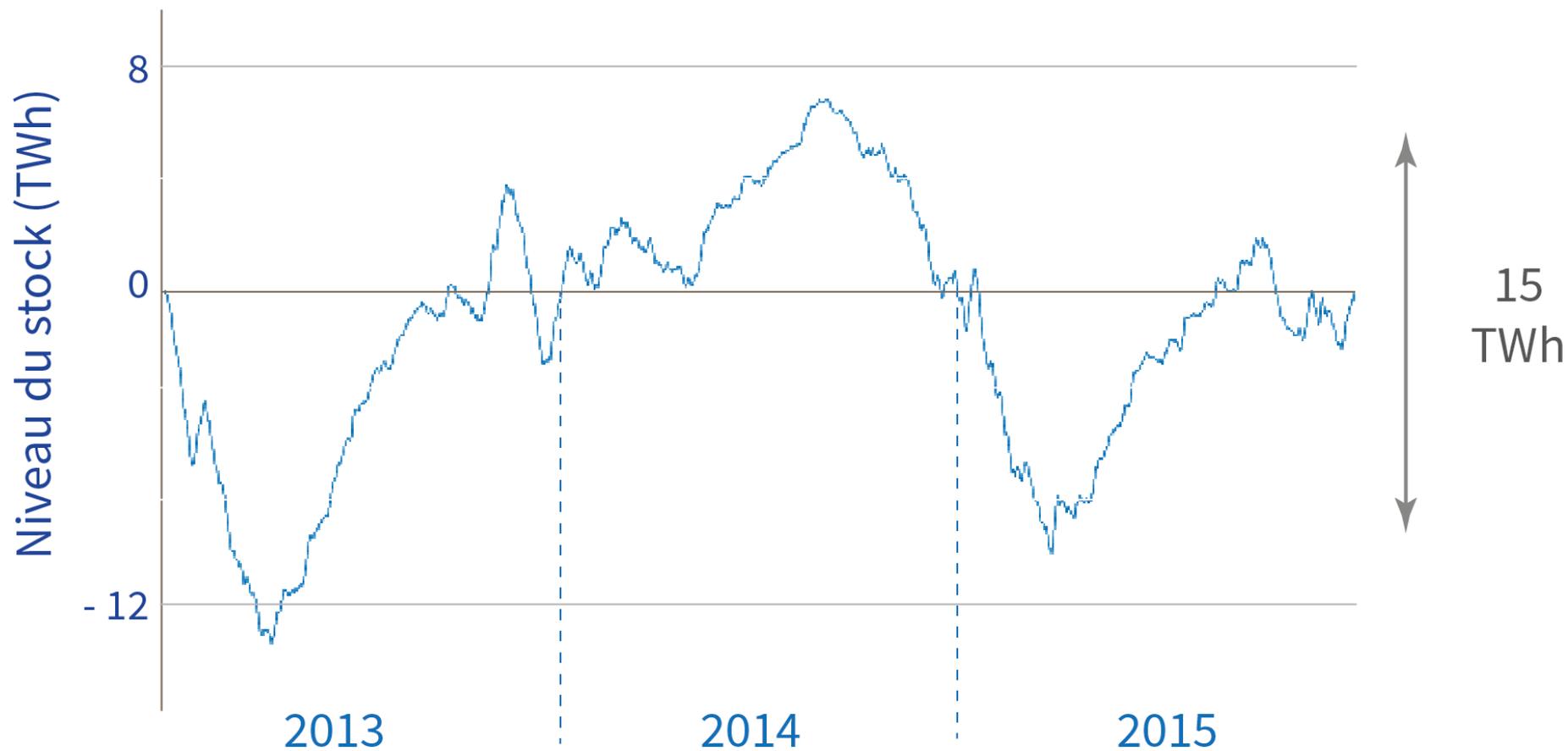
Les moyens possibles à envisager

- Le stockage journalier et hebdomadaire
- La gestion de la demande
- Les échanges
- L'hydraulique
- Le stockage saisonnier

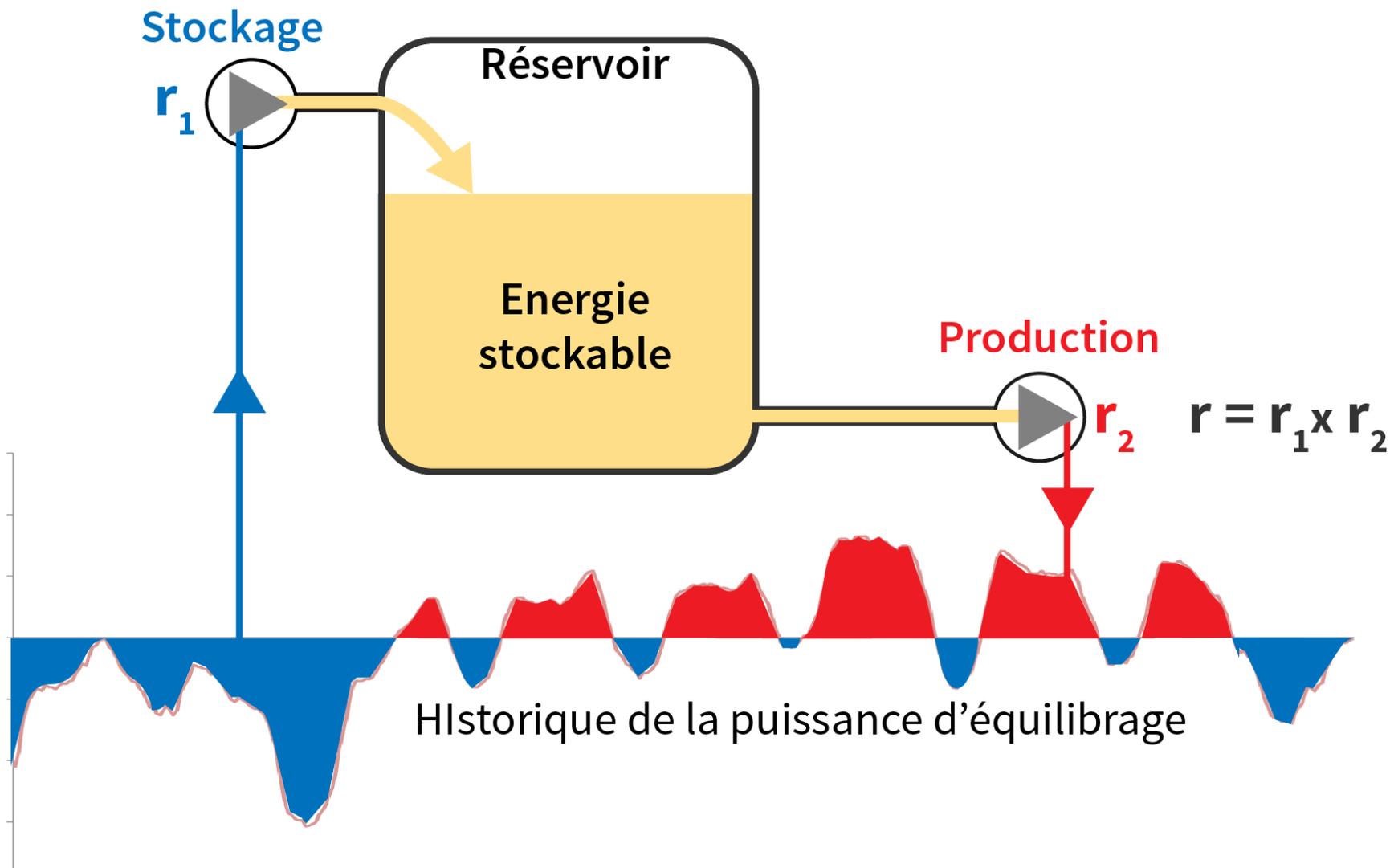
Variation temporelle de l'appoint et dimension du besoin de stockage 15 TWh



Niveau du stock sur 3 ans

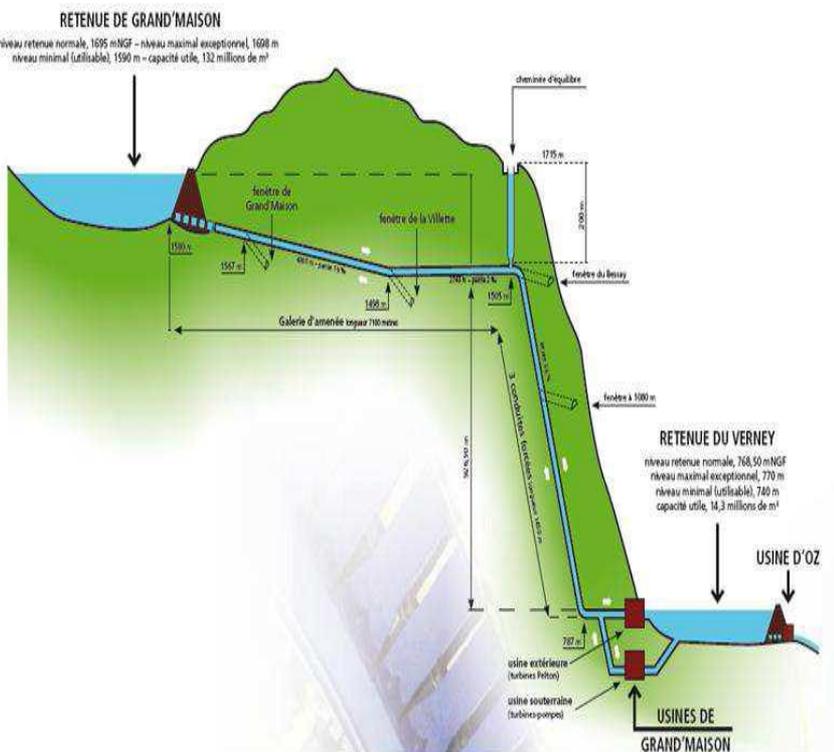


Stockage: principe



Les stations de transfert d'énergie par pompage (stockage hydraulique 1kwh= 1 tonne descendant 400m)

STEP grand maison



Barrage de grand maison

- Chute de 850 m
- Puissance 1,8 GW en production et 1,2 GW en pompage
- Energie disponible: lac haut 132Mm³ soit 323 GWh, lac bas 14,3 Mm³ soit 35 GWh

43 Grandmaison et plus de 10 fois le potentiel français actuel.

Batteries ex:Corée du sud

L'ensemble de batteries
le plus puissant
actuellement.

Puissance 56 MW
besoin 900.

Capacité 15 MWh
besoin 1 million de ces
ensembles ou 2 milliards
de voitures =la flotte
mondiale actuelle

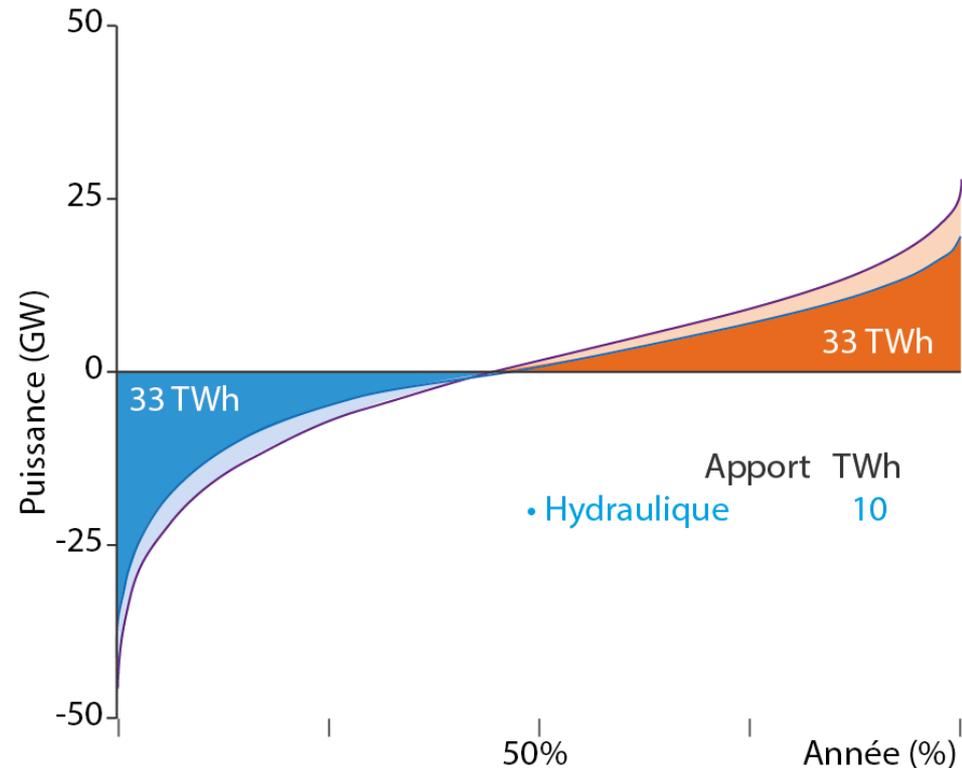
Rendement 80%



Apport de l'hydraulique

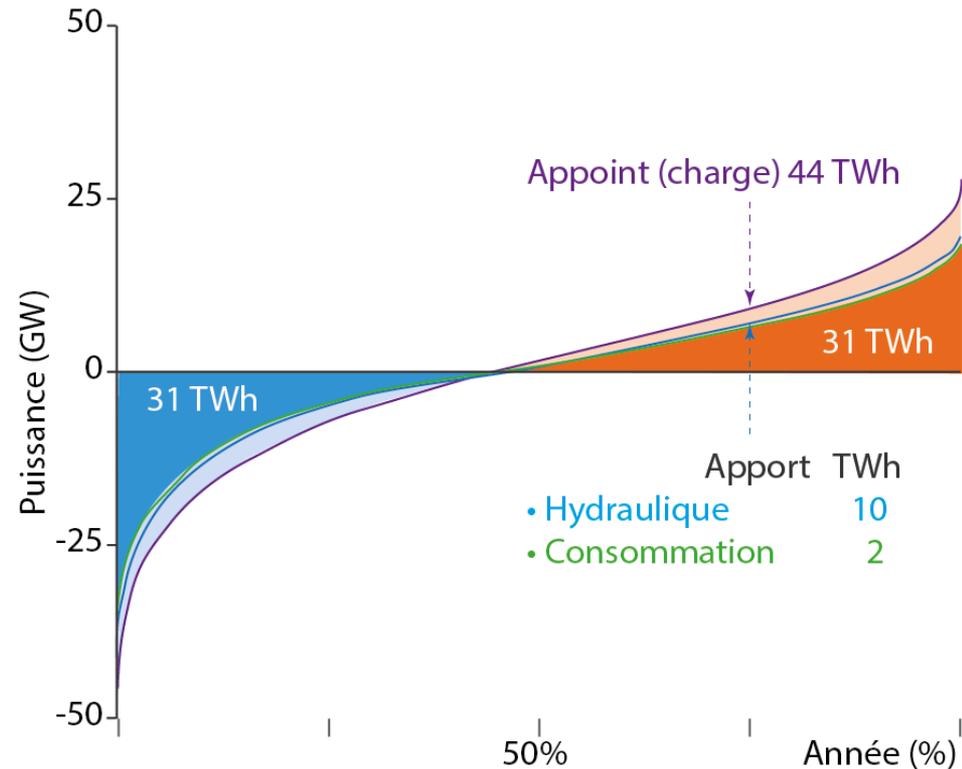
Cas idéal: la production 2013 est rangée en monotone et retirée de la monotone de l'appoint .

On « gagne » 10TWh sur 44 mais c'est un maximum car déjà utilisé et adaptation totale au besoin



Ajustement et déplacement consommation

Actuellement heures « pleines et creuses » et « déplacement gros clients », c'est 20 GWh, nous avons mis 100 fois plus, 2 TWh, répartis uniformément



« Smart grids »?

Echanges entre pays

Europe:

Solaire: 2 h de décalage

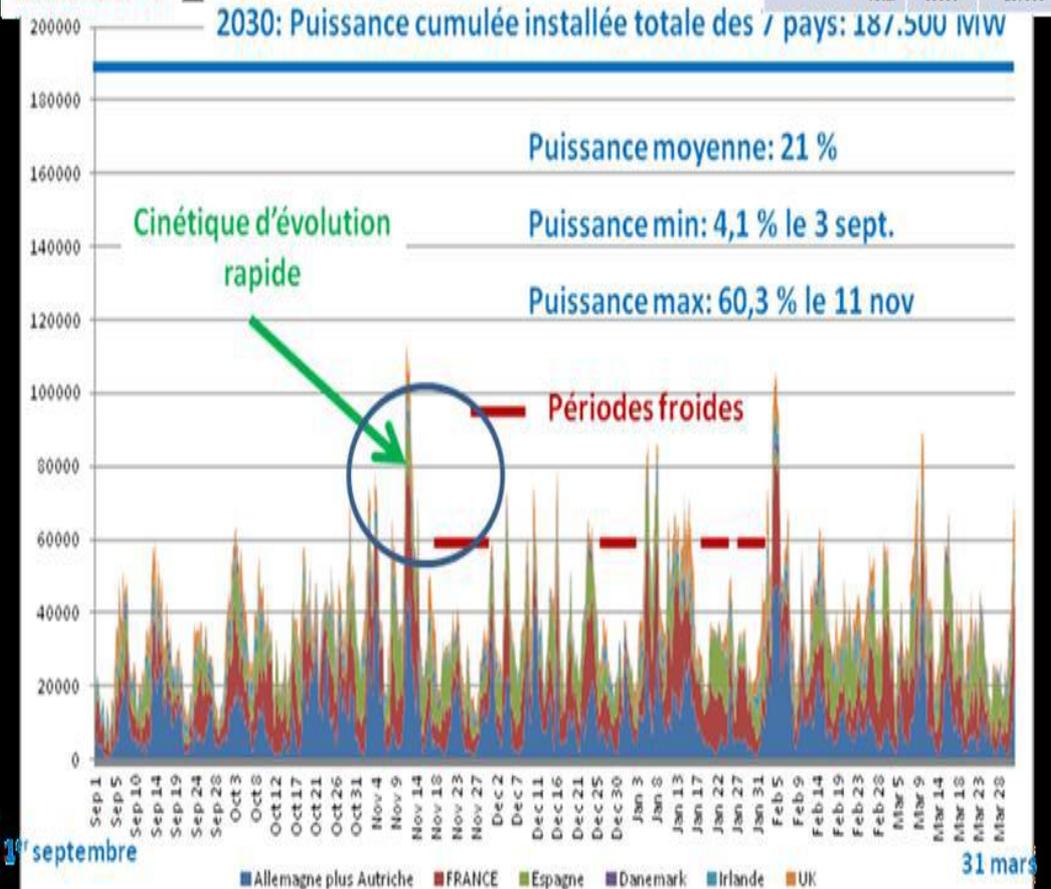
Eolien: Floccard simultanément des pics donc pas de foisonnement contrairement à: « il y a toujours du vent quelque part »

Pas d'effet sauf « fossiles étrangers »

Production éolienne de 7 pays européens en 2030 pour 187000 MW installés (climat similaire à celui de 2010/2011)

MW	2010	2030 est.
France	5660	53000
Germany/Austria	28200	60000
Spain	20700	30000
Denmark	3800	4500
Ireland	1430	10000
Great Britain	5200	30000
Total	65000	187500

200.000 MW



Bilan de la gestion court terme

- Sur les 44TWh en trop, nous en avons géré 12 en stockage, déplacement de consommation et hydraulique, il reste 32 TWh pour le stockage long terme
- Outil généralement proposé: le passage à l'hydrogène par électrolyse puis utilisation directe ou passage par la méthanisation par ajout de CO₂ et utilisation diverses

Stockage saisonnier passage H2 et gaz P2G

Rendement électrique
global: 25 à 33%

32 TWh => 10 TWh

Manque 22 TWh

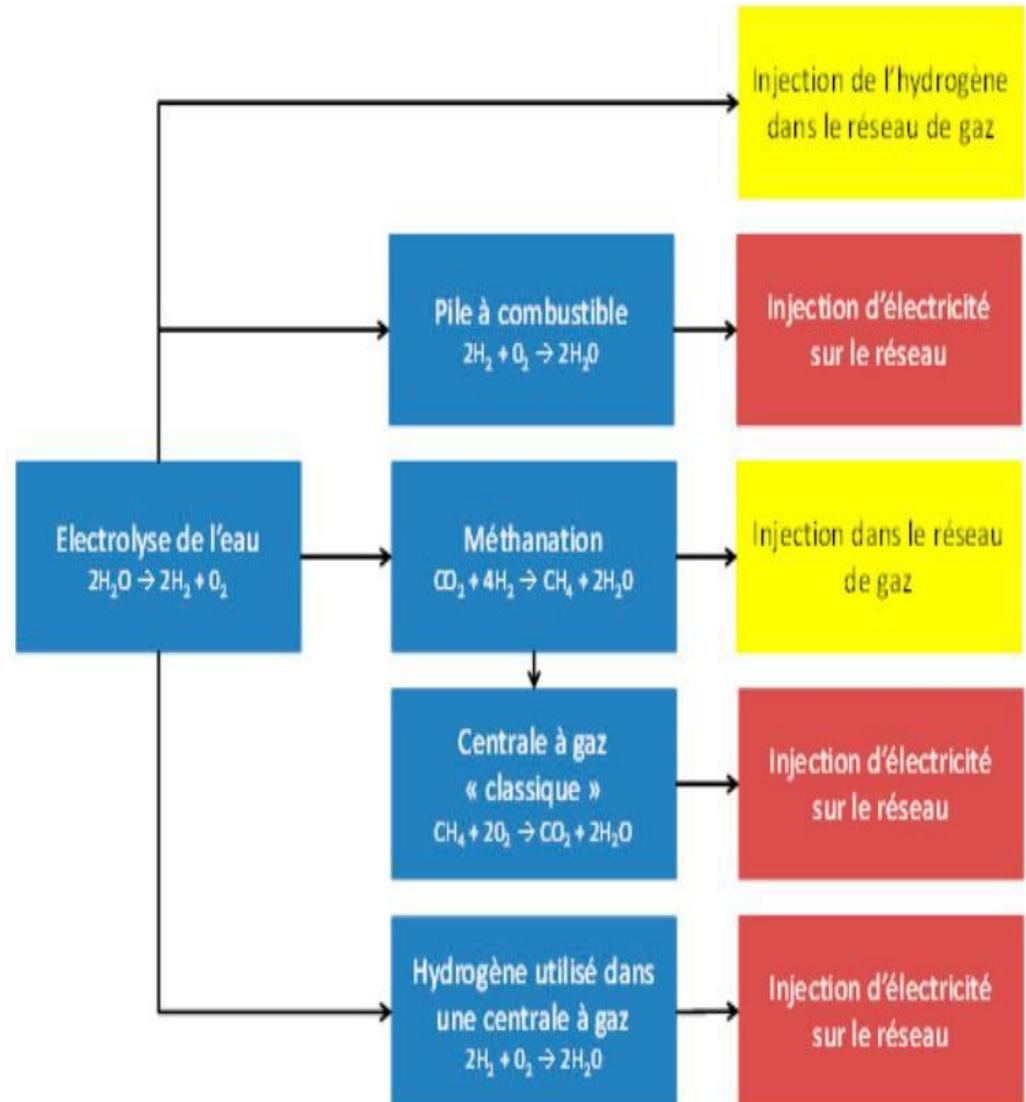
A faire en fossiles

C'est un minimum:

Problèmes industriels
non résolus

Difficile de répondre aux
besoins sans ajouter
des « fossiles » ou un
« surinvestissement »

Les différentes possibilités de stockage de l'énergie grâce à l'hydrogène



Sommaire

- L'énergie, l'électricité et la production électrique par le vent et le soleil.
- Les mix électriques envisagés et les conséquences de l'intermittence.
- Quels moyens pour y remédier?
- Quelques leçons à tirer pour la suite

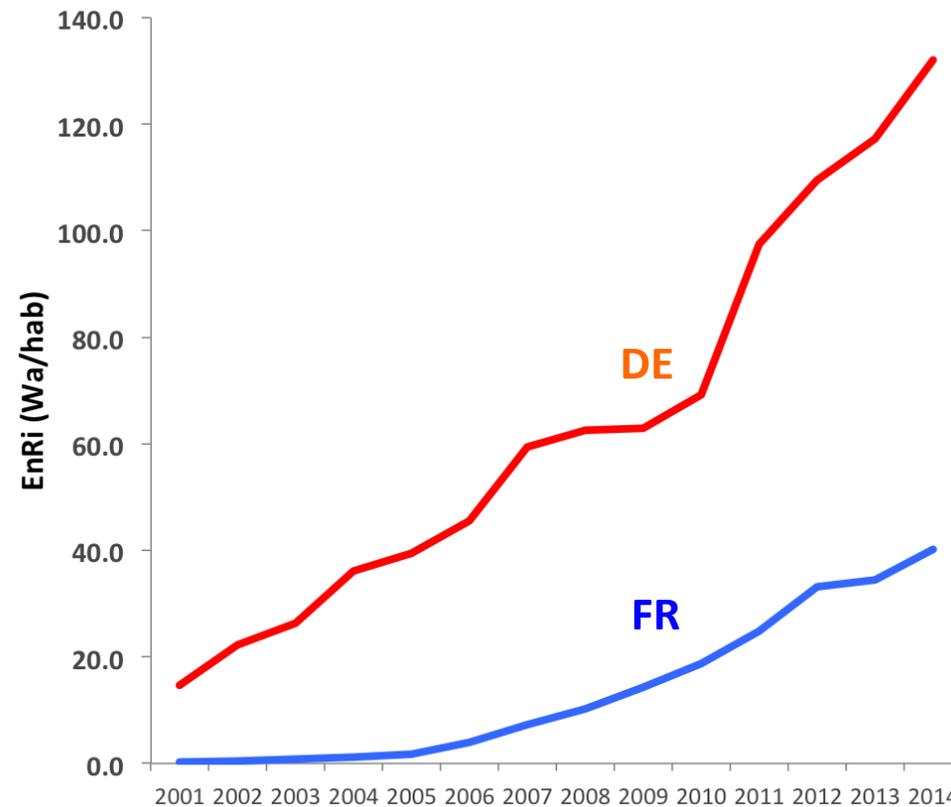
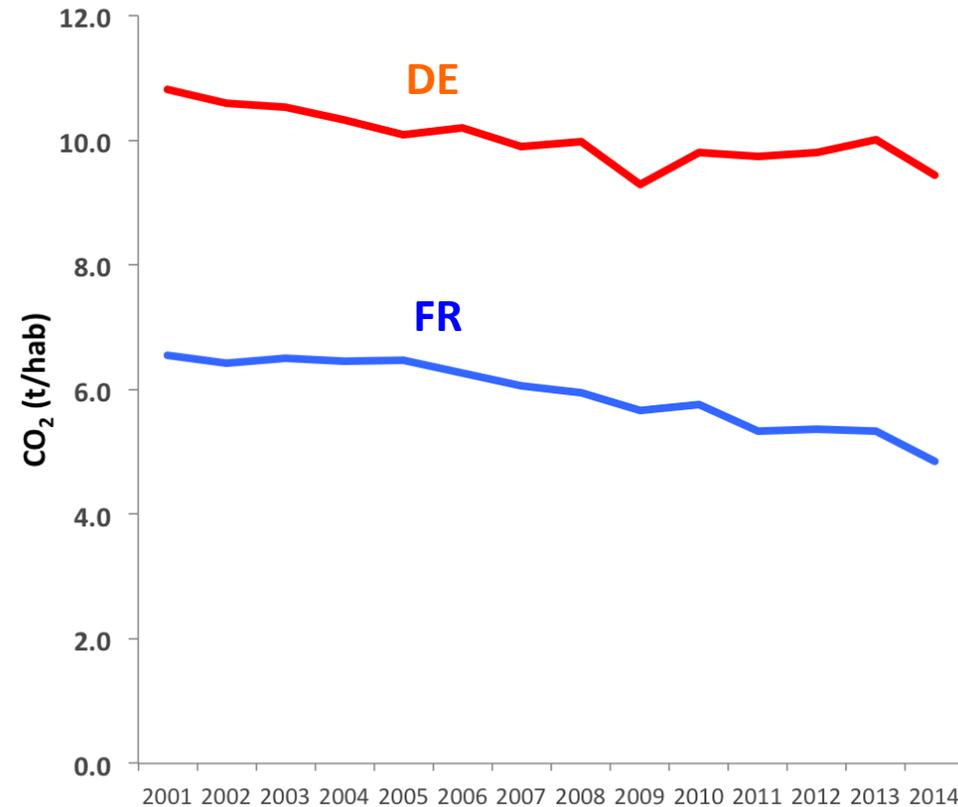
Quelques leçons générales

- GES, on va en rajouter sans toucher aux sources principales, **logement et transport**
- La sécurité de la fourniture n'est pas assurée sans beaucoup de fossiles
- Qui va gérer les échanges entre régions et états et avec quels outils?
- La stabilité du réseau est menacée (variations rapides et perte de l'inertie)
- Les considérations économiques ont été complètement ignorées: **CSPE=6 milliards**

EnRi et CO₂ : évolutions depuis 2001

CO₂ du secteur
énergétique

Productions d'éolien
et PV



Données Eurostat

En bref et pour conclure

- Le 50% nucléaire, ce n'est pas gagné sans un stockage hors de portée technologique et économique
- Le développement des renouvelables ne s'accompagne pas de la diminution de l'émission de GES. Allemagne, Danemark, France, c'est plutôt le contraire
- Besoin d'un chiffrage sérieux technique et économique que personne ne semble vouloir faire
- Pour la France, les sources de GES sont le bâtiment et le transport, alors laissons la production électrique tranquille

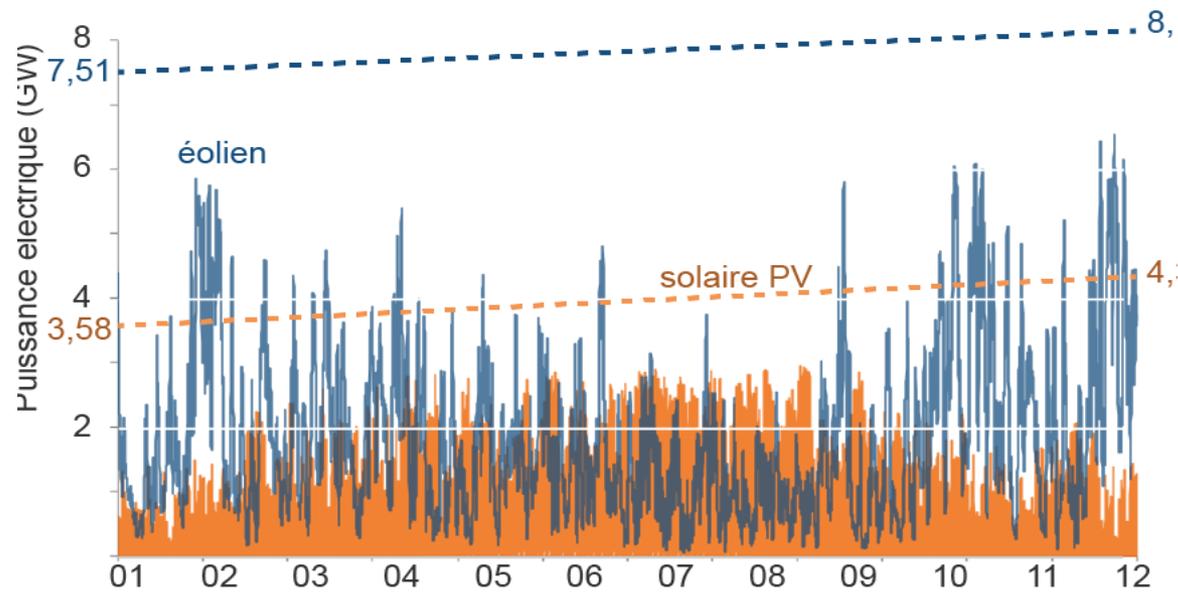
Pour aller plus loin

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).
- 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
- GRAND (D.), LATROBE (A), LE BRUN (C), VIDIL ®, *La transition énergétique sous contrainte de gestion de l'intermittence des énergies renouvelables* La revue de l'énergie 636, 2018

Les couts d'investissement pour 1 TWh

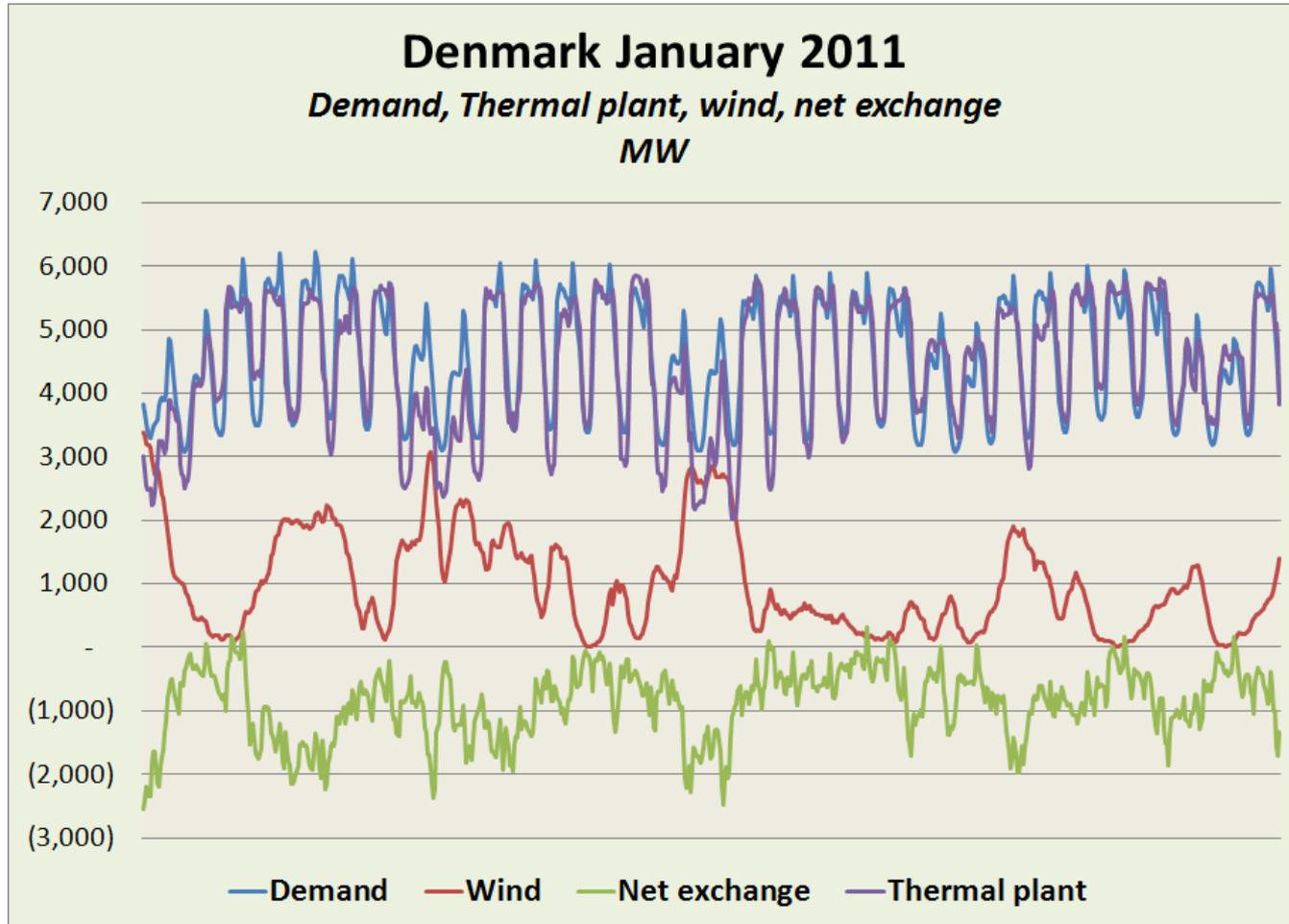
- Solaire Cestas 300MW, 360 millions € soit **1 milliard €**
 - Eolien terrestre Ruges, 140 MW, 210 millions € soit **700millions €**
 - Eolien maritime Guérande 450 MW, 1,5 milliard € soit **1 milliard €**
 - Nucléaire EPR 1,6 GW, 9 milliards € soit **900 millions**
 - Stockage à ajouter pour les renouvelables intermittents
-
- « Le solaire et le vent , ce n'est malheureusement pas gratuit quand on produit de l'électricité »



Production éolienne et photovoltaïque en France en 2013

Facteur de charge Eolien: 23,4%, Solaire: 12,9%
 Obligation d'achat à prix fixé

A quoi sert l'énergie éolienne au Danemark? (H. sharman et H. Flocard)



Les besoins pour 100% renouvelables

