

- \* Les contraintes d'équilibre des réseaux d'électricité
- \* Quelles limites d'insertion pour les énergies intermittentes (EnRi) ?

Par Georges Sapy (SLC)

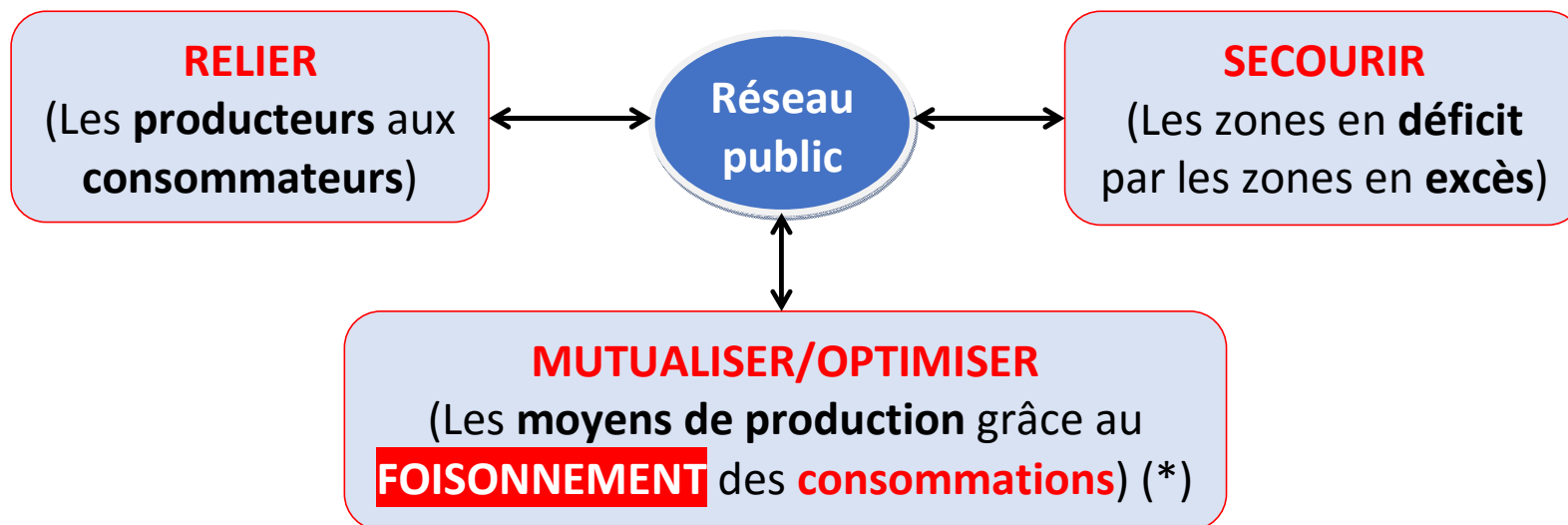
# Plan de la présentation

- 1 – **Éloge des réseaux publics** d'électricité...
- 2 – **L'organisation** du système électrique européen : **l'ENTSO-E**
- 3 – **L'équilibre instantané** fréquence-puissance du réseau
- 4 – Études récentes **d'insertion des énergies intermittentes (EnRi)**
- 5 – **Principaux enseignements** de l'étude EDF R&D
- 6 – **Les risques de black-out**, leurs causes et conséquences

# 1 – Éloge des réseaux publics d'électricité...

Les réseaux publics, outils de mutualisation, d'optimisation et de solidarité...

\* Trois apports majeurs des réseaux publics :



(\*) À l'échelle de l'Europe : **division par 4 à 5 des puissances de production nécessaires**

\* Des réseaux d'électricité de tailles et puissances très différentes...

→ Les **grands** réseaux nationaux **interconnectés** avec leurs voisins → Réseau européen

→ Les réseaux **isolés** des îles

# 1 – Éloge des réseaux publics d'électricité... (Suite et fin)

**Les nouveaux « réseaux locaux de territoires » : concurrents ou complémentaires ?**

**\* Intérêt et place à préciser :**

- ° Taille réduite → **Faible foisonnement** → **Surdimensionnement** relatif des moyens de **production + stockage local** → **COÛT du KWh ? Modèle économique ?**
- ° Validation par **démonstrateurs** (nombreux, en cours)
- ° Pourront difficilement se passer **d'appui/secours** des réseaux publics... existants !

**\* Plus complémentaires que concurrents des réseaux publics :**

- ° Complémentaires : en cas **d'insuffisance locale** des réseaux publics
- ° Solutions alternatives : dans pays aux **réseaux publics défaillants ou inexistant**s

**\* Perspectives en France (Métropole + îles DOM/TOM) :**

- ° **Complémentarité**
- ° **MAIS** : que devient la **péréquation tarifaire** ?

# 2 – L'organisation du système électrique européen : l'ENTSO-E

**ENTSO-E : European Network of Transmission System Operators for Electricity**

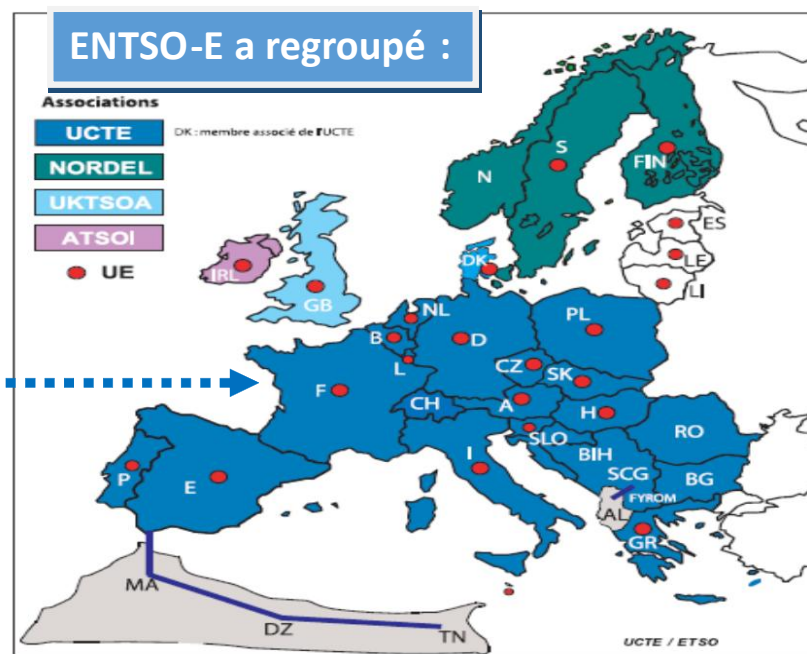
Regroupe depuis 2009 les gestionnaires de réseaux de transport d'électricité de **34 pays** du continent européen avec deux objectifs :

- 1) **Coordonner, optimiser et sécuriser les réseaux nationaux**
- 2) **Faciliter les échanges via les marchés de l'électricité**



Réseau maillé ( → sécurité d'alimentation) fortement interconnecté à ses voisins

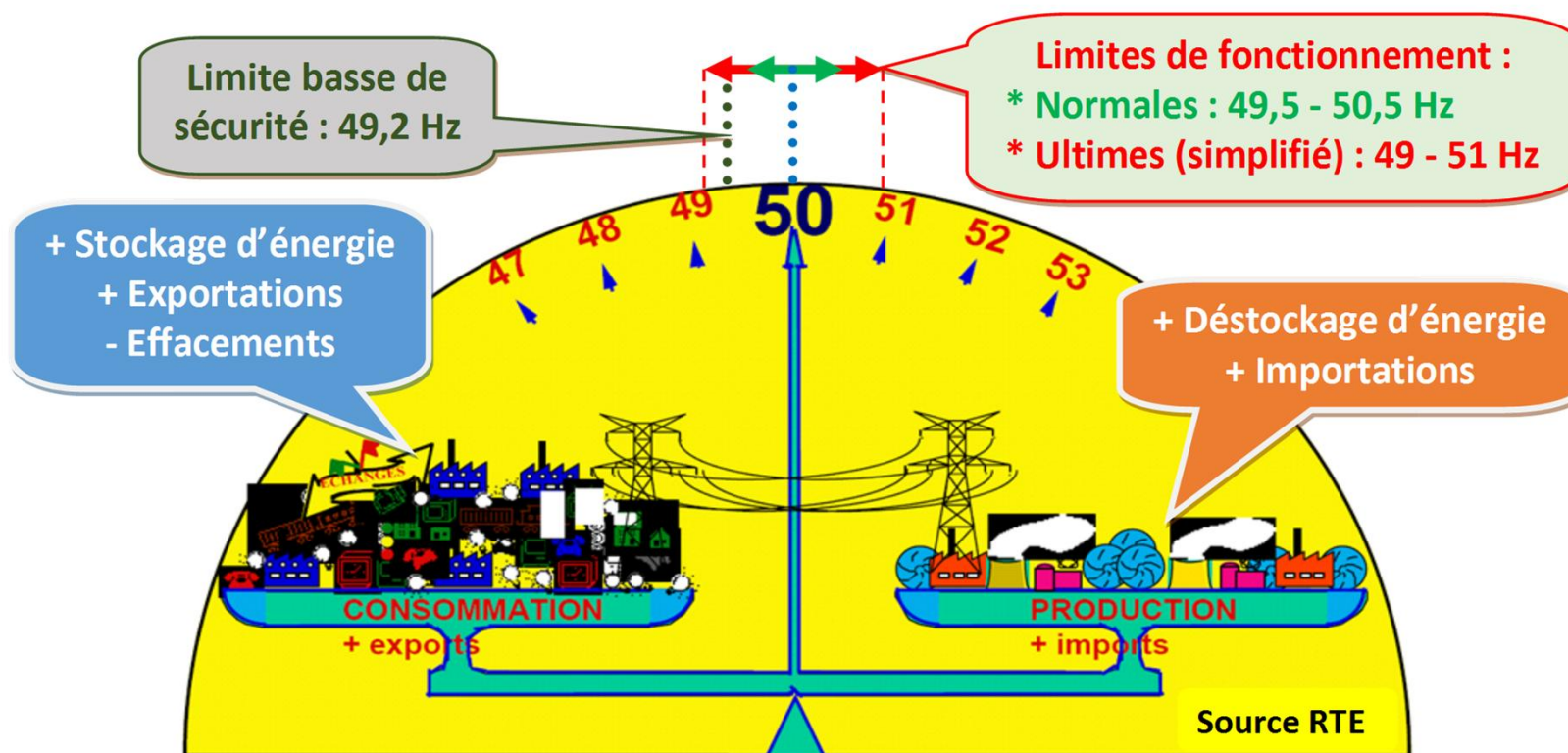
L'interconnexion du système électrique français avec les pays d'Europe de l'Ouest



# 3 – L'équilibre instantané fréquence-puissance du réseau

L'électricité ne se stockant pas → À tout instant : PRODUCTION = CONSOMMATION

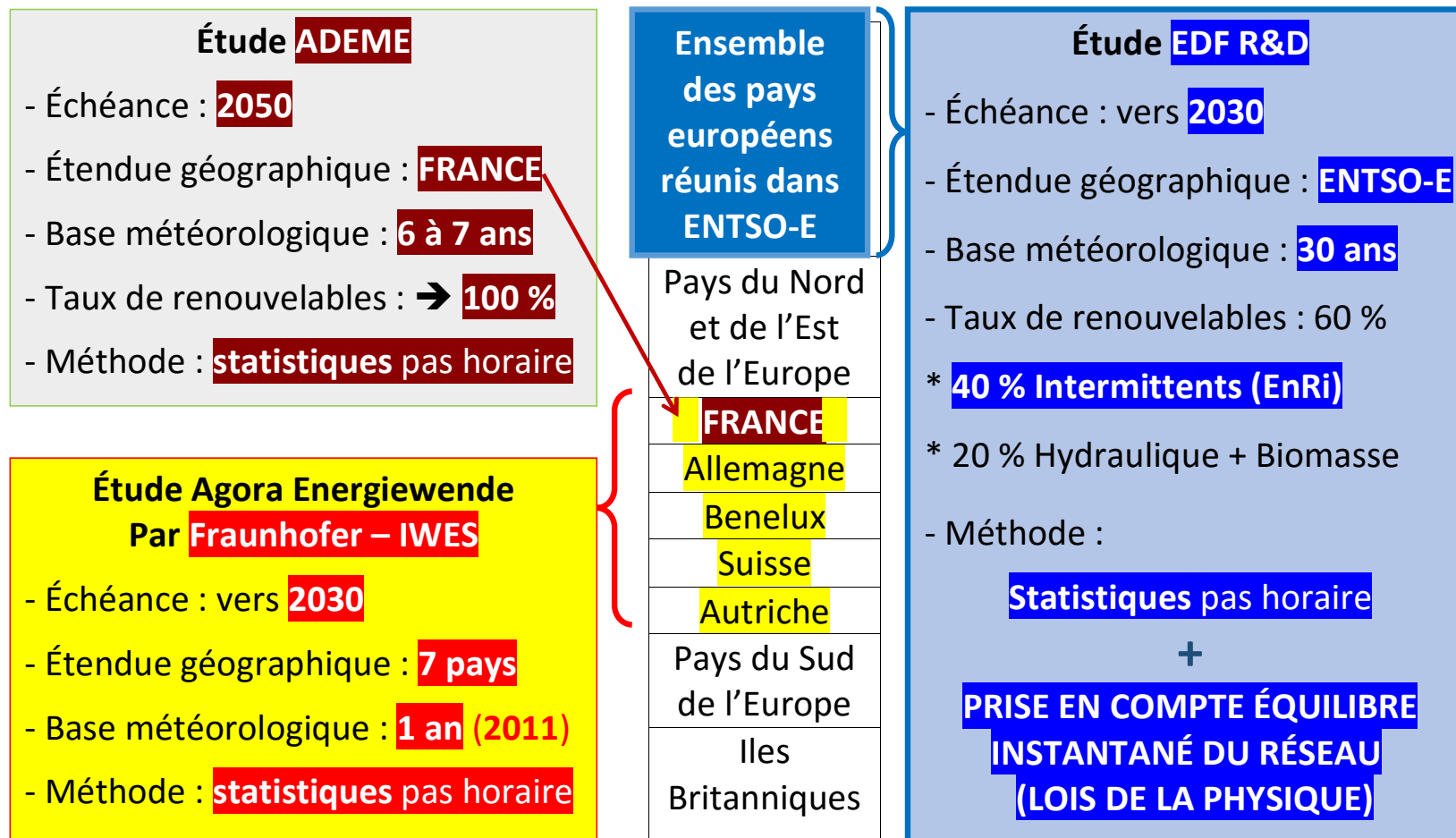
L'INDICATEUR de cet équilibre INSTANTANÉ : la FRÉQUENCE du réseau



Compensation des déséquilibres : mise en œuvre de réserves de puissance GARANTIES en moins de 30 secondes (règles ENTSO-E) grâce aux régulations des moyens pilotables

# 4 – Études récentes d'insertion des énergies intermittentes (EnRi)

Trois études d'inégale valeur publiées en 2015 : ADEME ; Fraunhofer – IWES ; EDF R&D



**Étude Agora Energiewende**  
Par **Fraunhofer – IWES**

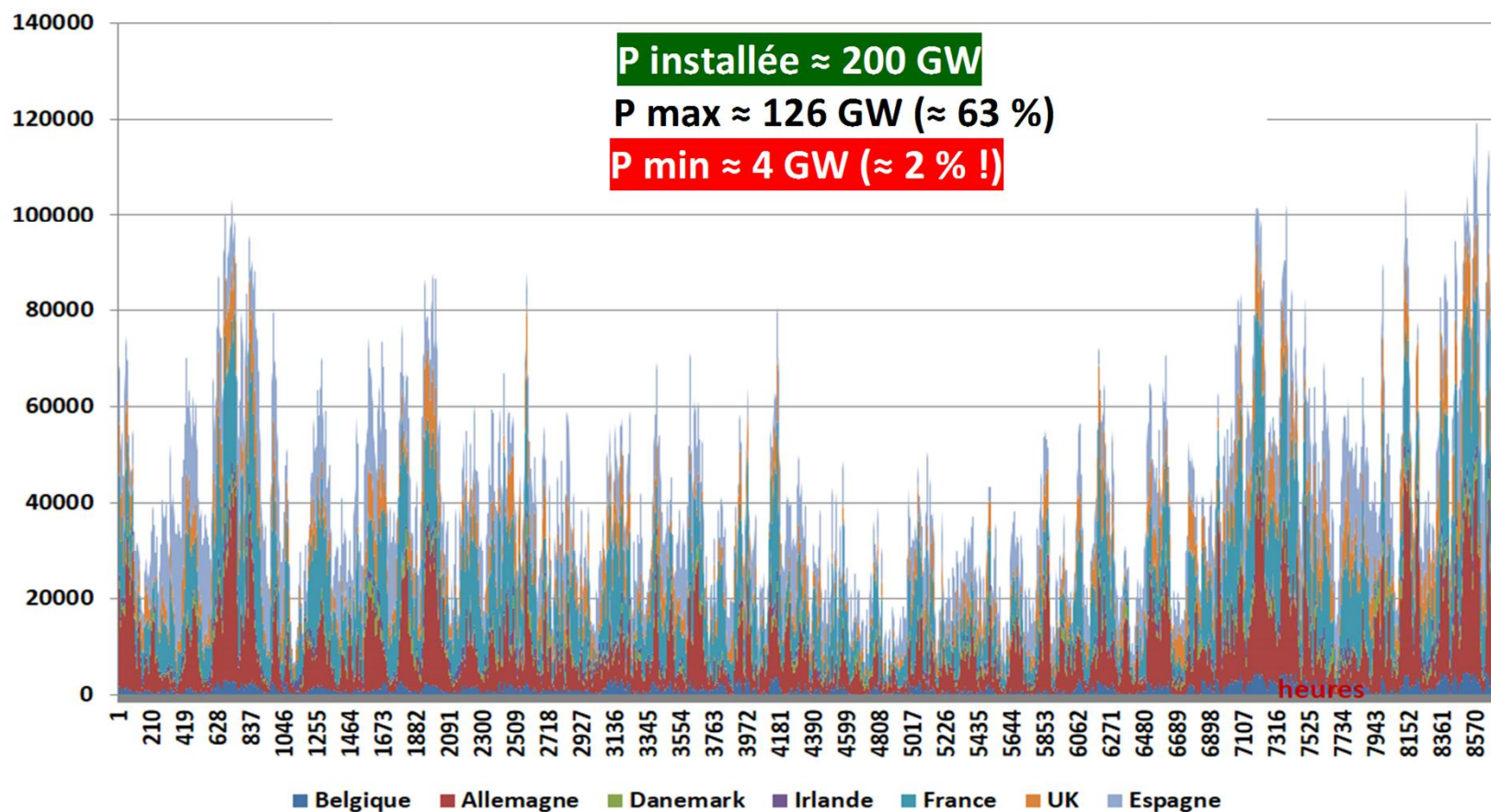
- Échéance : vers 2030
- Étendue géographique : 7 pays
- Base météorologique : 1 an (2011)
- Méthode : statistiques pas horaire



## 4 – Études récentes d'insertion des énergies intermittentes (Suite et fin)

**Autre étude récente (2014) : « Intermittence et foisonnement des énergies renouvelables »**

(Hubert FLOCARD ; Jean-Pierre PERVÈS ; Jean-Paul HULOT – Techniques de l'ingénieur)



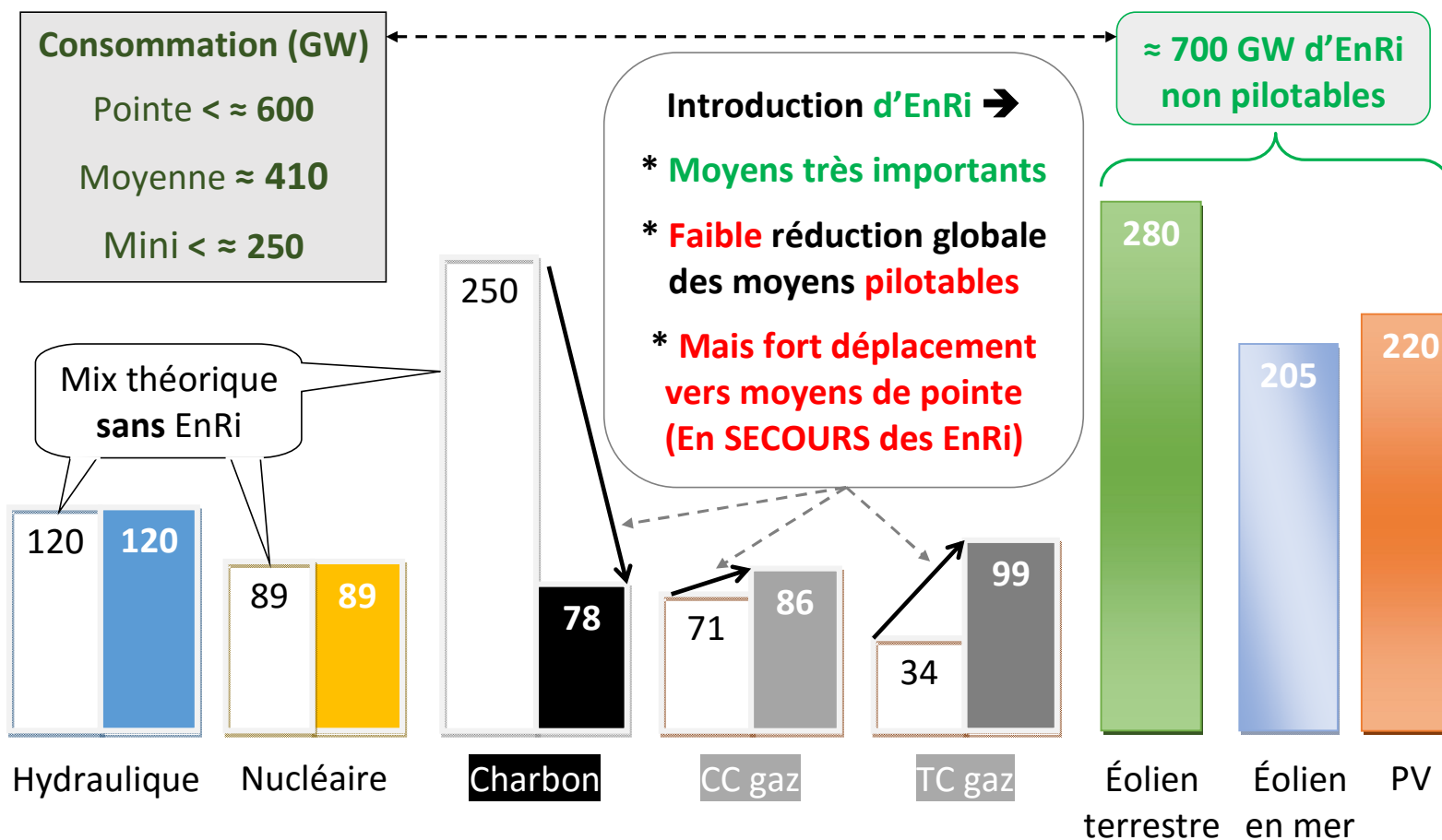
**Puissance éolienne cumulée des 7 pays européens les plus équipés (extrapolation vers 2030)**



# 5 – Principaux enseignements de l'étude EDF R&D

**Les EnRi réduisent peu les besoins en PUISSANCE (CAPACITÉ) des moyens pilotables**

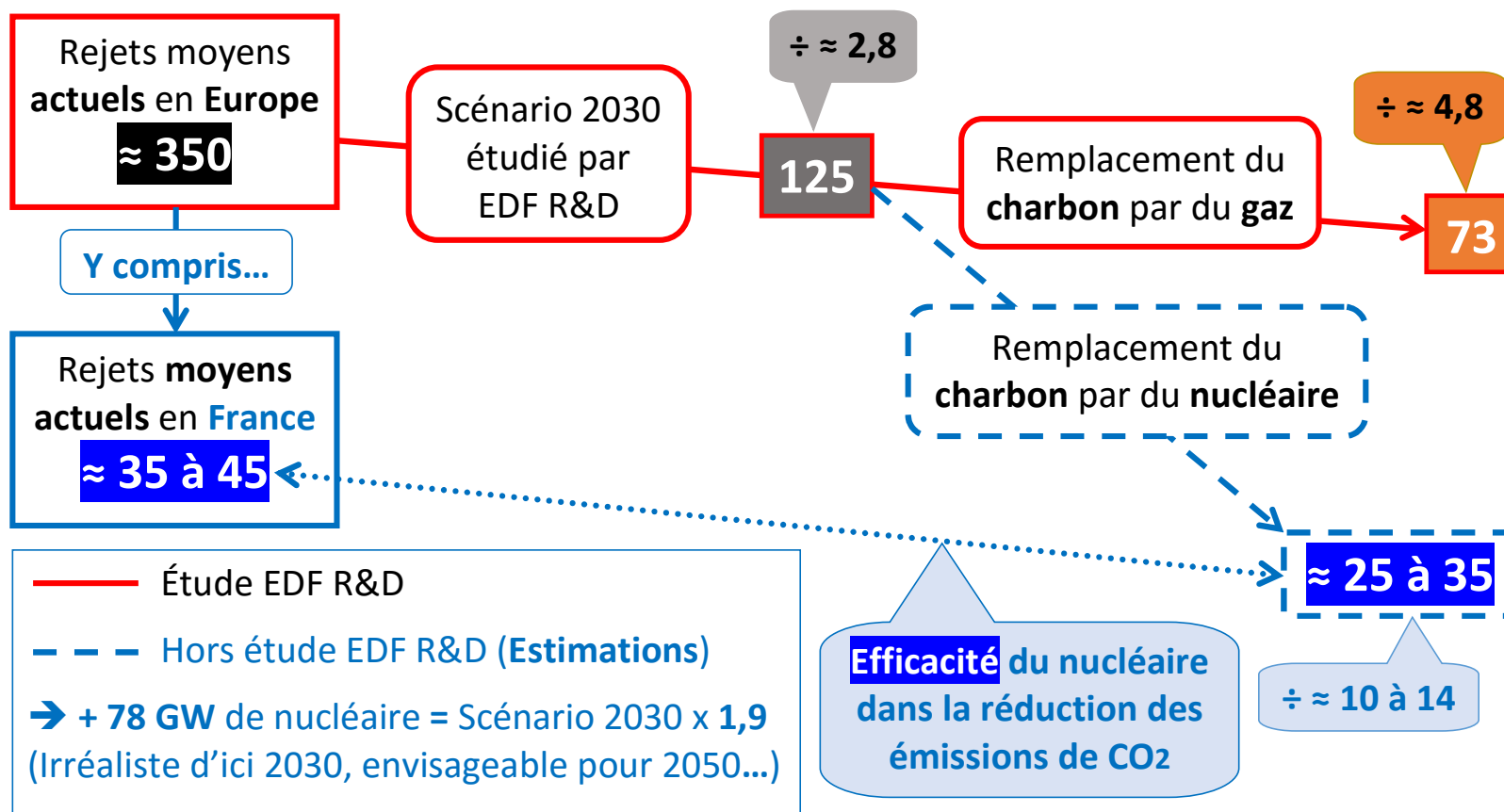
Puissance totale nécessaire en 2030  $\approx$  **1 200 GW** dont  $\approx$  **700 GW d'EnRi** ( $\approx$  60 % du total)



# 5 – Principaux enseignements de l'étude EDF R&D (Suite)

Un bilan carbone amélioré. MAIS INSUFFISAMMENT si le charbon subsiste dans le mix...

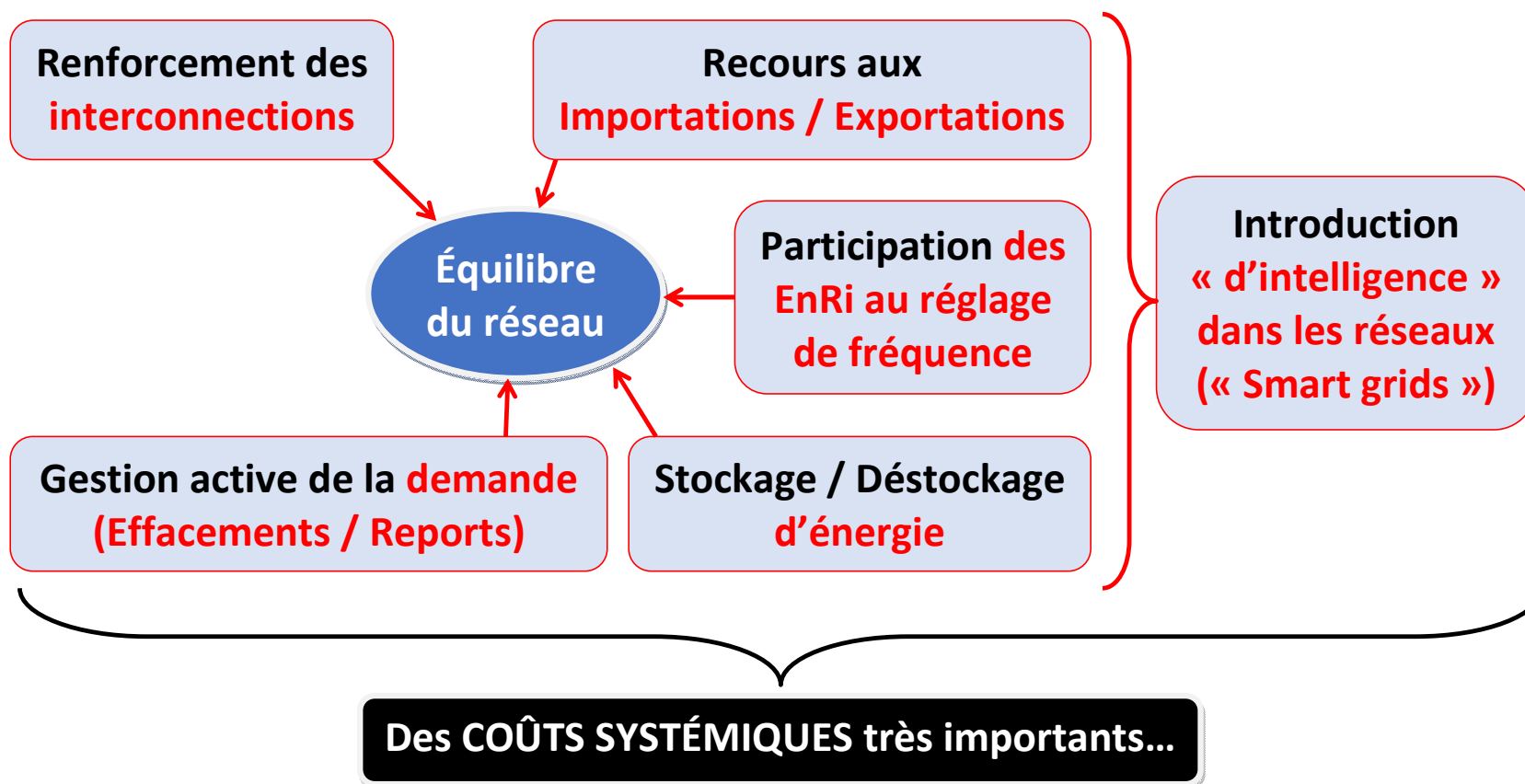
Objectif : **facteur 4 en 2050 + COP 21** – Rejets de CO<sub>2</sub> en g / kWh



## 5 – Principaux enseignements de l'étude EDF R&D (Suite)

Résumé de l'étude 40 % d'EnRi : POSSIBLE, MAIS sous conditions et réseau MOINS STABLE

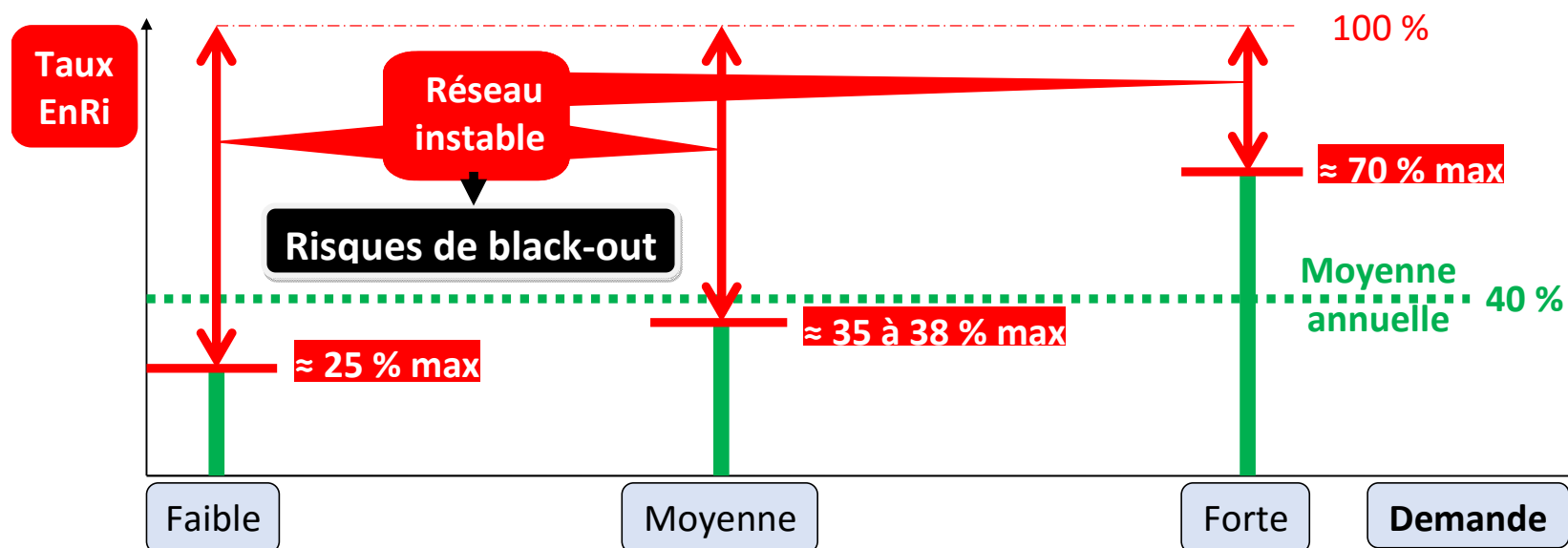
### 1) Des contributions INDISPENSABLES mais INSUFFISANTES :



## 5 – Principaux enseignements de l'étude EDF R&D (Suite et fin)

Résumé de l'étude 40 % d'EnRi : POSSIBLE, MAIS sous conditions et réseau MOINS STABLE

2) LIMITATION VOLONTAIRE du taux INSTANTANÉ d'intermittence pour garantir la STABILITÉ du réseau à certaines périodes :



→ Démarrage PRÉVENTIF de moyens pilotables pour stabiliser le réseau en « ZONE ROUGE »

→ STOCKAGE et/ou ÉCRÊTAGE des EnRi en surplus

Les contraintes d'équilibre des réseaux LIMITENT le taux d'insertion instantané des EnRi  
 → Moyenne de 80 % nécessaire pour atteindre 100 % de renouvelables : hors de portée...

# 6 – Les risques de black-out, leurs causes et conséquences

**Black-out (« écroulement ») : panne électrique généralisée à un réseau national ou régional**

\* **Causes** : écroulements de **fréquence**, de **tension** ou **déclenchements de lignes** en surcharge

\* **Prévention des black-out** : études approfondies de sûreté du système, mesures **préventives** et **correctives** : capacités **d’îlotage** des groupes de production, **plans de délestage partiels**, etc.

\* **Mais... insuffisante** : **plus de 15 black-out majeurs depuis 50 ans dans le monde**. Exemples :

Pays	France	USA / NY	Italie	Europe	Brésil	Inde
Mois/Année	12/1979	08/2003	09/2003	11/2006	11/2009	07/2012
Population impactée	> 55 M	> 50 M	≈ 56 M	≈ 15 M	> 87 M	> 670 M !
Délai de restauration	≈ 10 h	≈ 24 h	≈ 24 h	≈ 40 mn	≈ 6 h	> 30 h

\* **Des conséquences humaines et économiques majeures** : arrêt **généralisé** de **tout** ce qui fonctionne à l’électricité (sauf systèmes vitaux **secourus**)

→ Multiplication des risques **d’accidents** y compris **mortels**

→ Dégâts **matériels** + **pertes économiques** très élevées (RTE : ≈ 25 000 € / MWh non distribué -  
Ou encore : **> 10 Mds € en France** pour un black-out de 8 heures ouvrées, hors dégâts matériels)

\* **L’impact négatif de l’introduction des EnRi sur les risques de black-out et leur gestion** :

→ **Augmentent significativement les risques** (instabilité accrue des réseaux)

→ **Inutilisables dans les premières phases de restauration fonctionnelle des réseaux**

**MERCI DE VOTRE ATTENTION**