

ANALYSE TECHNIQUE ET ÉCONOMIQUE DU SYSTÈME ÉLECTRIQUE EUROPÉEN AVEC 60% ENR

Vera Silva

EDF R&D

Paris, 31 Mars 2017

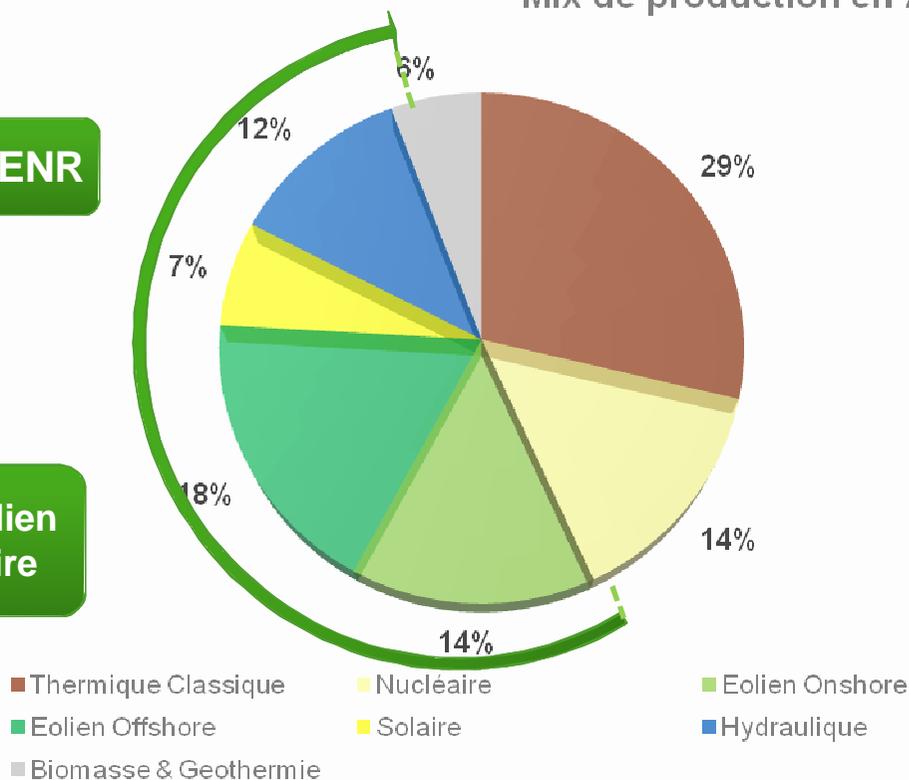


Simulation du scénario haut ENR 2030 de la feuille de route énergie de l'UE

Roadmap Energy UE
Mix de production en 2030

60 % ENR

40 % éolien
et solaire

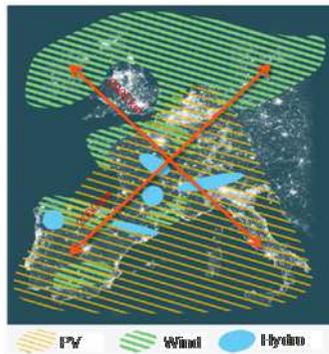


Haut ENR 2030	GW	Facteur de charge (heures/an)
Solaire (PV)	220	1100
Eolien terrestre	280	1900
Eolien Offshore	205	3200
Hydraulique	120	3800

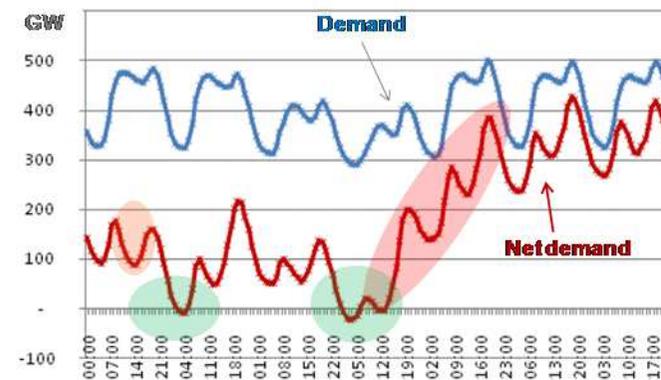
Combustible	Prix
Charbon	86 €/t
Gaz naturel	10 €/MMBtu
fioul	107 €/baril
CO ₂	35 €/t

Sur quoi porte l'étude ?

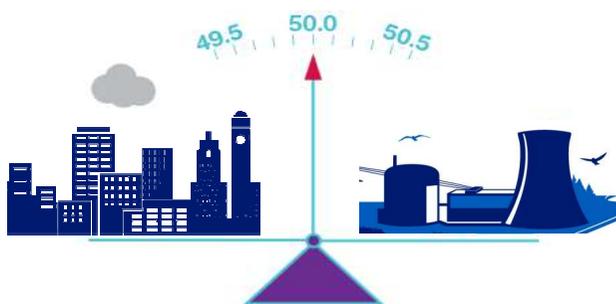
Connecter les ENR et la demande



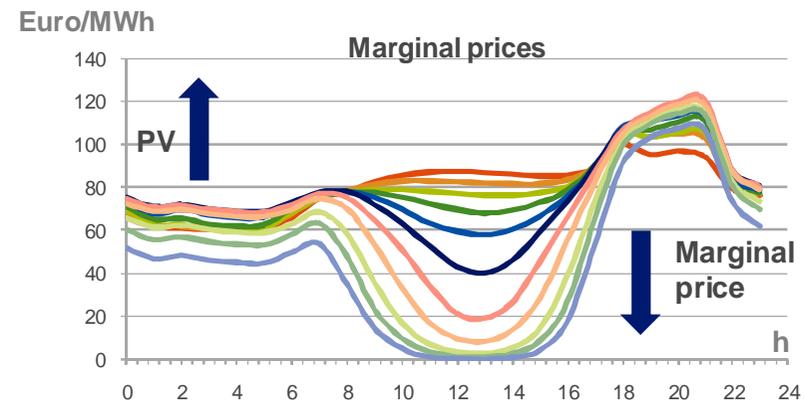
Flexibilité pour gérer la variabilité



Maintenir la lumière allumée



Equilibrer les coûts



La bonne nouvelle est ...



Il n'y a pas de marché émergent pour les bougies !

Ceci dit ...

Intégrer une large proportion d'ENR nécessite un développement coordonné des ENR et des réseaux

Le foisonnement géographique lisse l'intermittence de la production ENR, mais il demeure une forte variabilité de la production à l'échelle Européenne

Les ENR variable devront contribuer à aux services ancillaires en complément des moyens conventionnels.



Les ENR variables devront potentiellement fournir de nouveaux services de réglage de fréquence rapide (inertie synthétique)

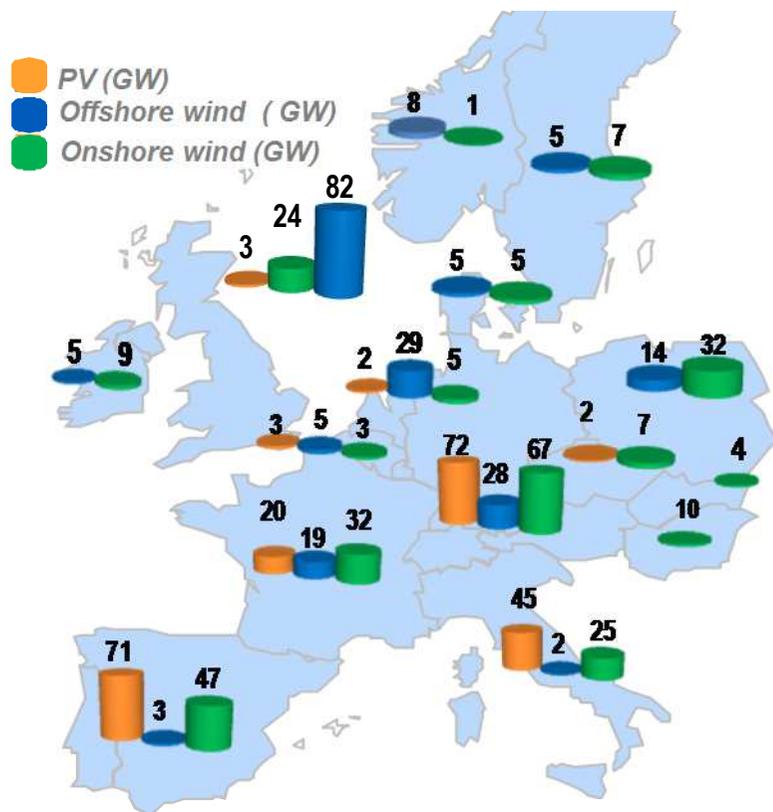
Le stockage et la demande active pourrons dans une certaine mesure contribuer à l'équilibrage du système en complément des moyens de production

Les centrales conventionnelles demeurent nécessaires pour la sécurité de fourniture tout en permettant un haut niveau de décarbonation

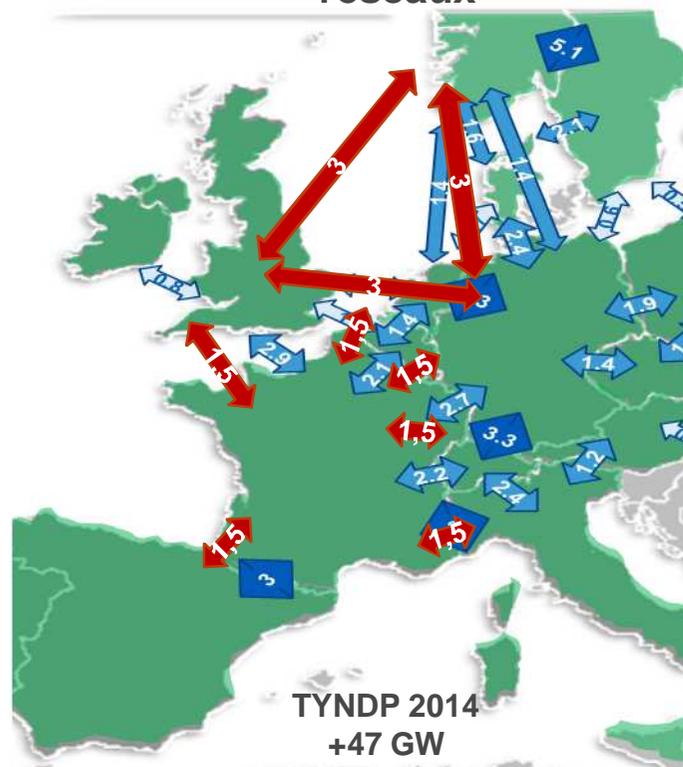
Le rythme de déploiement des ENR variables doit être optimisé afin de limiter le coût du stockage et un écrêtement excessif de la production ENR

Intégrer une large proportion d'ENR variables requiert un développement coordonné des ENR et des réseaux

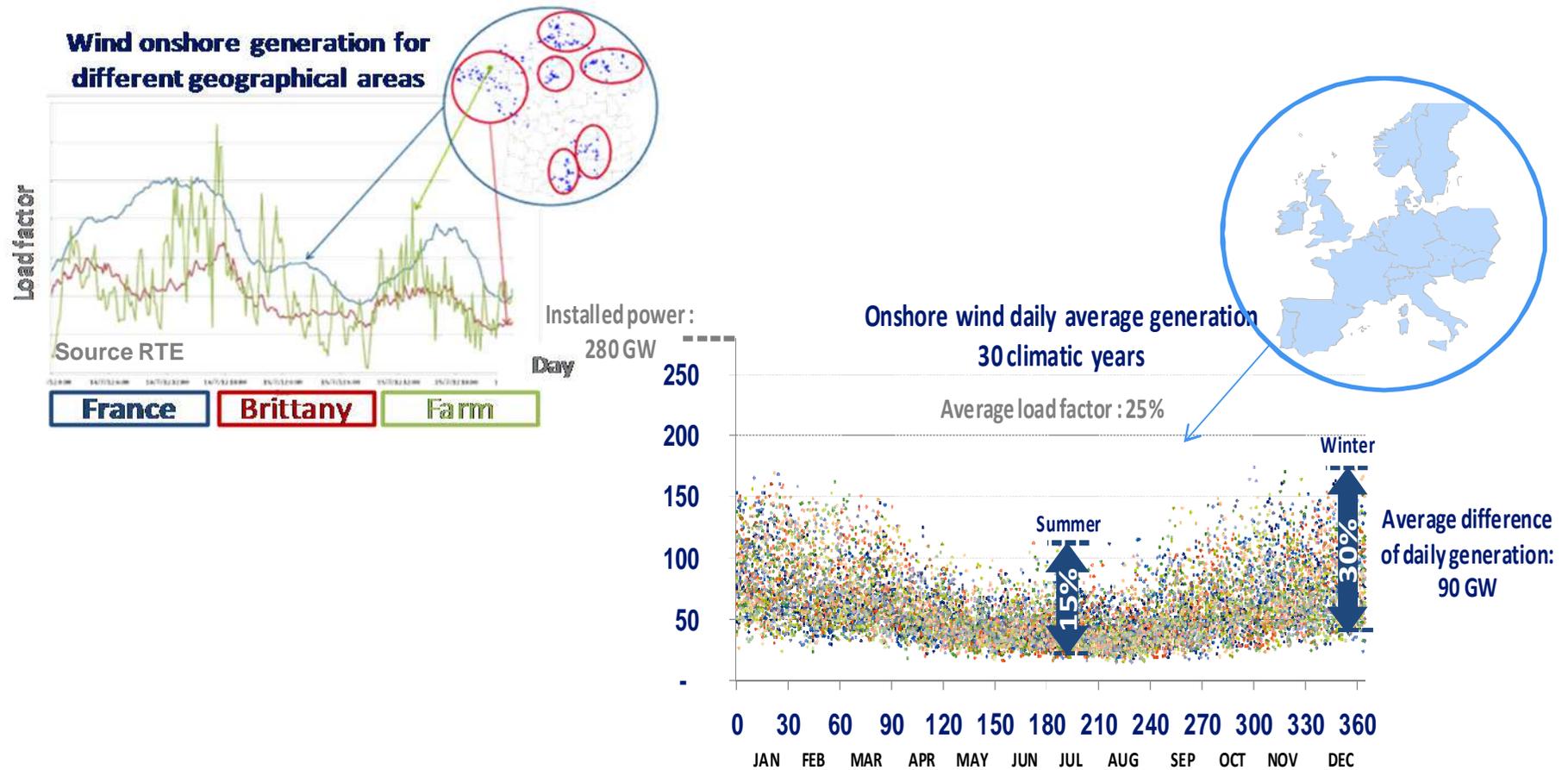
Répartition géographique des ENR



Scénario de développement des réseaux

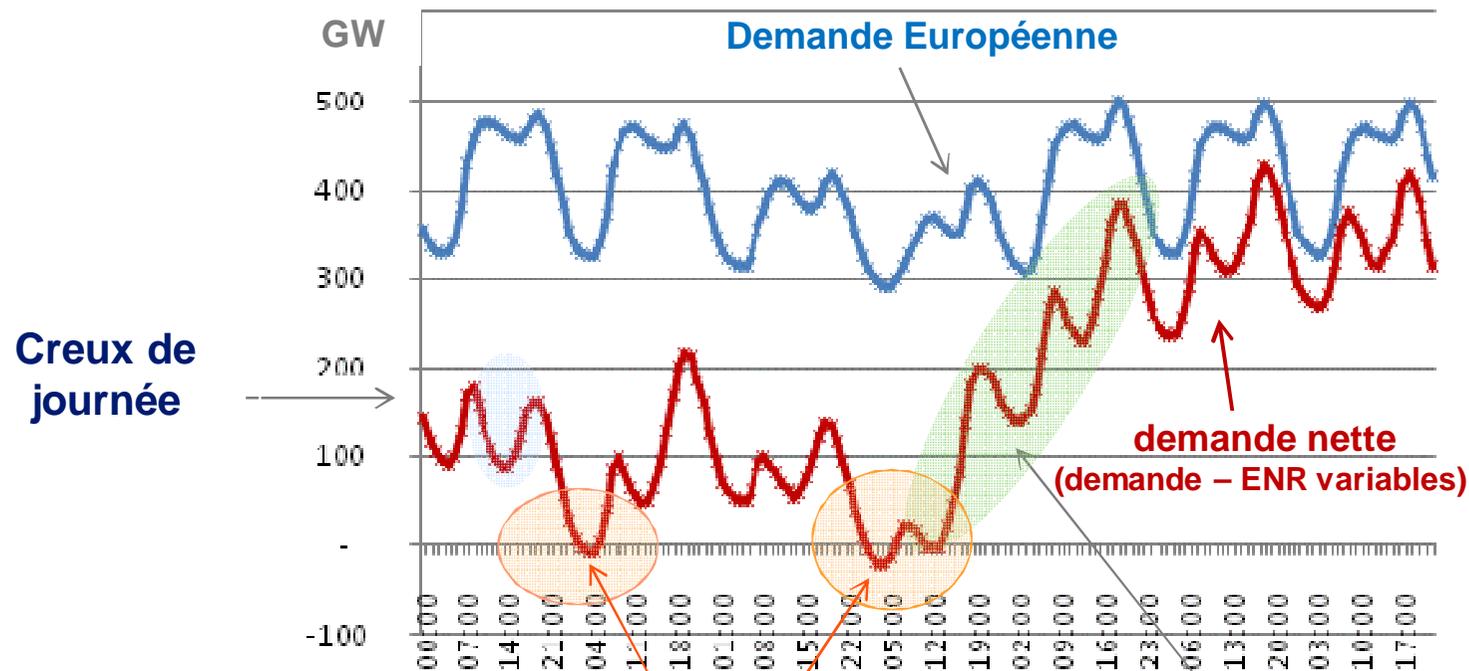


La diversité géographique est favorable, mais il demeure une forte variabilité de la production éolienne à l'échelle européenne



Les réseaux permettent de bénéficier du foisonnement géographique naturel de la production ENR variable pour lisser l'intermittence, mais la corrélation des régimes de vent au niveau européen se traduit par une forte variabilité résiduelle

Les ENR variables devront contribuer aux services système et à l'équilibre offre-demande au côté des moyens conventionnels

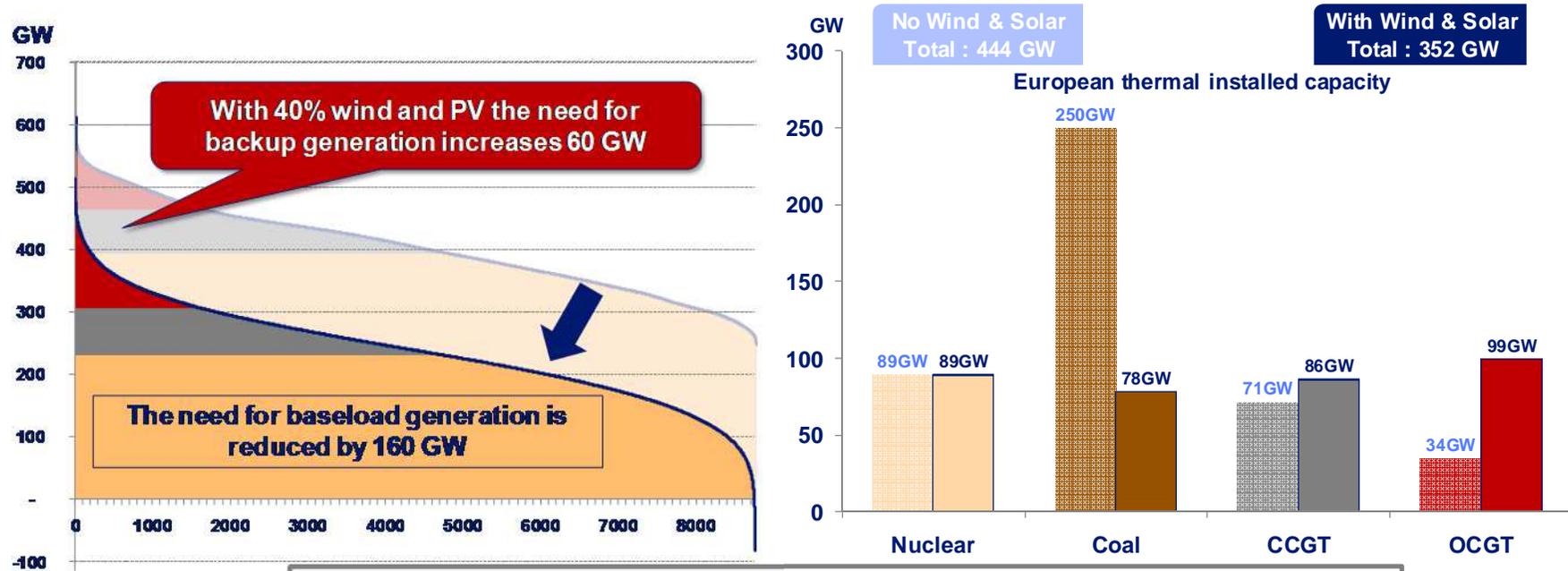


Penetration ENR fatale > 100 %

Les ENR variables doivent contribuer à l'ajustement à la baisse et aux services auxiliaires

400 GW de rampe entre Dimanche et Lundi

Le système a besoin de capacités de back-up pour la sécurité de la fourniture

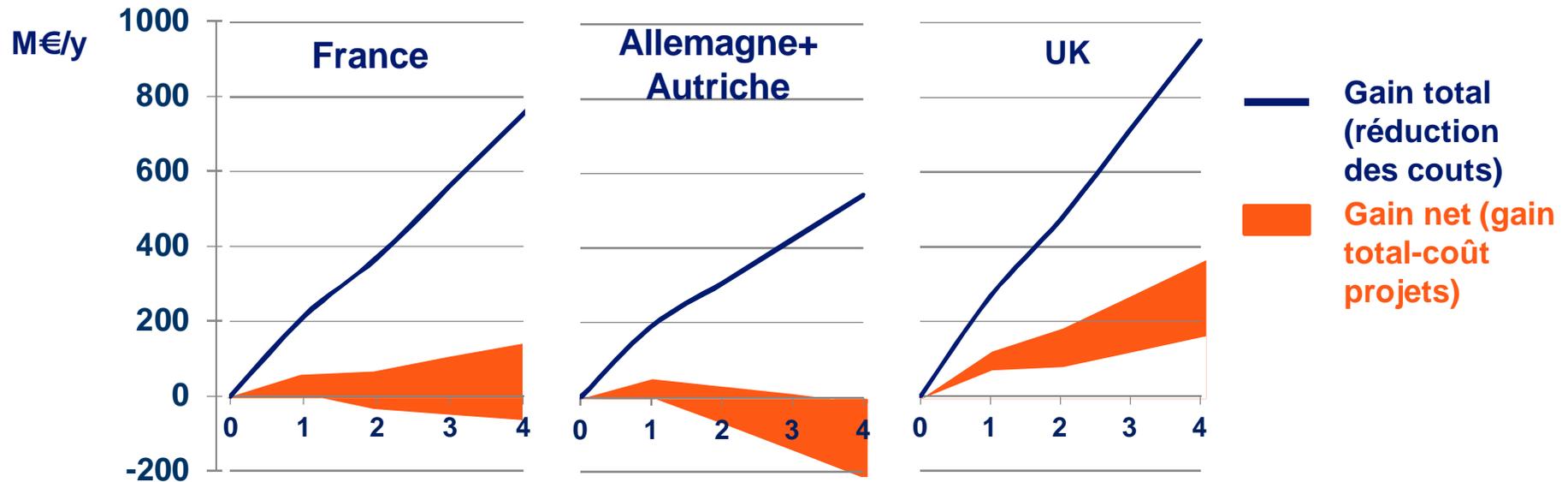


Contenu CO₂ moyen avec 60% ENR = 125 g CO₂ /kWh
 Contenu CO₂ moyen en substituant du gaz au charbon = 73 g CO₂ /kWh
 (Contenu CO₂ moyen actuel = 350 g CO₂/kWh)

Un haut niveau de décarbonation est atteint avec une proportion significative de production en base décarbonée, en particulier nucléaire

Le stockage et la demande active peuvent dans une certaine mesure suppléer la production pour l'équilibrage du système

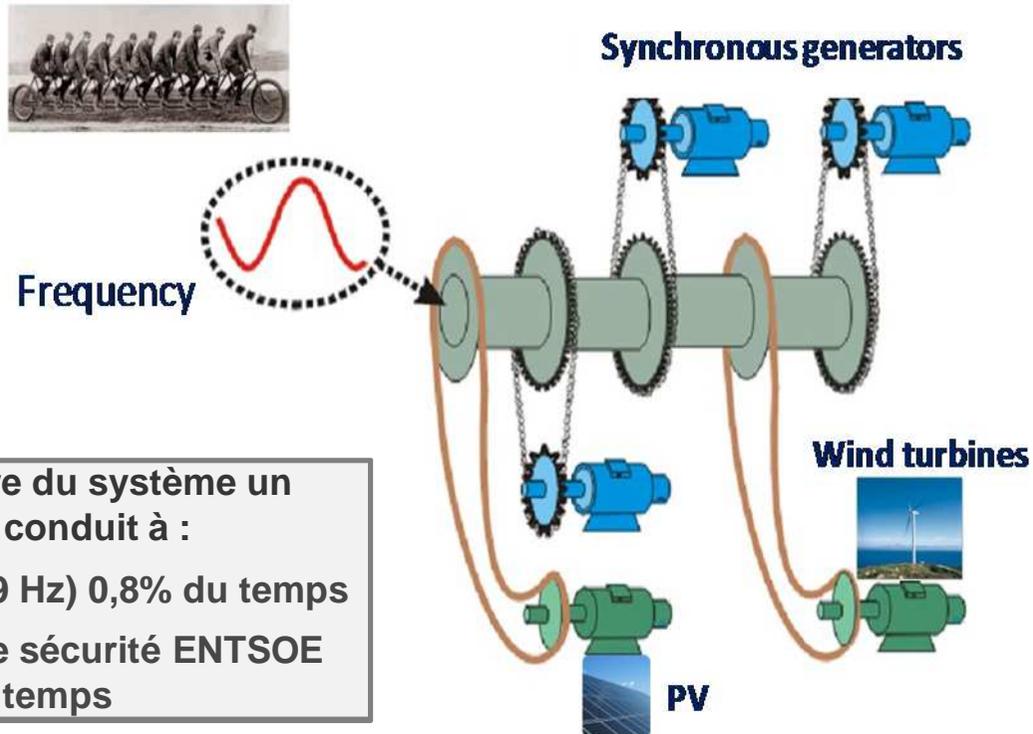
Gain total et gain net (intervalle qui varie en fonction du coût du stockage) pour des nouvelles installations



Bénéfice net pour du nouveau stockage (GW)- *stockage hebdo (40 h)*

Le stockage et la demande flexible contribuent aux besoins de flexibilité nécessaire à l'équilibre offre-demande du système, mais ne peuvent se substituer aux moyens de production pour la fourniture du back-up

Les ENR variables devront potentiellement fournir de nouveaux services de réglage de fréquence rapide



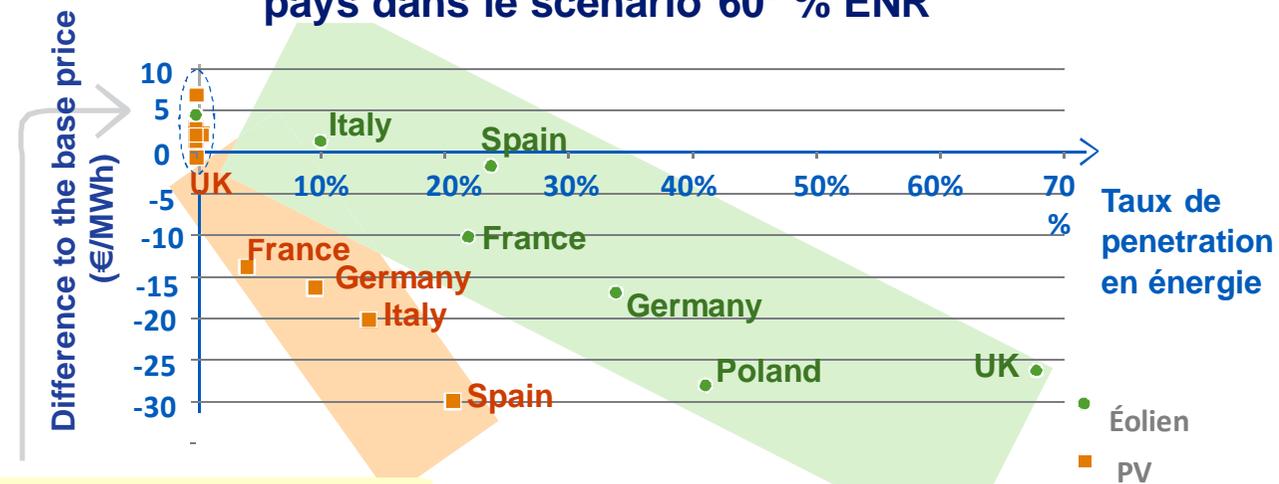
Du fait d'une inertie moindre du système un incident de référence conduit à :

- Un risque de délestage ($f < 49$ Hz) 0,8% du temps
- Une violation des limites de sécurité ENTSOE (49,2 Hz) 25% du temps

L'écèlement préventif des ENR, afin d'éviter des problèmes de stabilité pendant des périodes critiques, ne peut être limité que si les ENR variables ont la capacité technique de fournir un service de réglage de fréquence rapide (inertie synthétique)

Le rythme de déploiement des ENR variables doit être optimisé afin de limiter le coût du stockage et un écrêtement excessif de la production ENR

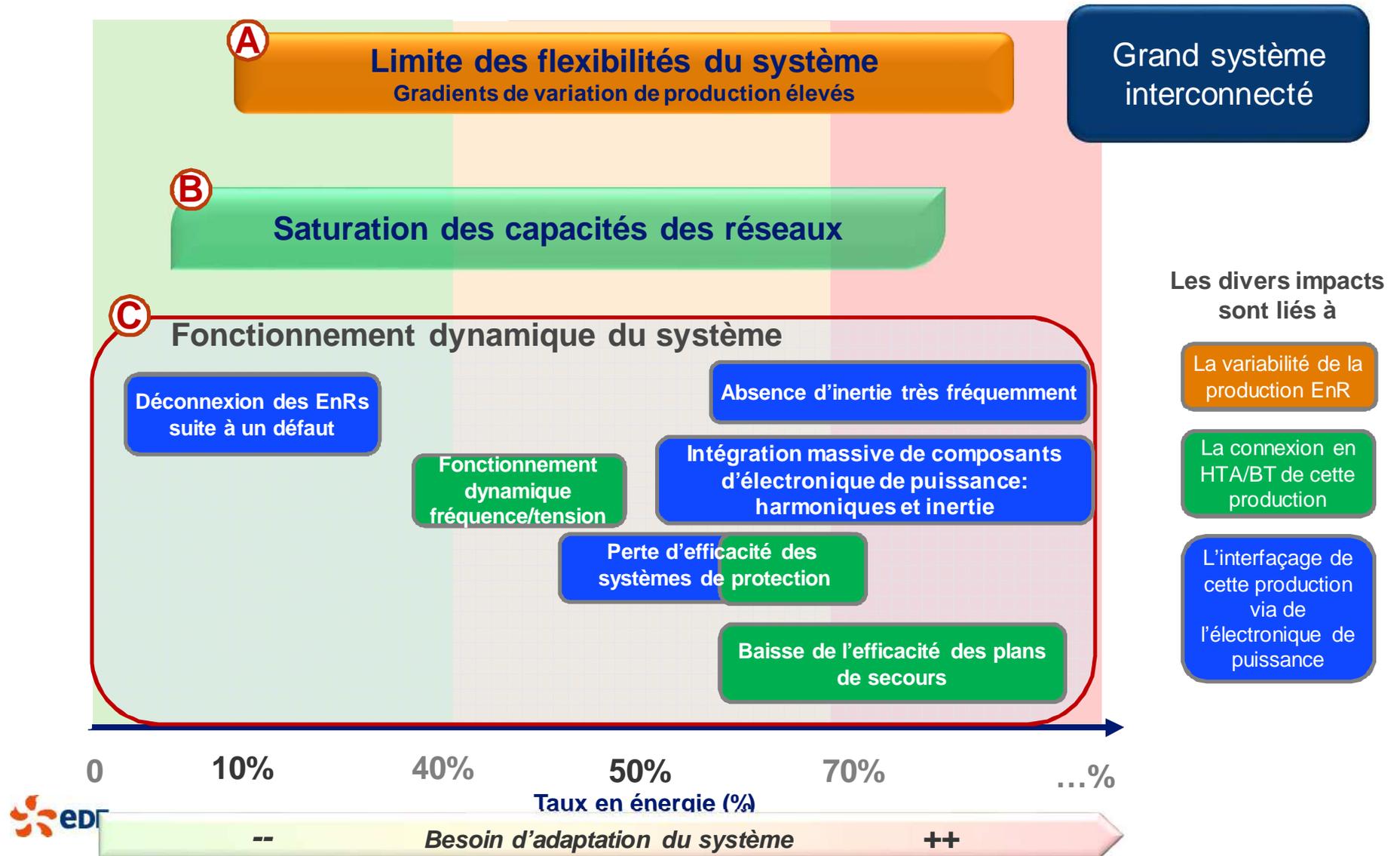
Valeur de marché des ENR comparée au prix du ruban par pays dans le scénario 60° % ENR



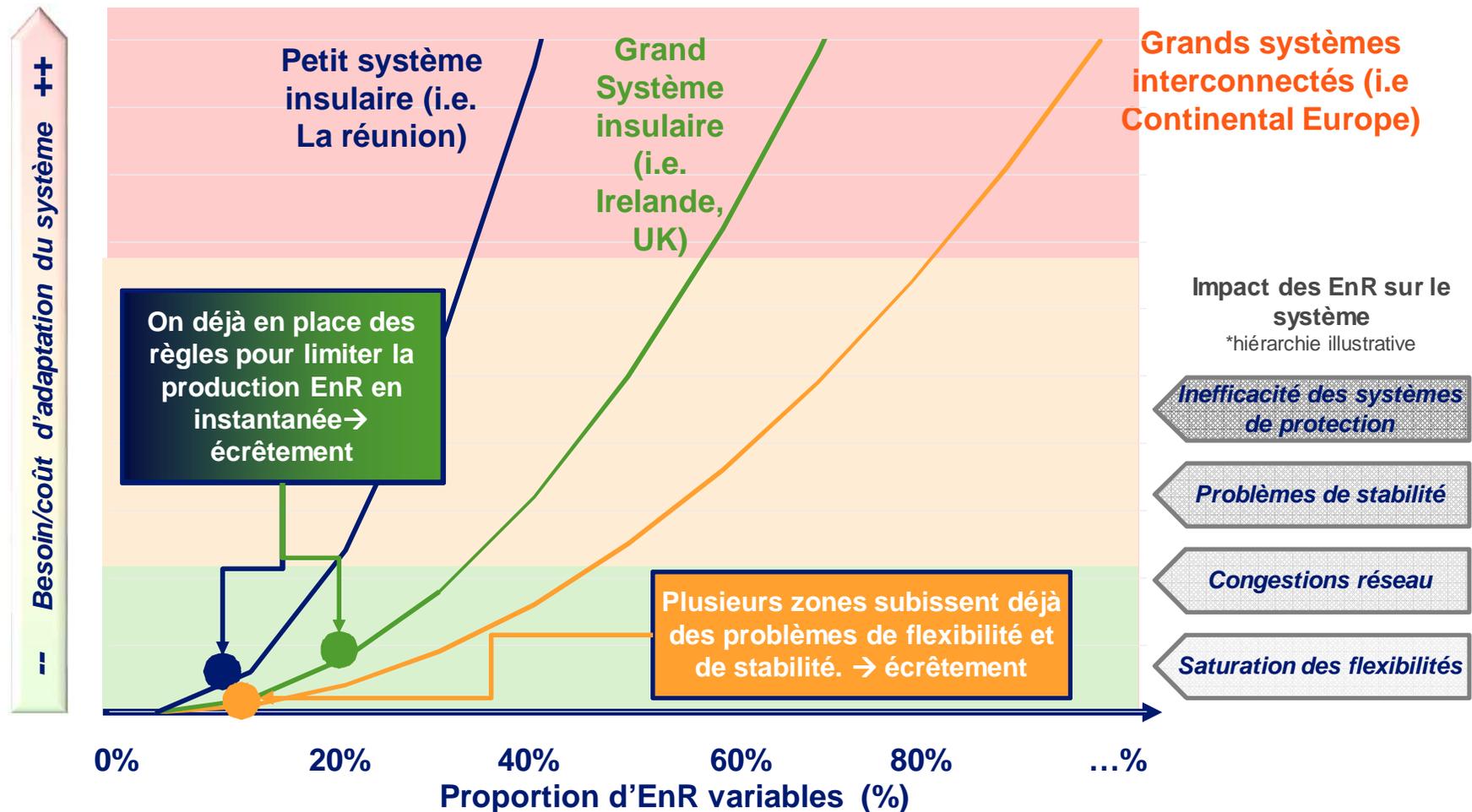
Avec ~0% ENR, le premier MW ENR a une valeur proche du prix du ruban

La valeur de marché des ENR variables décroît avec leur niveau de pénétration dans le système, le phénomène est plus prononcé pour le PV

Les systèmes peuvent rencontrer des limites d'insertion EnR et la capacité à les dépasser dépendent des échéances



Le rythme de développement des EnR devra être maîtrisé afin de limiter l'écèlement et assurer un trajectoire acceptable d'évolution des couts système



La complexité des solutions et le coût d'adaptation des systèmes dépend du type de système. Le besoin d'adaptation et la complexité des solutions est plus important dans les petits systèmes

Merci de votre attention ! Pour aller plus loin...

Report : V. Silva, A. Burtin, Technical and Economic Analysis of the European System with 60% RES, EDF Technical Report, June 2015. (in English and in French) - Available from

<https://www.edf.fr/sites/default/files/Lot%203/CHERCHEURS/Portrait%20de%20chercheurs/summarystudyres.pdf>

Publications

1. Langrene, N., van Ackooij, W., Breant, F., "Dynamic Constraints for Aggregated Units: Formulation and Application », *Power Systems, IEEE Transactions on* , vol.26, no.3, Aug. 2011
2. M. Lopez-Botet, et all, 'Methodology for the economic and technical analysis of the European power system with a large share of variable renewable generation', presented at **IEEE PES General Meeting**, Washington, USA, 27-31 July, 2014.
3. Y. Wang, V. Silva, A. Winkels, 'Impact of high penetration of wind and PV generation on frequency dynamics in the continental Europe interconnected system', 13th International Workshop on Large-scale Integration of Wind Power into Power Systems, Berlin, October 2014, (**Best paper award**).
4. Marie Perrot, Vera Silva, Timothee Hinchliffe, Paul Fourment, Miguel Lopez-Botet Zulueta, **Economic and technical analysis of the European system with high RES scenarios**, 10th Conference on **The Economics of Energy and Climate Change**, September 2015, Toulouse
5. T Ackermann, EM Carlini, B Ernst, F Groome, A Orths, J O'Sullivan, Vera Silva, **Integrating variable renewables in Europe**, *IEEE Power and Energy Magazine* 13 (6), 67-77, November/December issue, 2015.
6. Y. Wang, V. Silva, M. Lopez-Botet Zulueta, **Impact of high penetration of variable renewable generation on frequency dynamics in the continental Europe interconnected system**, *IET Renewable Power Generation*, [Volume 10, Issue 1](#), January 2016, p. 10 – 16
7. Vera Silva, Miguel Lopez-Botet Zulueta, Paul Fourment, Timothee Hinchliffe, Alain Burtin, Analyse technico-économique d'un système électrique européen avec 60% d'énergies renouvelables, **Revue de l'Electricité et de l'Electronique**, Décembre 2016 (upcoming)
8. Prime, V. Silva, M. Lopez-Botet Zulueta, Integration of flexibility assessment to generation planning of large interconnected systems, *IEEE Transactions on Power Systems* (to be submitted)

Prix et distinctions

UVIG– Annual achievement award 2016



**EDF R&D Innovation awards 2015 –
Scientific award**

Présentations notables

COP 21, Paris 2015

« OPEST/French parlement », Mai 2016

EEF/ European Parlement, Septembre 2016