

24^{ème} Congrès Générale de la
Société Française de Physique
Orsay 05/07/2017

Les conséquences de l'intermittence des énergies renouvelables et comment les gérer

D. Grand, A. Latrobe, C. Le Brun, R. Vidil
GIRE

<http://www.realisticenergy.info>

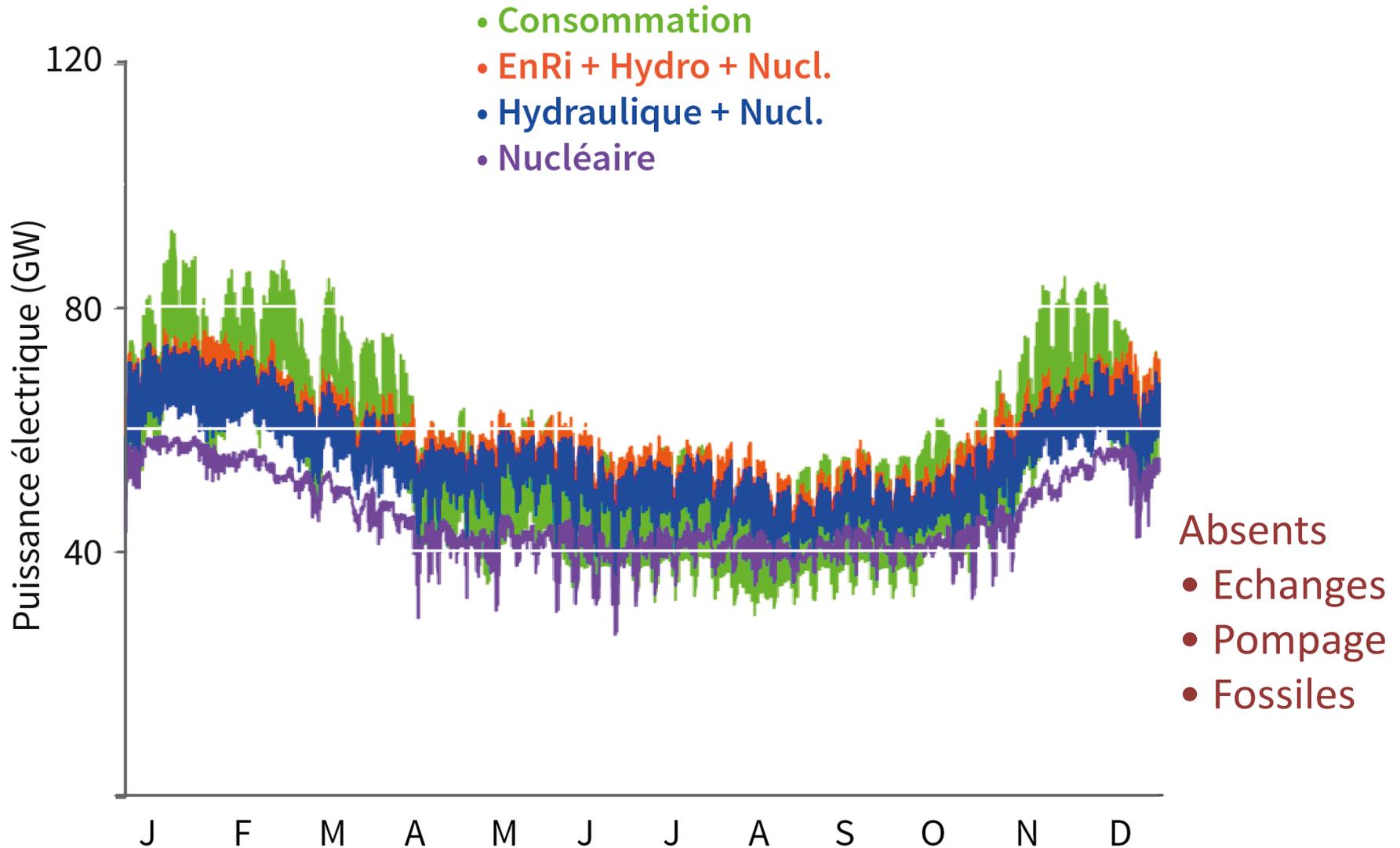
Transition énergétique (électrique)?

- Réduction des émissions de CO₂
- Développement soutenable:
 - pour l'homme et la société
 - pour l'environnement
- Apport des énergies renouvelables à l'UE?
 - hydraulique, biomasse (plafond atteint)
 - éolien et solaire (croissance possible)

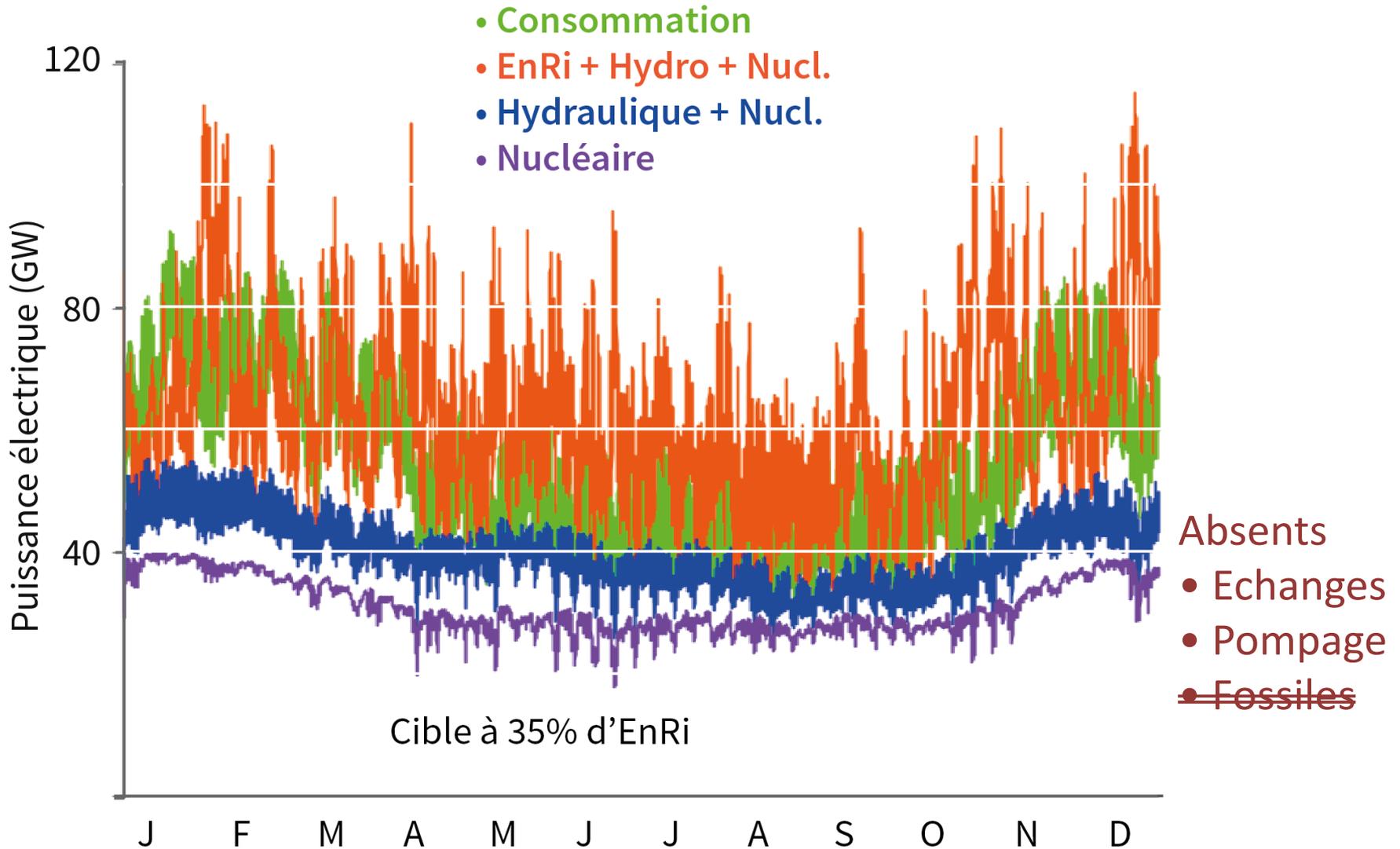
Sommaire

- Intermittence et équilibrage du réseau
- Allemagne et France
- Moyens d'équilibrage
- Conséquences climatiques

Production électrique France 2013

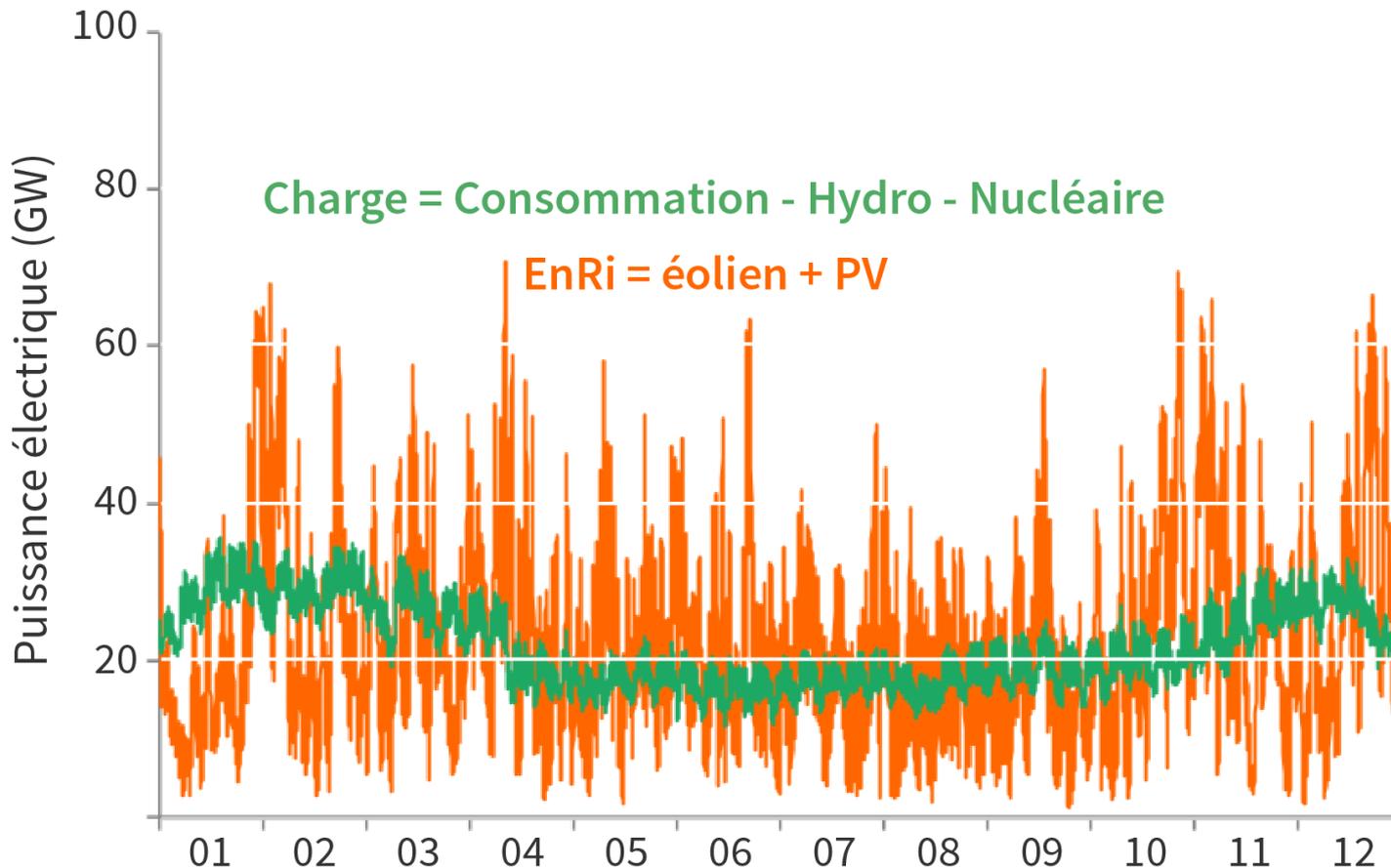


Mix électrique à 35% EnRi

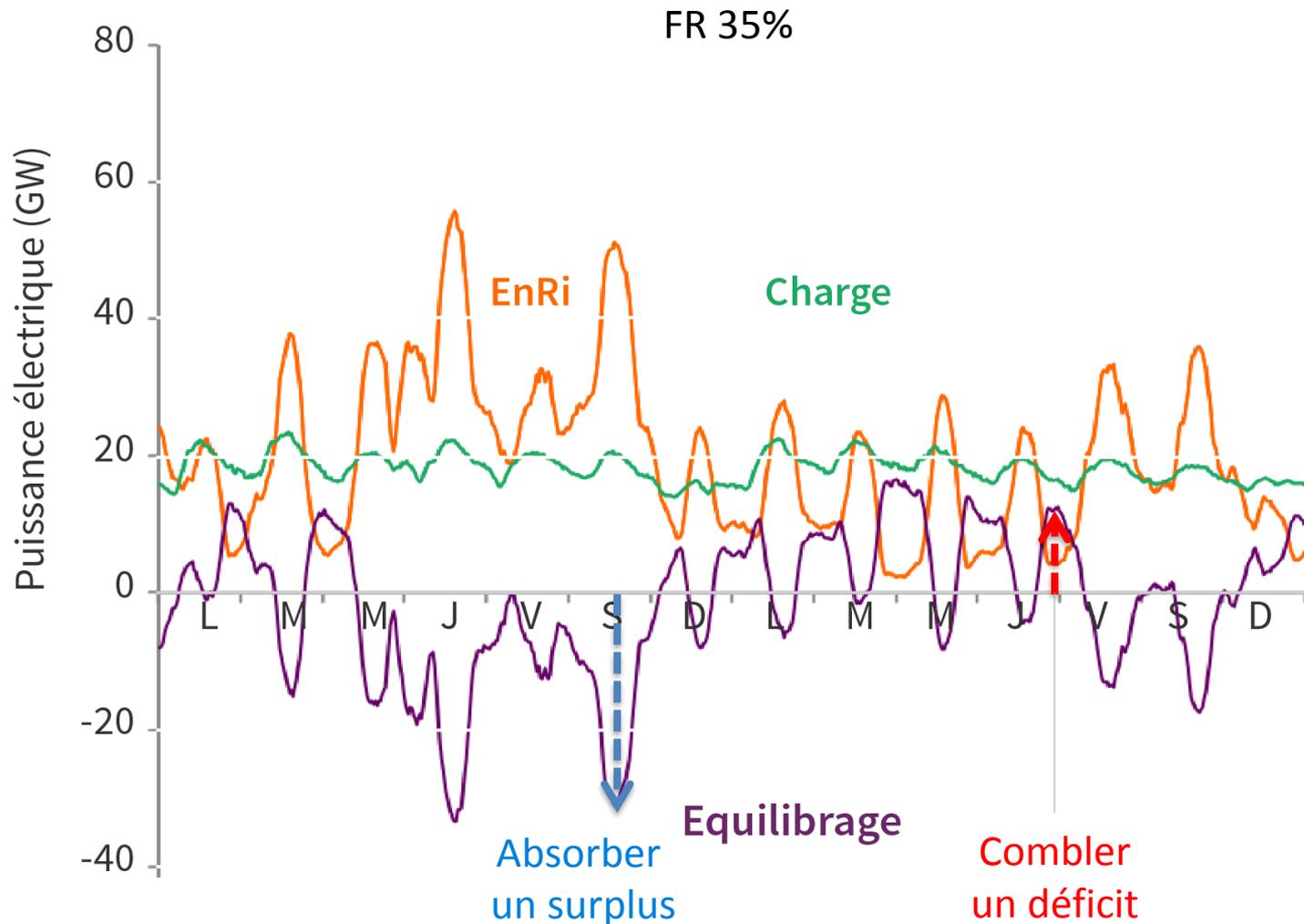


Part de la production intermittente

Méthode de Friedrich Wagner (Max Planck)



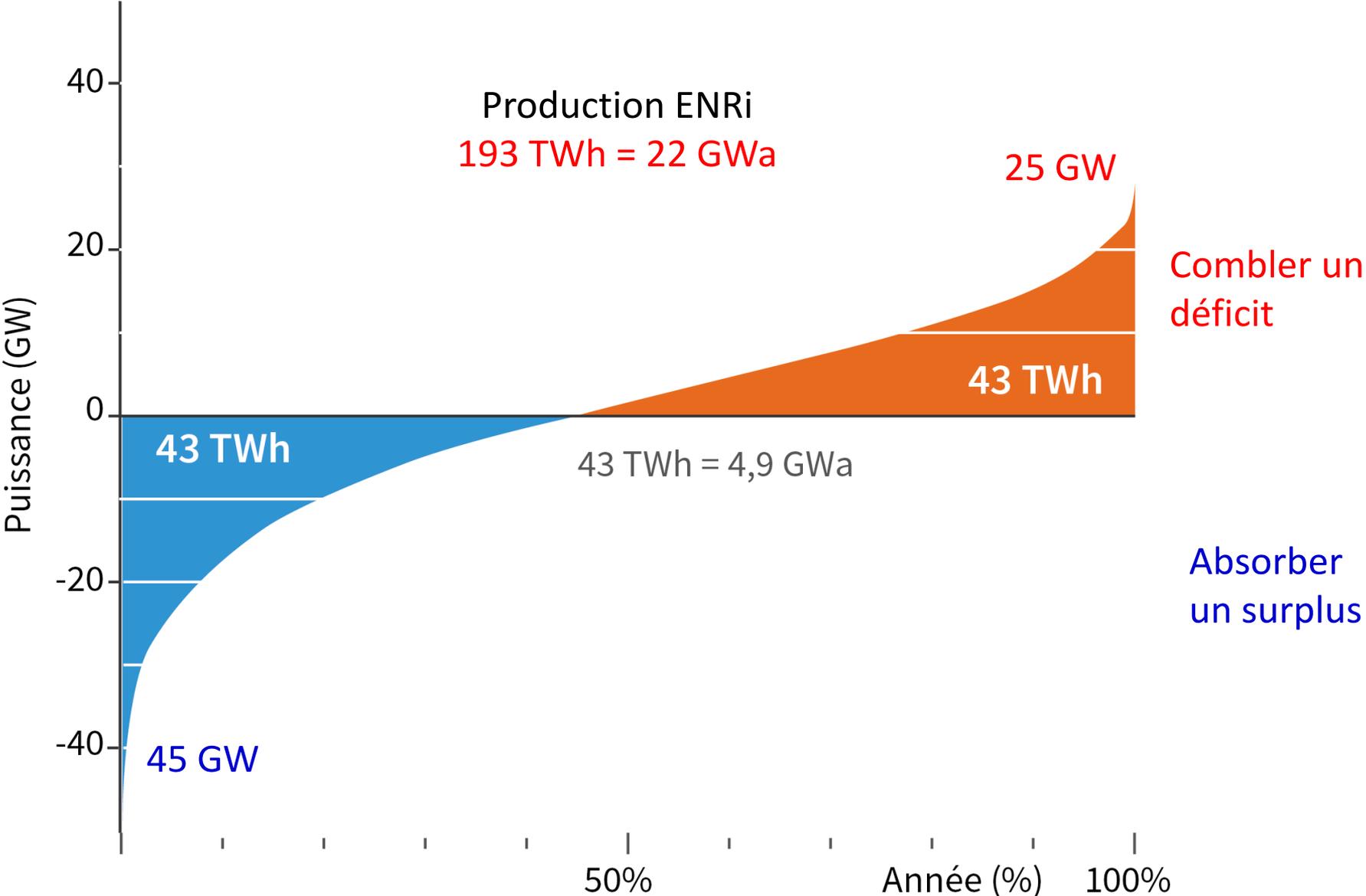
Evolution lors d'une quinzaine d'avril



Equilibrage : historique de l'année



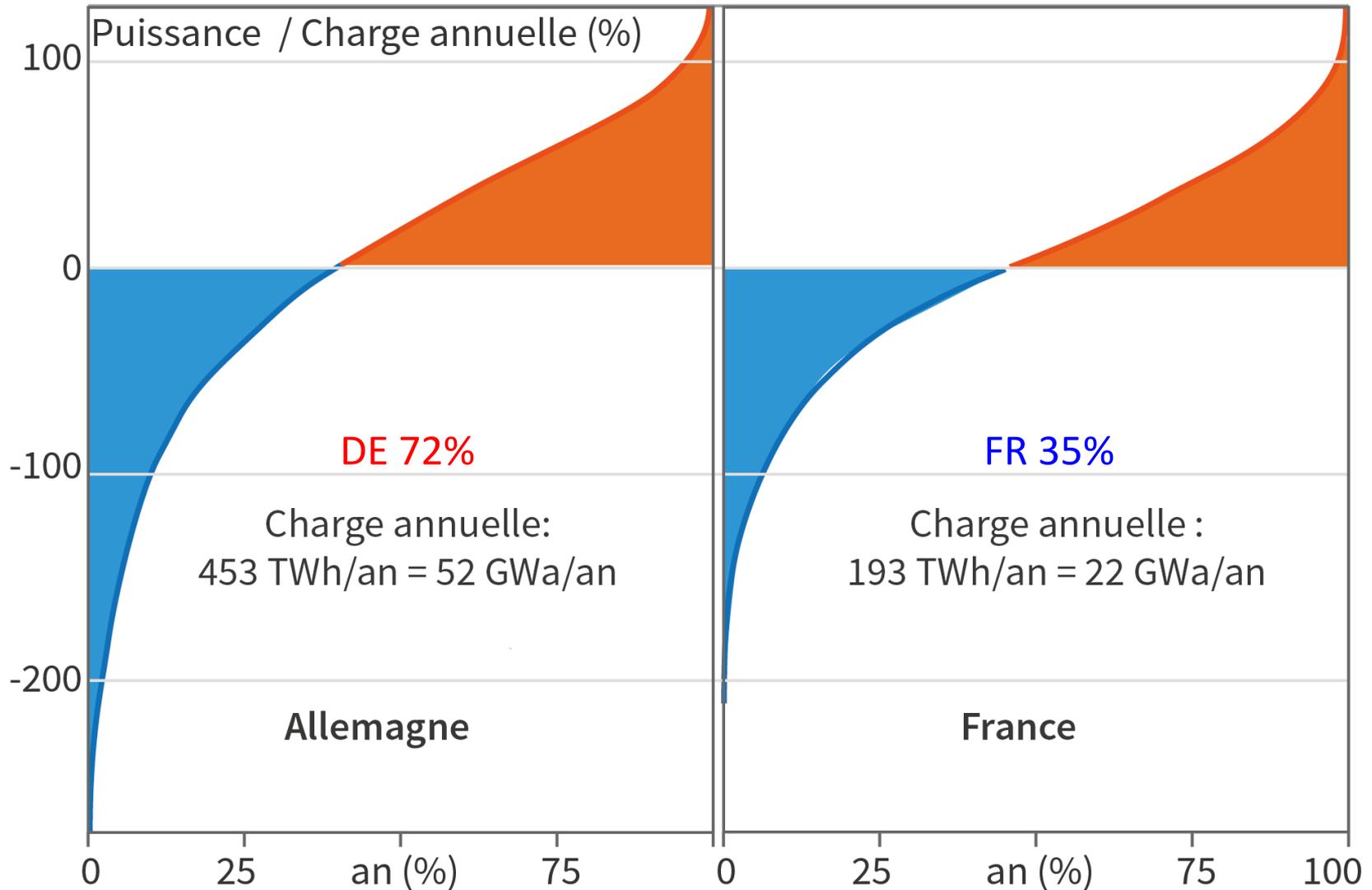
Monotone de charge d'équilibrage



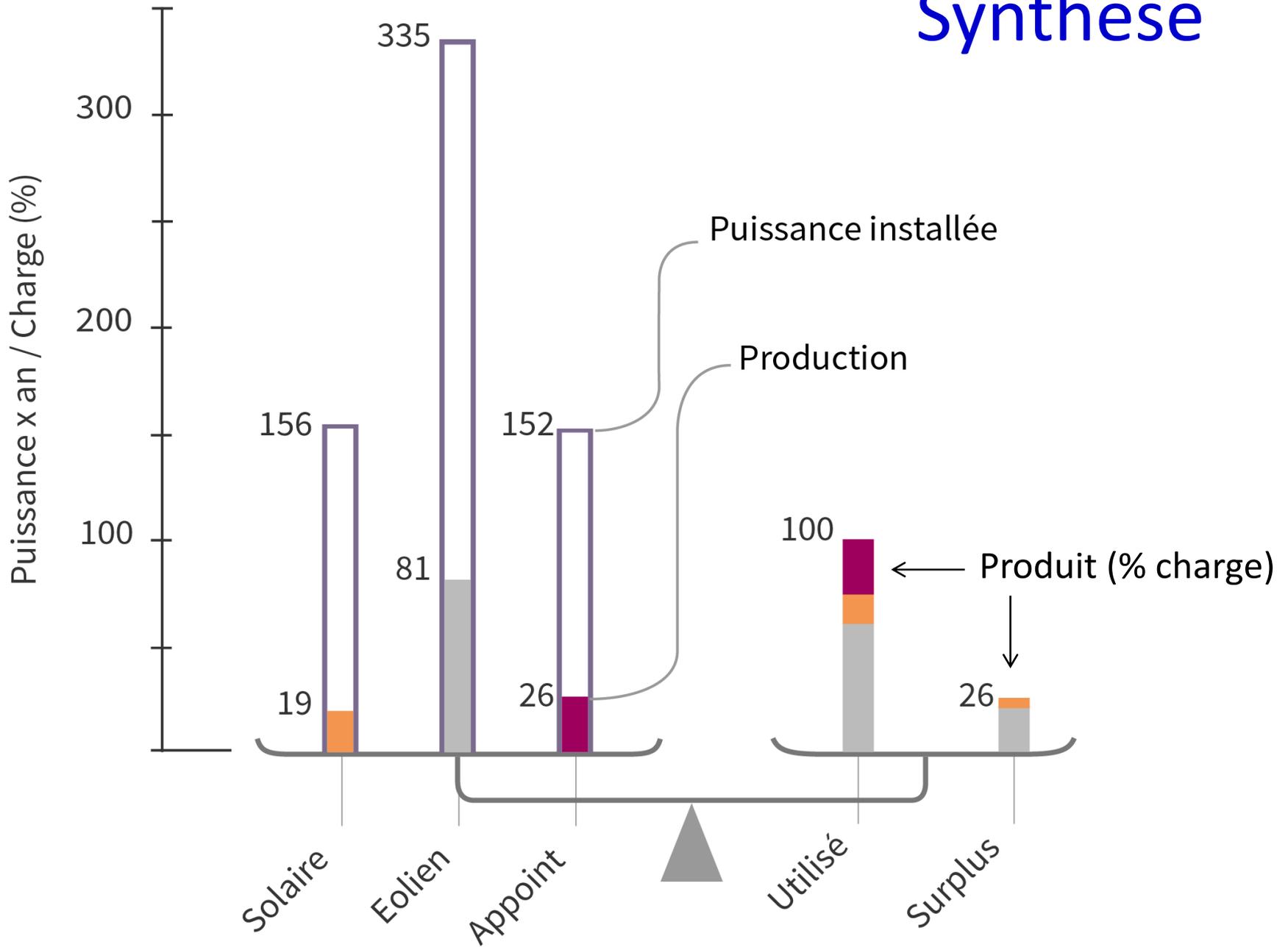
Sommaire

- Intermittence et équilibrage du réseau
- **Allemagne et France**
- Moyens d'équilibrage
- Conséquences climatiques

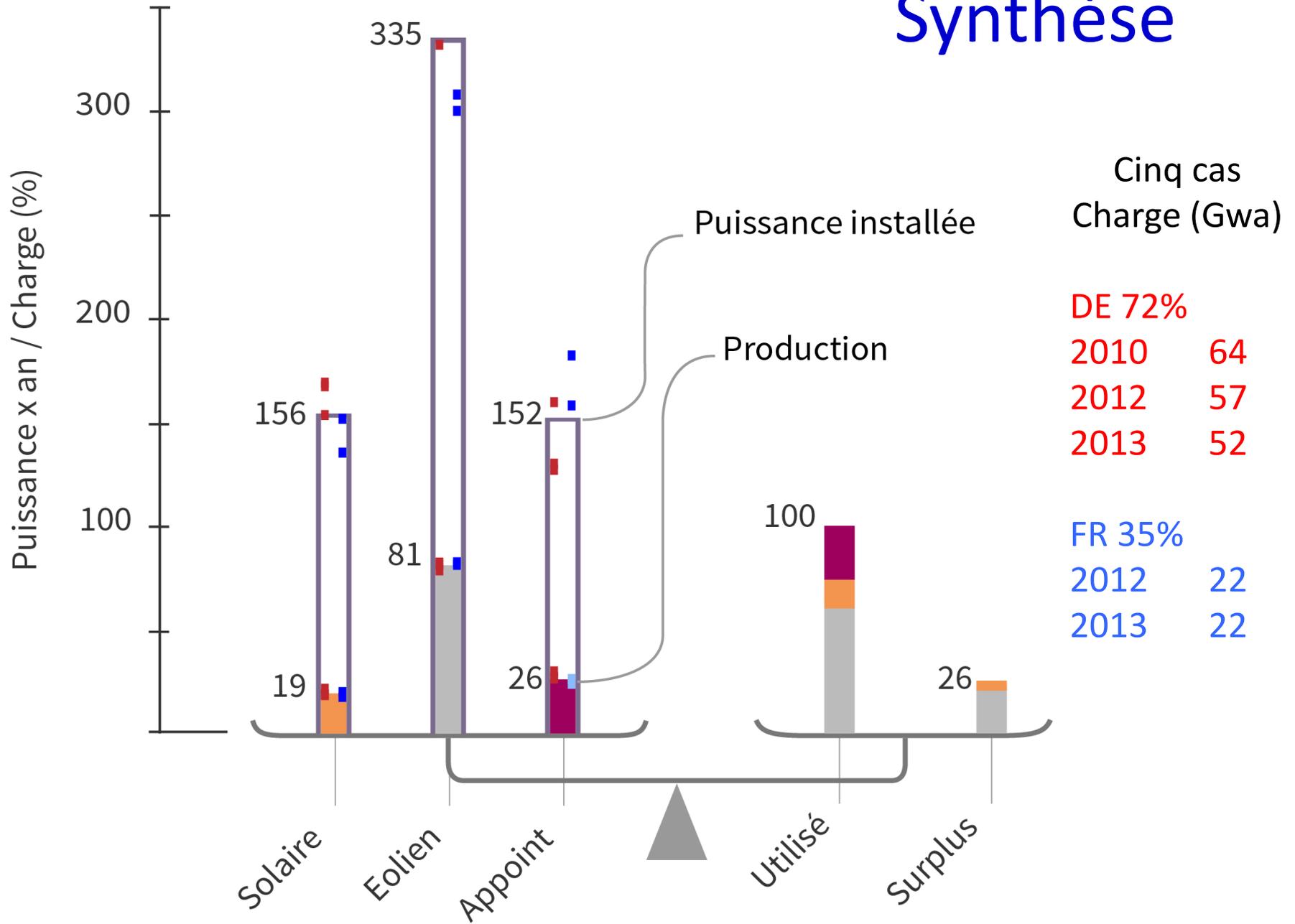
Monotones d'équilibrage comparées



Synthèse



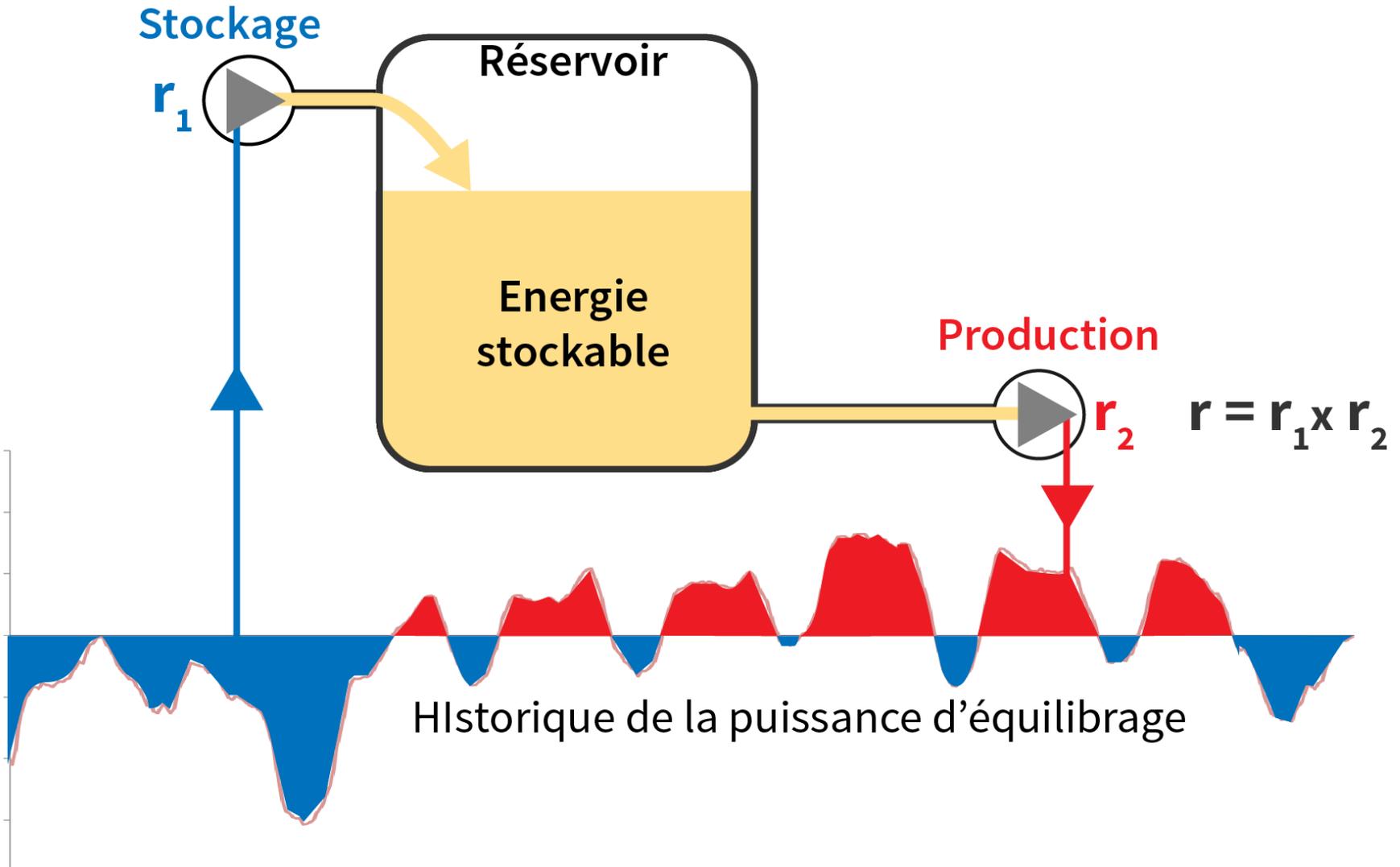
Synthèse



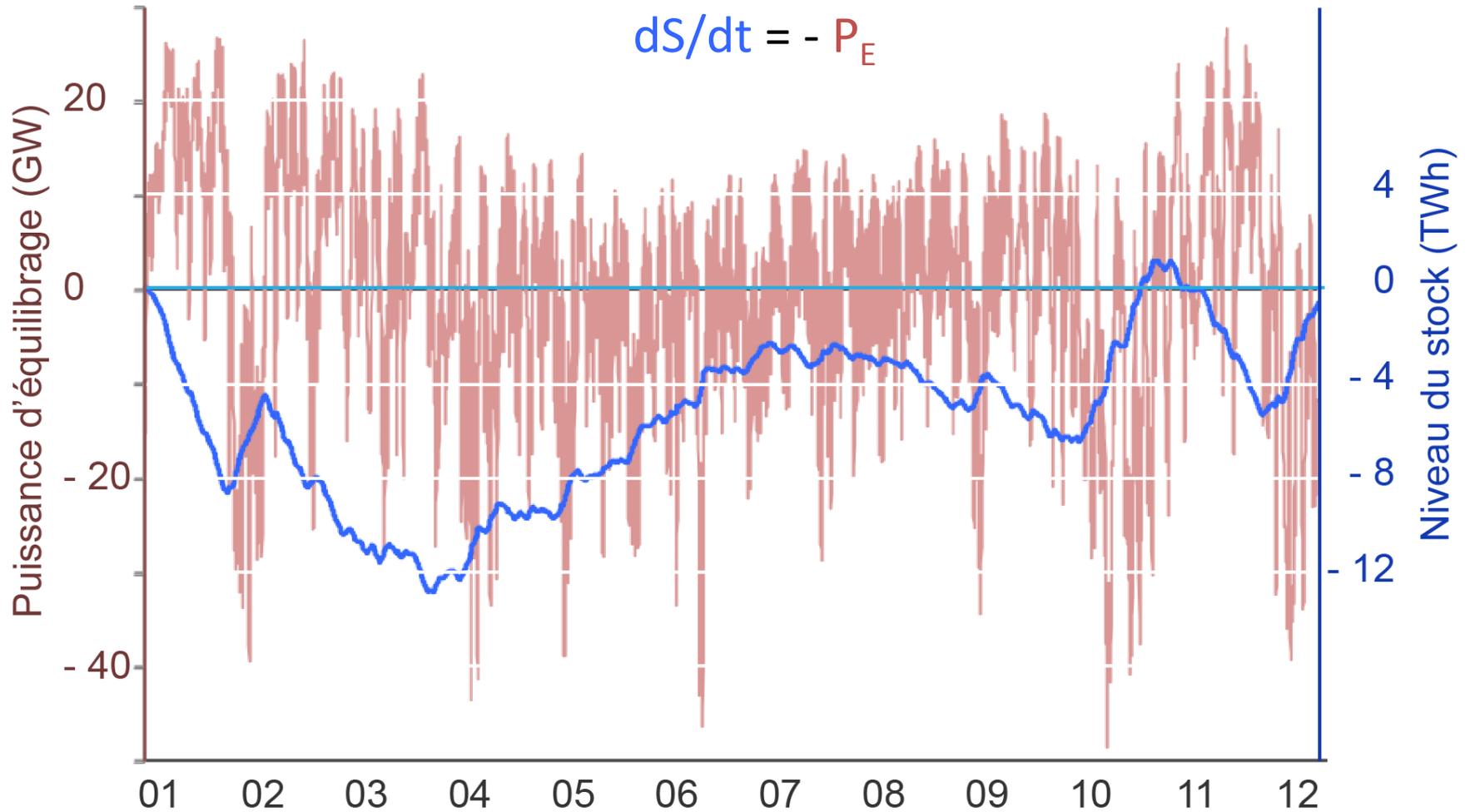
Sommaire

- Intermittence et équilibrage du réseau
- Allemagne et France
- Moyens d'équilibrage (FR35%)
- Conséquences climatiques

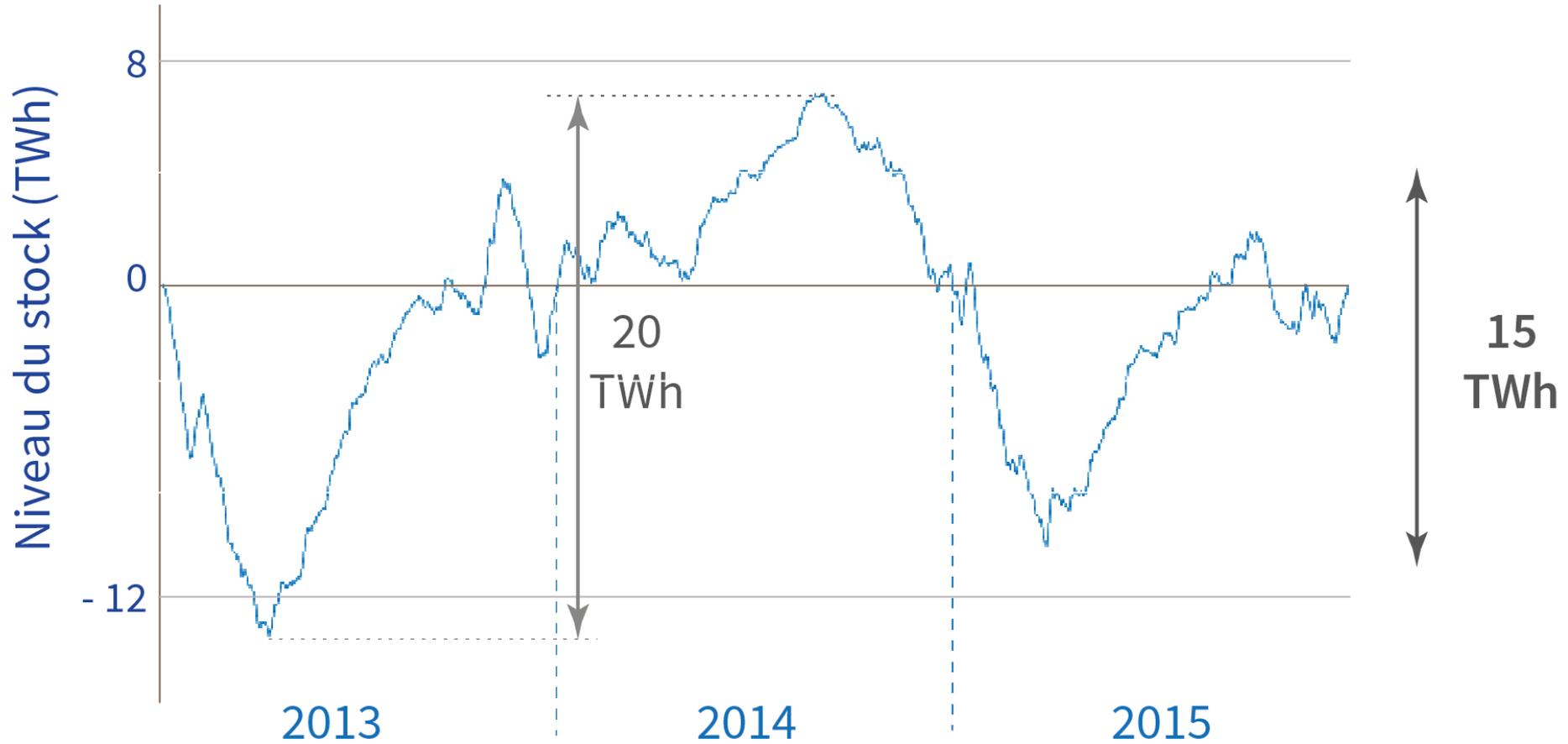
Stockage: principe



Charge d'un stockage parfait ($r = 100\%$) FR35%



Niveau du stock sur 3 ans

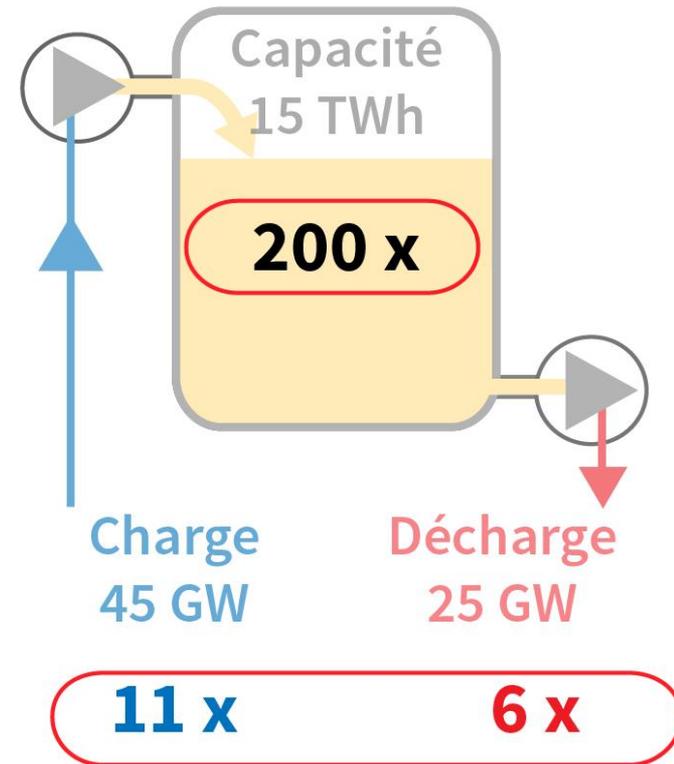


Stockage hydroélectrique (r = 80%)

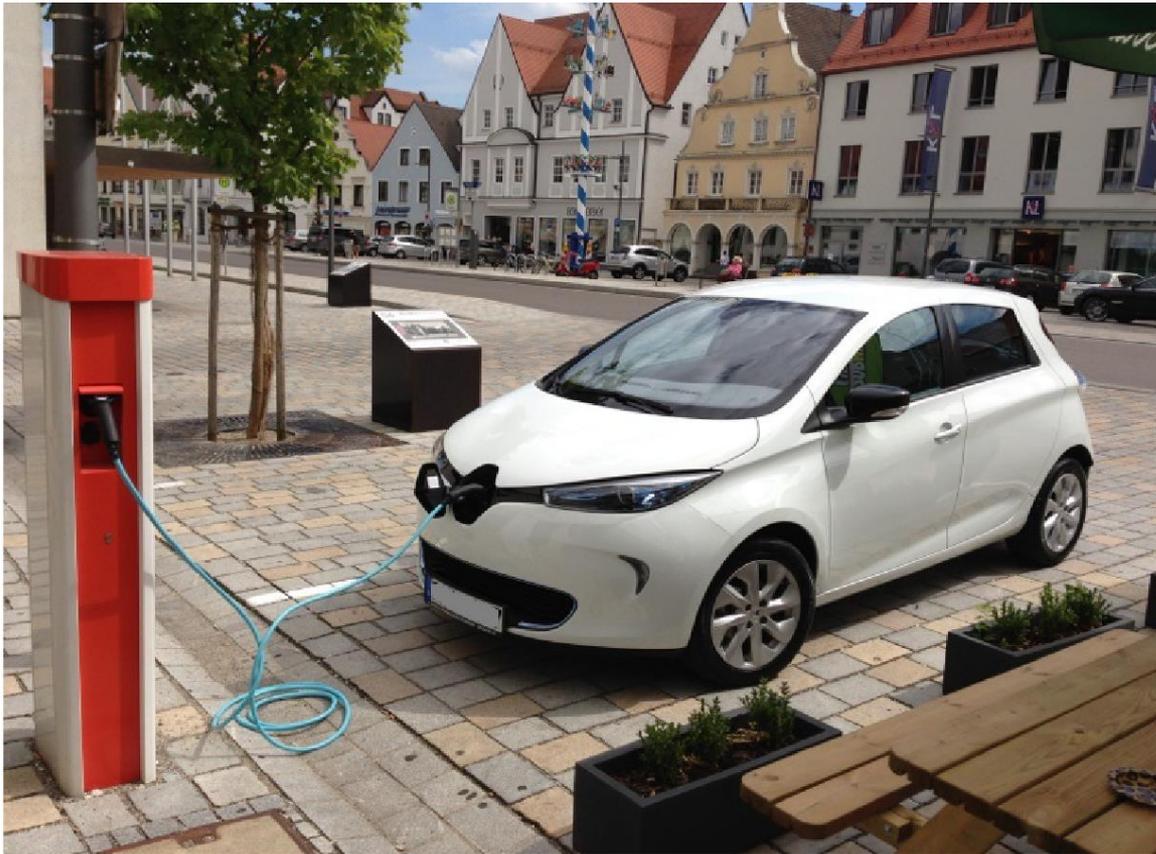


STEP françaises :

Capacité \approx 70 GWh
Puissance = 4,1 GW

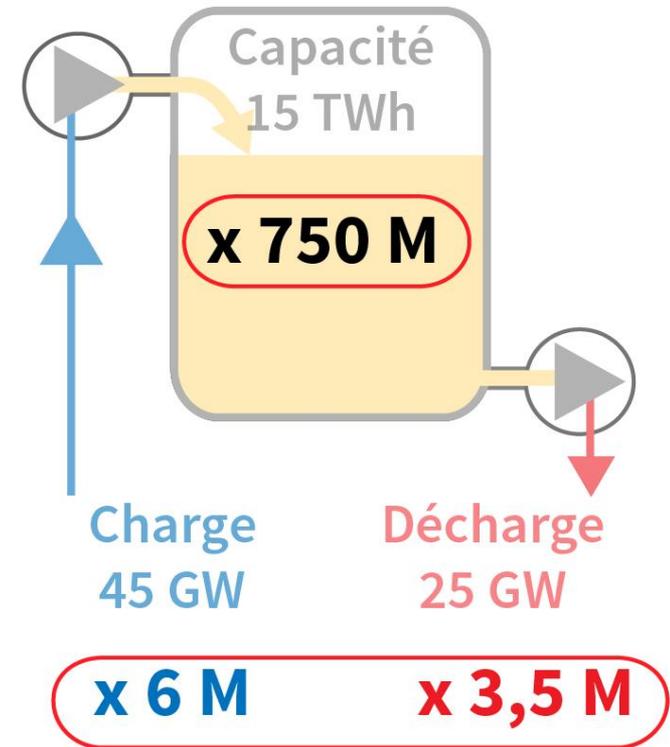


Stockage par batteries (r = 80%)



ZOE : Capacité \approx 20 kWh
 Puissance charge = 7 kW

Crédit: Jacques Treiner



30 x parc **mondial** de
batteries (0,5 TWh)

Stockage hydrogène (20% < r < 40%)

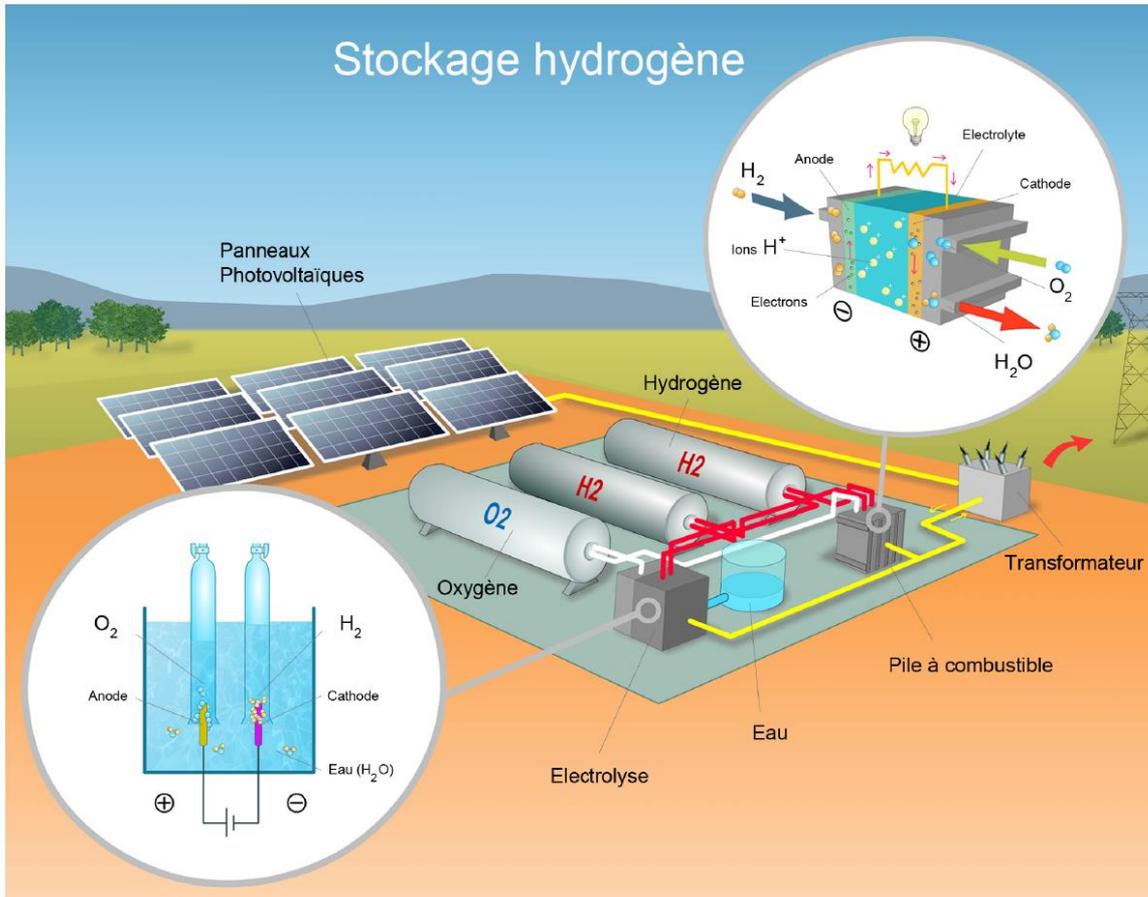
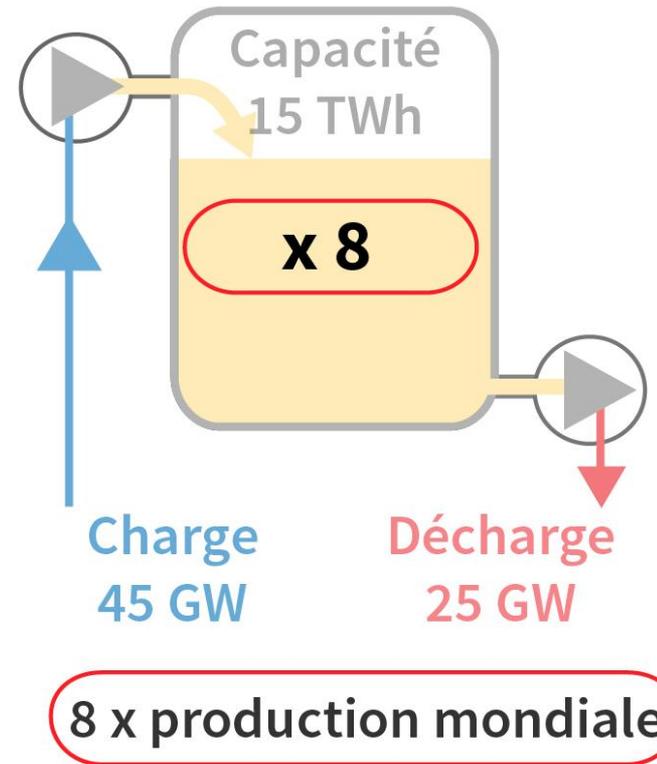


ILLUSTRATION CORINNE BEURTEY



Production mondiale d'hydrogène = 1,8 TWh

Echanges transfrontaliers?

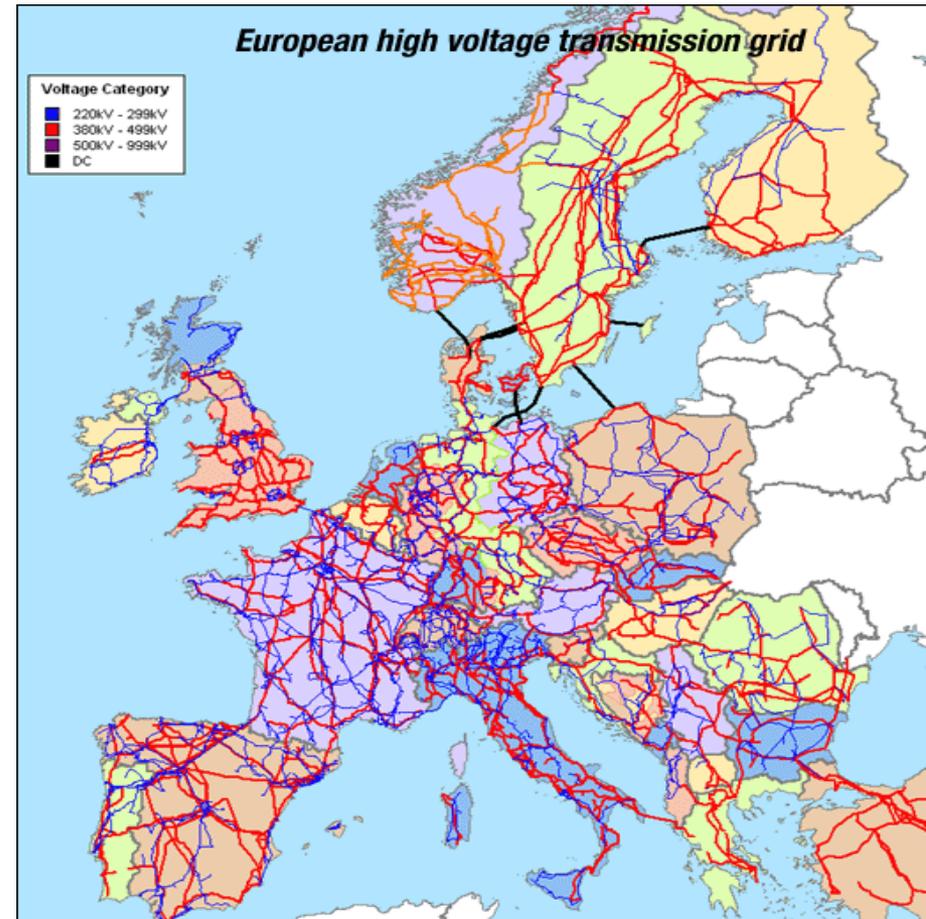
Scénario 100% ENR (Ademe):
56 TWh (export = import)

☀ **EnR?** Impossible: productions
en phase.

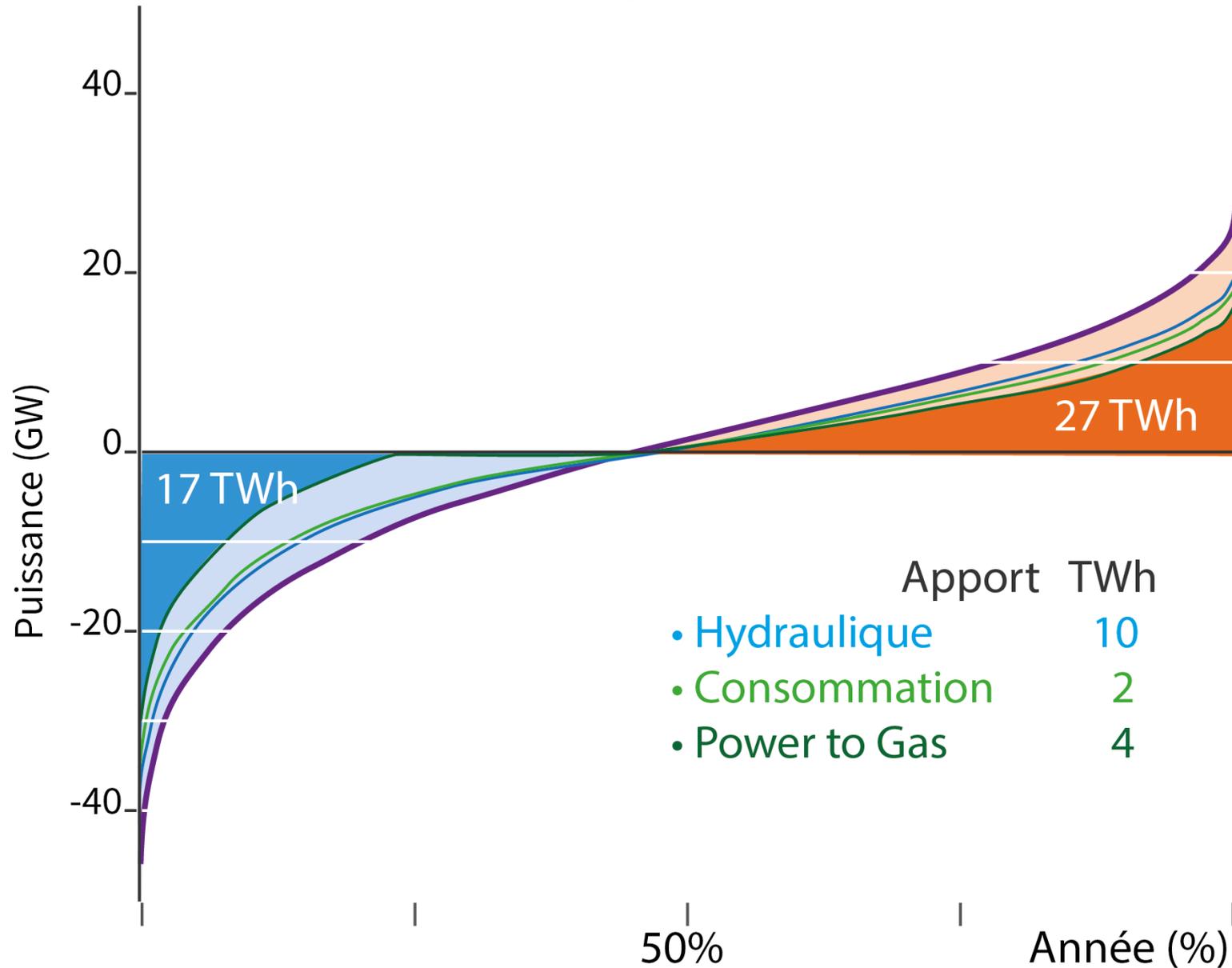
☁ **Fossiles** : « la majorité des
échanges exploite la flexibilité fossile
des systèmes électriques voisins »
(Ademe)

Exporter nos émissions de CO₂?

Zéro



Transferts surplus vers déficits



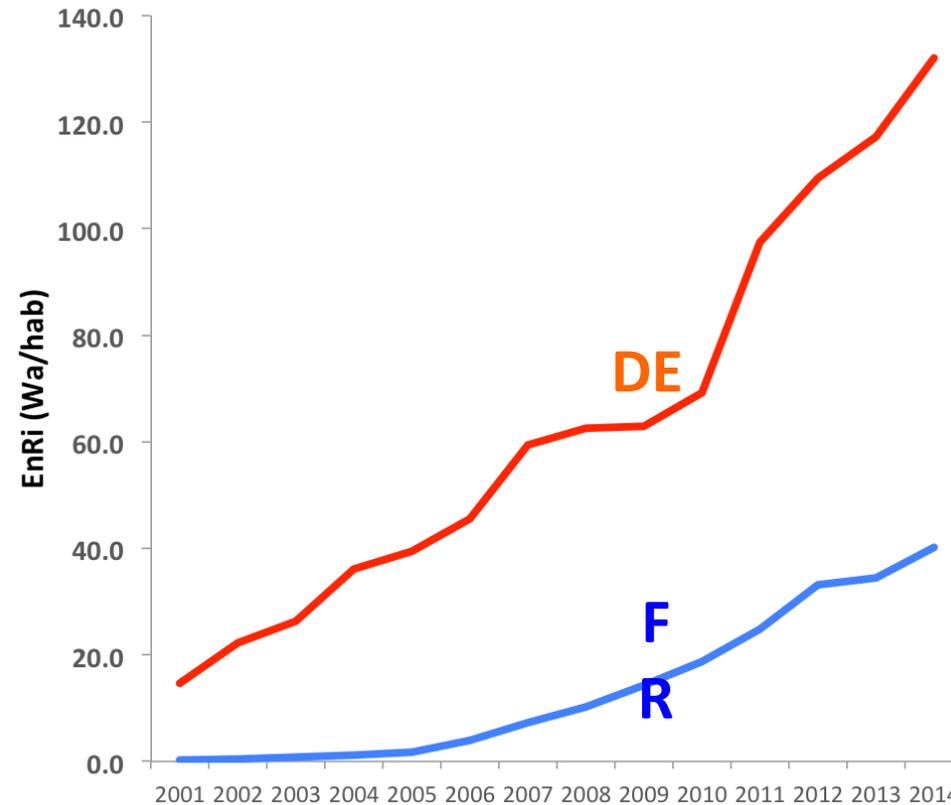
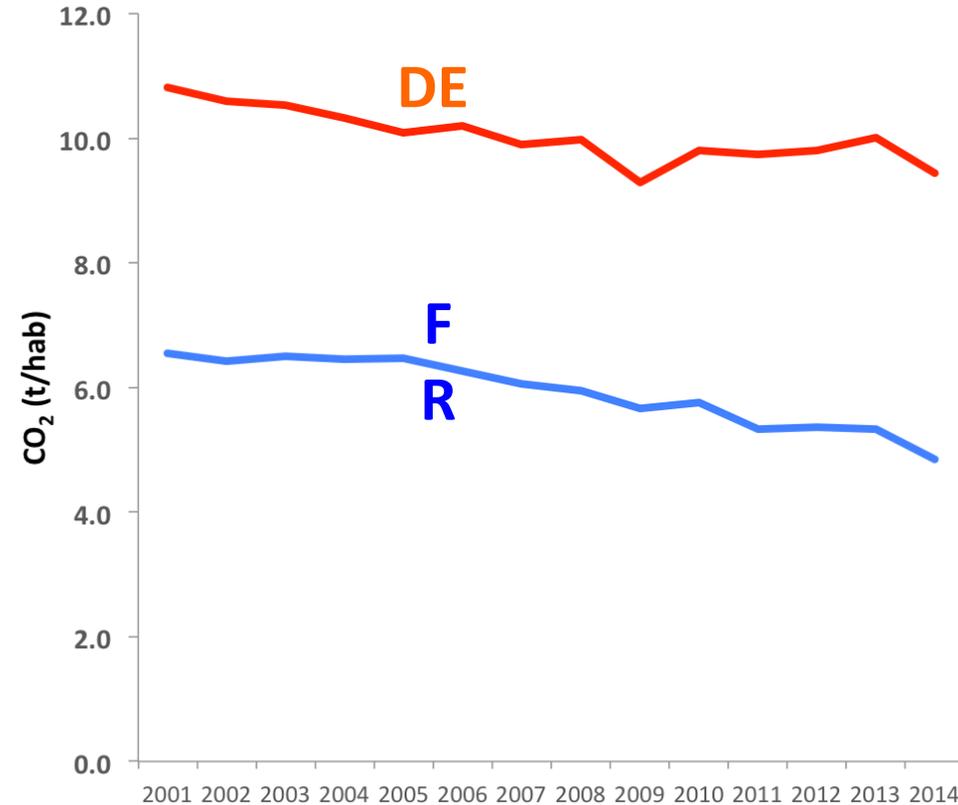
Sommaire

- Intermittence et équilibrage du réseau
- Allemagne et France
- Moyens d'équilibrage
- Conséquences climatiques

EnRi et CO2 : évolutions depuis 2001

CO₂ du secteur énergétique

Productions d'éolien et PV



Conclusion : Méthode

- Mix électrique transition énergétique :
50% ENR: 35% EnRi et hydro.
- Méthode F. Wagner (Max Planck) appliquée à FR
- Comparaison DE et FR

Résultats de l'intermittence

- Cause **surplus et déficits $\approx 26\%$**
(% de la charge (énergie) annuelle EnRi)
- Nécessite de **rééquilibrer la puissance**:
 - ✧ **220%** pour absorber **surplus**
 - ✧ **120%** pour combler **déficits**
(% puissance moyenne de charge)
- Nécessite de **stocker $\approx 8\%$** de la charge annuelle EnRi
 - ✧ **x 200** capacité des STEP françaises
 - ✧ **x 30** parc mondial batteries (FR 1% pop. monde)

Attention aux lieux communs

- ❑ Loi transition énergétique timide?
 - Nécessite de GROS moyens.

- ❑ Vent et soleil gratuits?
 - Pas leur collecte ni leur gestion (coûts des infrastructures en Europe).

- ❑ ENR bonnes pour le climat?
 - Si la production d'appoint n'émet pas de CO₂.

Références (1/2)

WAGNER (F.) , *Electricity by intermittent sources: an analysis based on the German situation 2012*, Eur. Phys.J. Plus, **129** : 20 (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* Eur. Phys. J. Plus **131** : 329 (2016)

VIDIL (R.), LATROBE (A.), LE BRUN (C.), GRAND (D.) et FINON (D.) *Le mirage de mix électriques à très forte proportion d'énergies intermittentes* Revue de l'Energie, 634 (2016)

TREINER (J.) *Le stockage de l'énergie, vessies et lanternes* Blog Mediapart (2016) <https://blogs.mediapart.fr/jacques-treiner/blog>

Références (2/2)

TOURNERY (J.) *Les stations de pompage (STEP)*, Encyclopédie de l'Énergie (2016) <http://encyclopedie-energie.org/articles/les-stations-de-pompage-step>

DEGRANCOURT (T.) *Accumulateurs: le futur du stockage d'énergie*, Encyclopédie de l'Énergie (2016) [http://encyclopedie-energie.org/articles/accumulateurs-le-futur-du-stockage-d'énergie](http://encyclopedie-energie.org/articles/accumulateurs-le-futur-du-stockage-d-energie)

ALLEAU (T.) *L'hydrogène* Encyclopédie de l'Énergie (2015) [http://encyclopedie-energie.org/articles/l'hydrogène](http://encyclopedie-energie.org/articles/l-hydrogene)

ANCRE *Prospective énergétique France 2050 : le scénario de l'ANCRE pour la Loi de Transition Énergétique* Encyclopédie de l'Énergie (2017) [http://encyclopedie-energie.org/articles/prospective-énergétique-france-2050-le-scénario-de-lancre-pour-la-loi-de-transition](http://encyclopedie-energie.org/articles/prospective-energetique-france-2050-le-scenario-de-lancre-pour-la-loi-de-transition)

WAGNER (F.) *Surplus from and storage of electricity generated by intermittent sources* Eur. Phys. J. Plus **131** : 445 (2016)