



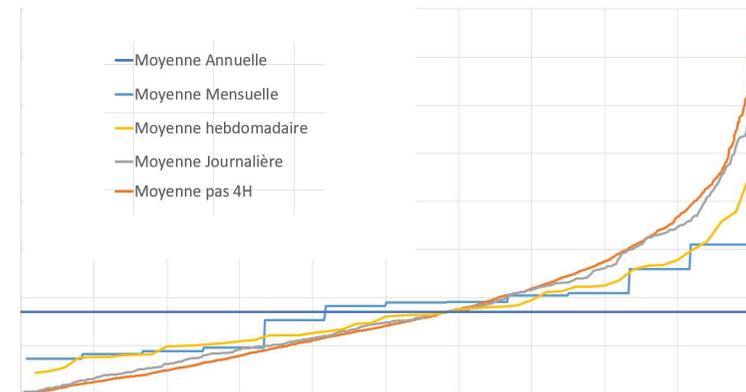
Chaire MPDD

**Un réseau 100% ENR
volet stabilité**

Réunion du 25 mars 2021

L'insertion des ENR, leur fonctionnement et leur impact sur la stabilité

- On fera ici le focus sur l'éolien et le photovoltaïque
- En effet, le raccordement de ces productions au réseau est réalisé par un onduleur, contrairement à la production classique qui utilise une machine synchrone. L'onduleur est un appareil numérique, qui n'a pas de comportement naturel et ne fait que suivre des contrôles
- Les questions se posent avant même d'arriver à un mix 100% EnR (en énergie annuelle) : la variabilité de ces sources de production nous amène à nous poser la question d'un fonctionnement instantané avec 100% d'ENR (sur certaines heures de l'année), même si d'autres sources de production sont disponibles sur le réseau
- On ne regarde que la stabilité, pas l'équilibrage.

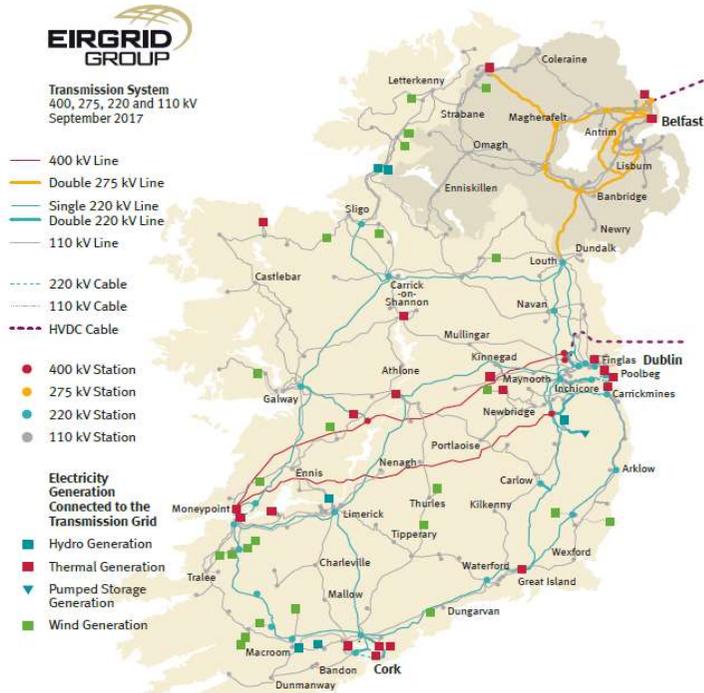


Chronique annuelle de puissance moyenne des parcs éoliens français, avec des moyennes sur différentes durées de fenêtre.

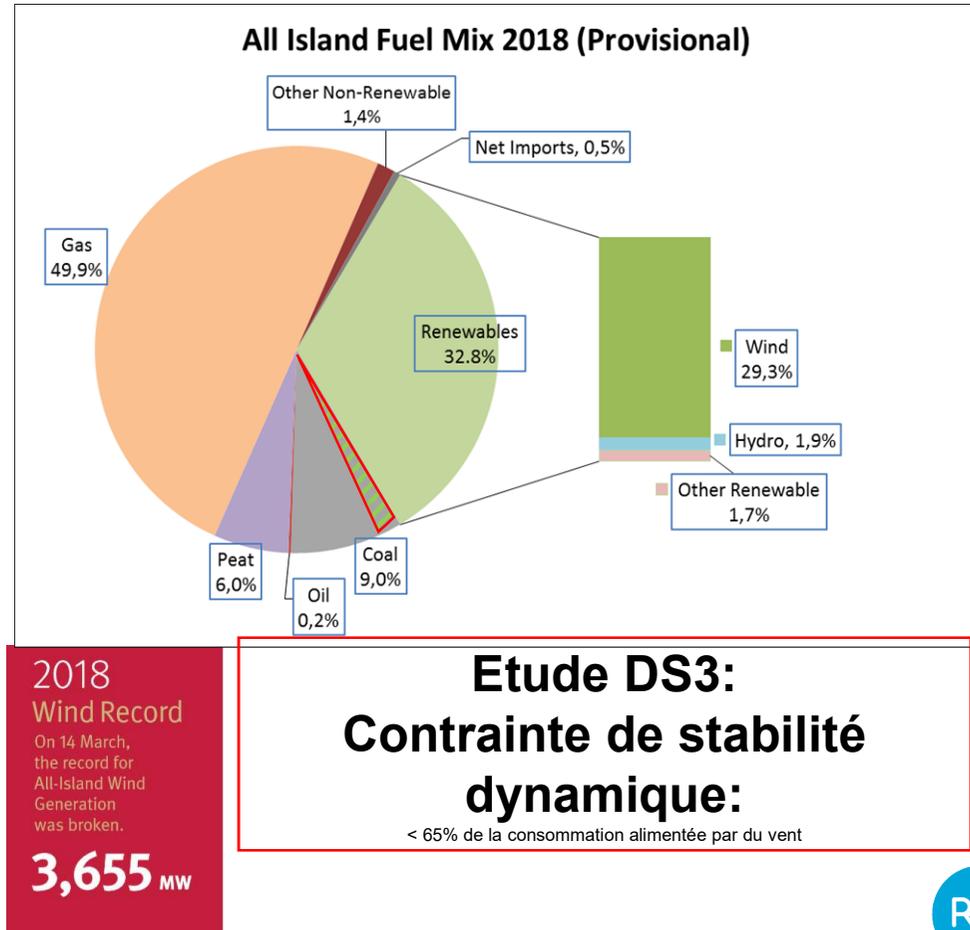
L'insertion des ENR, leur fonctionnement et leur impact

- **Les contrôles des onduleurs aujourd'hui :**
 - « Grid following », ils se synchronisent sur le réseau afin de produire la puissance active et réactive souhaitée (en fonction de la ressource primaire)
 - En fonction du niveau de raccordement et des exigences, peuvent « aider » le réseau via la fourniture de certains services système (tension)
 - Les codes européens exigent de certains nouveaux groupes de savoir faire des services système fréquence
- **Ces groupes ne fournissent pas naturellement d'inertie au réseau. Moins d'inertie cela signifie plus de mouvement (de la fréquence) et les GRT s'inquiètent aujourd'hui de la variabilité des grandeurs électriques qui en résulte.**

Irlande en 2018

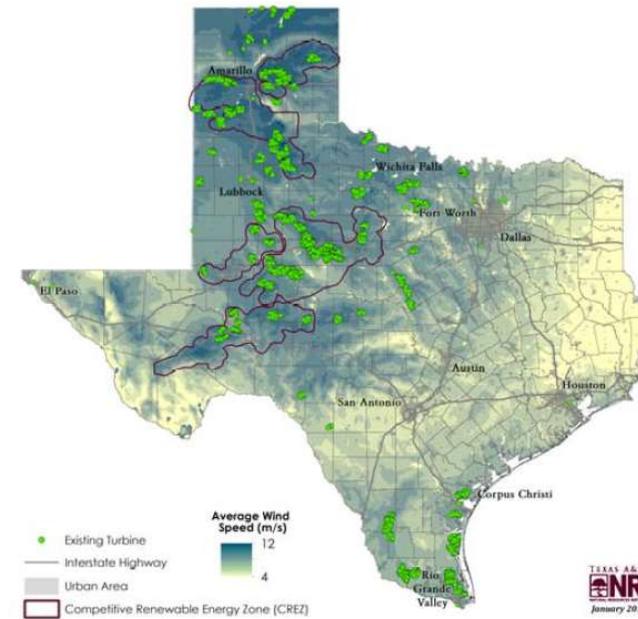
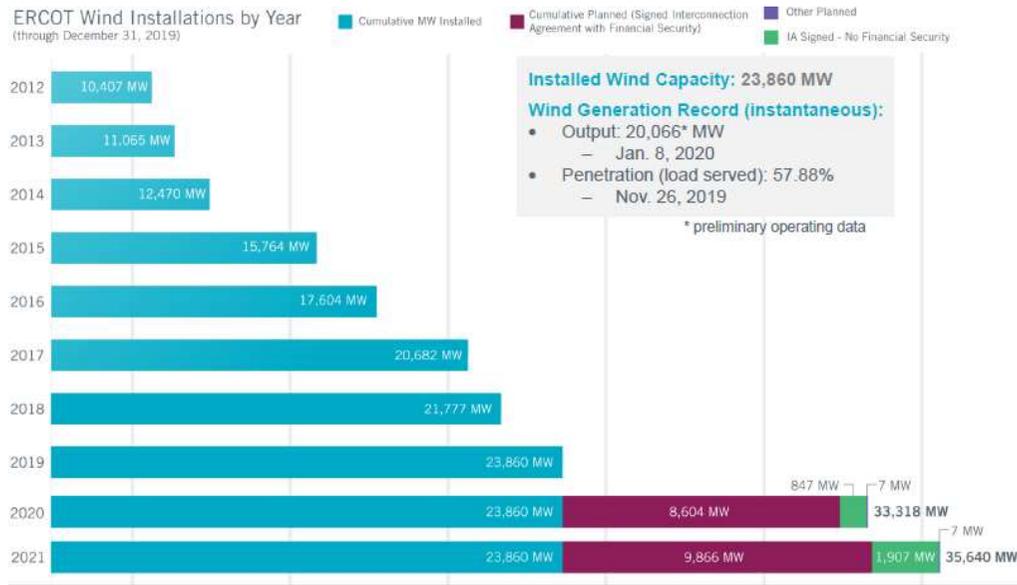


5 % de la production éolienne disponible non-utilisée

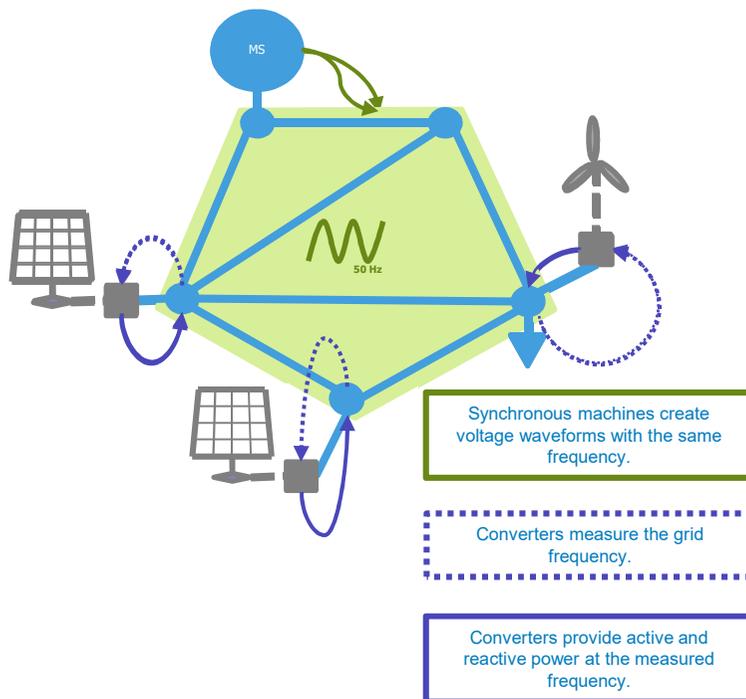


Texas en 2018

- Consommation max : 75 GW, le système n'est interconnecté qu'avec des HVDC, et possède 24GW d'éolien
- Des problèmes liés à la diminution d'inertie, mais aussi à la localisation concentrée des éoliennes qui génère des oscillations
 - Instauration d'une inertie minimum
 - Installation de 2 compensateurs synchrones (175MVA) dans la zone de Panhandle



Quelles difficultés avec l'insertion d'énergies renouvelables ?



- L'inertie n'est pas le vrai problème
- Il faut regarder ce qu'il se passe lorsqu'il y a 100% d'ENR ?

→ L'objectif est d'avoir un système électrique « stable » à un coût limité

Pour arriver à 100% EnR, des solutions spécifiques à trouver

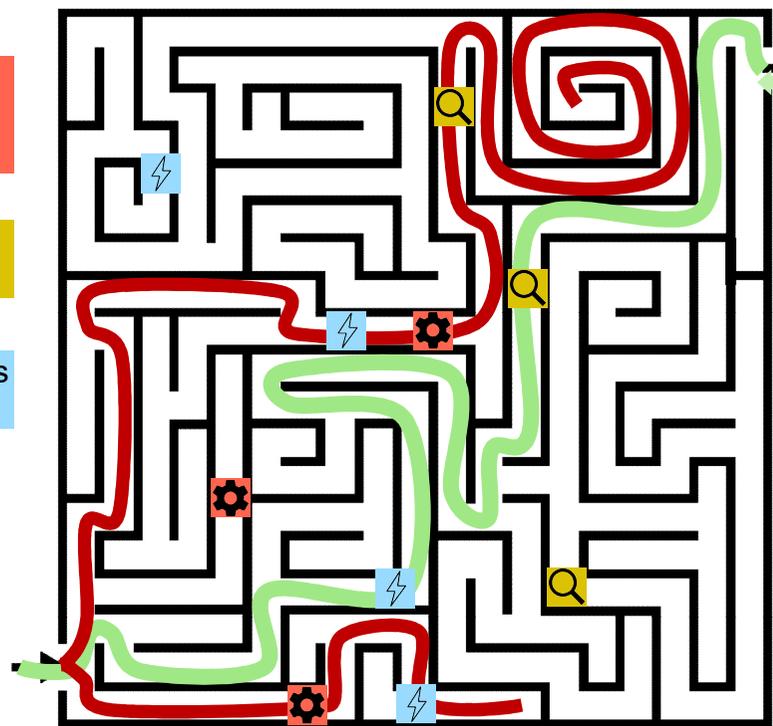
Taux de pénétration EnR

« Patcher » les contrôles des onduleurs existant, SSY, Inertie virtuelle

Augmenter la visibilité temps-réel du réseau

Adapter la détection de défauts sur le réseau

30% EnR



100% EnR

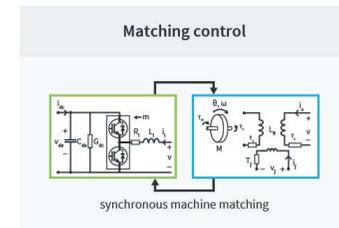
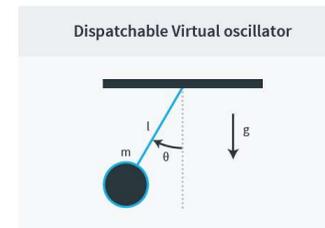
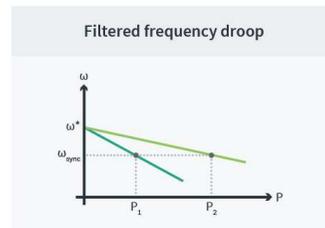
Implanter dans les onduleurs un contrôle Grid-forming



Définition du grid-forming pour les onduleurs

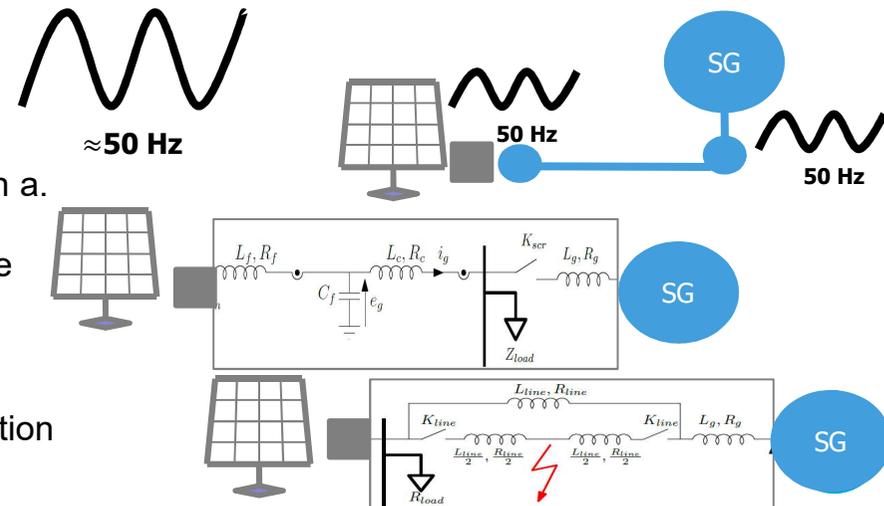
I. ANALYSE

- Liste des besoins fondamentaux du réseau
- Trois contrôles d'onduleurs théoriques, développés indépendamment, nécessaires pour répondre aux besoins

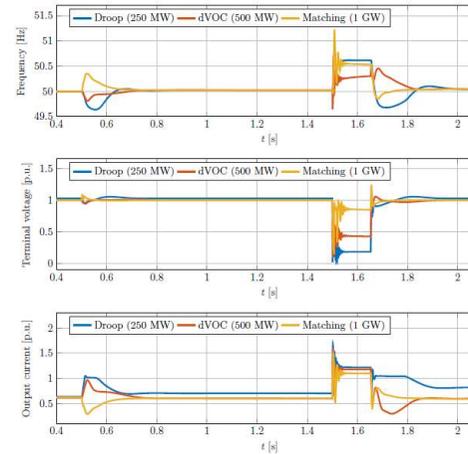
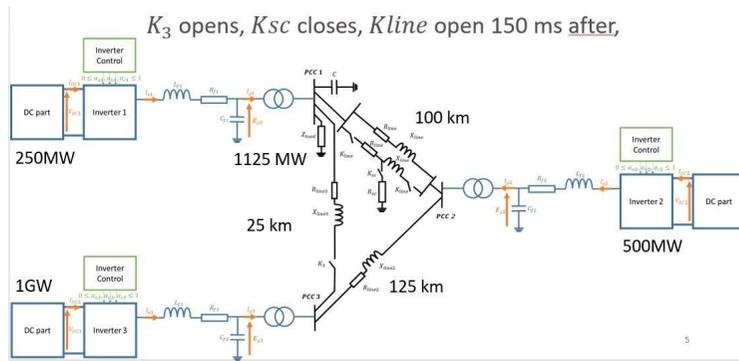


Le GRID FORMING

- Se comporter comme une source de tension à fréquence proche du nominal : apporter une « rigidité » à la tension
- Se synchroniser avec les autres sources de tension s'il y en a.
- Être capable de tenir en réseau séparé (pendant une courte période)
- Si le moyen de production a une capacité de courant maximum « faible », alors il doit avoir une solution de limitation spécifique.



Définition du grid-forming pour les onduleurs



II. SYNTHÈSE

- Vérification de la suffisance des contrôles pour l'interopérabilité
- Amélioration de la stabilité des machines synchrones restantes
- Compatibilité avec stratégie de limitation du courant des onduleurs
- Similarité en petits mouvement de tous les contrôles quantifiable par les mesures côté réseau.

Slide additionnel // Compatibilité avec les MS

– Grid-forming VSC support low-inertia system

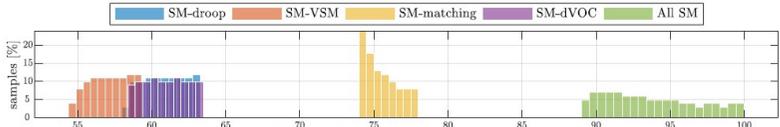


Fig. 4: Normalized distribution of the RoCoF $|\dot{\omega}_i|/|\Delta p_i|$ of the synchronous machine frequency at node 1 for load disturbances Δp_i ranging from 0.2 p.u. to 0.9 p.u. at node 7.

ROCOF at SG output

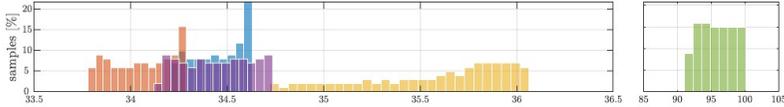


Fig. 5: Normalized distribution of the nadir $\|\Delta\omega_i\|_{\infty}/|\Delta p_i|$ of the synchronous machine frequency at node 1 for load disturbances Δp_i ranging from 0.2 p.u. to 0.9 p.u. at node 7.

NADIR at SG output

CAUSE : GF synchronize faster avoiding SG to swing

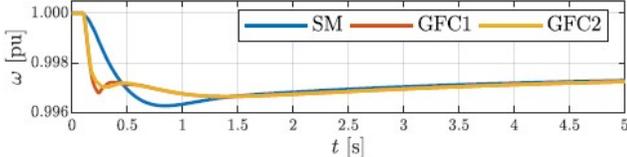
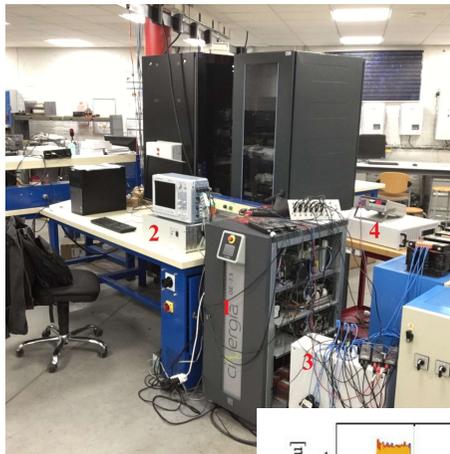


Fig. 6: Frequency of the system with two VSMs after a 0.75 pu

[Tayyebi, 2019] *Interactions of Grid-Forming Power Converters and Synchronous Machines – A Comparative Study*, under review

Des tests en simulation, en laboratoire, et bientôt sur le réseau



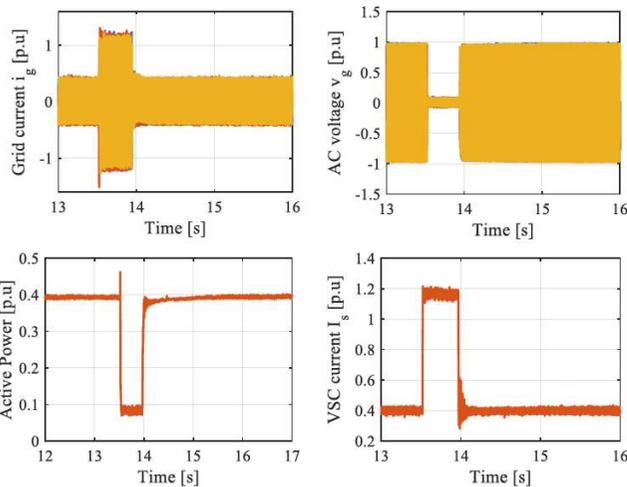
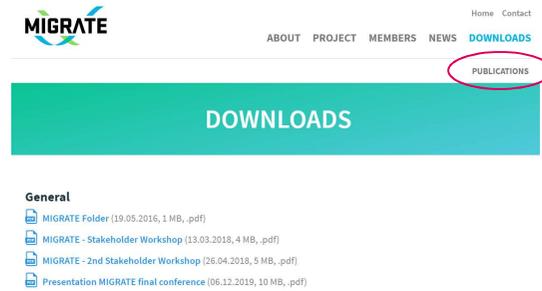
- 1- 2-Level voltage source converter
- 2- Controller dSPACE 1005
- 3- Transformer
- 4- DC supply
- 5- PCU-3X5000-BC amplifier



Tous les livrables de MIGRATE sont disponibles ici:

<https://www.h2020-migrate.eu/downloads.html>

Et les articles ainsi que certains modèles de simulations dans la section publications



OSMOSE

www.osmose-h2020.eu

EPFL
Ingeteam



Des capacités grid forming démontrées par « morceaux »

	Laboratoire	Micro réseau	Eolien offshore	Onduleur de secours
Source de tension	O	O	O	O
Contrôle distribué	O	O	N	O/N
Taille multi MW	N	N	O	N
Robustesse aux événements réseaux	O	N	N	N
Connexion permanente au réseau	O	N	N	N

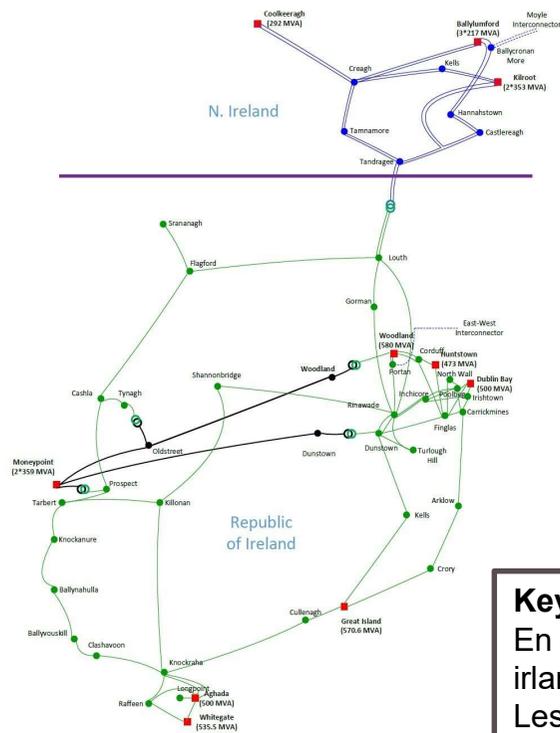
Les compensateurs synchrones

- **Un compensateur synchrone est une machine électrique qui ne comporte pas de turbine**
- Il permet d'apporter au système un comportement similaire à celui dicté par les alternateurs synchrones de centrales actuelles. (inertie / réglage de tension)
- L'inertie apportée peut être choisie en fonction du design du matériel
- C'est une technologie mature, mais avec un niveau de pertes plus important, et un changement dans la nature des composants opérés par RTE (machine tournante)



Quel besoin en grid forming

Assessing the findings on a real case benchmark



Stability assessment for 100 ms, 3-phase faults for various distributed grid-forming / grid-following configuration

Ireland (GF %)	Ballylumf (near converter) North	Tamnam (far) North	Inchicore (near converter) Dublin	Shannonb (far) Dublin	Aghada (near converter) South	Ballyvoul (far) South
31.0	LG	LG	LG	LG	G	G
30.1	LG	LG	LG	LG	G	G
29.5	R	LG	LG	LG	G	G
28.9	R	R	R	LG	G	G
29.9	R	R	R	LG	G	G
28.8	R	R	R	LG	G	G
27.9	R	R	R	R	G	LG
26.3	R	R	R	R	R	R

Key finding :

En plaçant les onduleurs grid forming de manière optimale, la stabilité du système irlandais est assurée avec **30% d'onduleurs GFM**

Les derniers travaux montrent qu'avec des onduleurs GFL qui fournissent des **services systèmes**, la part d'onduleur **GFM** peut baisser à **20%**.

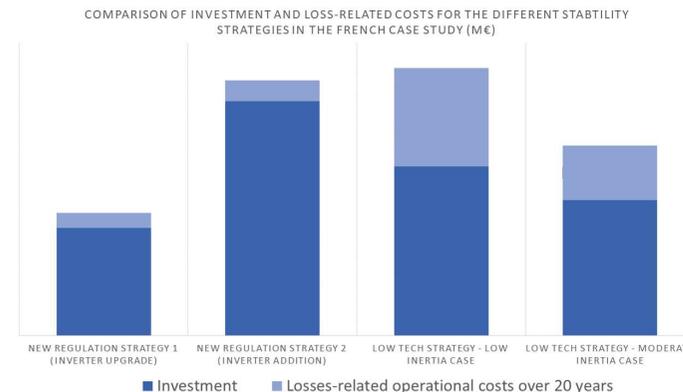
Synthèse : les différentes solutions envisageables

- ① Conserver une part de production classique dans le mix de production
- ② Améliorer le contrôle des onduleurs *grid-following*, avec des contrôles du type inertie virtuelle
- ③ Installer des compensateurs synchrones
- ④ Avoir une partie des convertisseurs qui soient *grid-forming*.

Solutions qui permettent d'atteindre 100% de production ENR à base de convertisseurs

→ « La » solution résidera probablement dans un mix de ces solutions

La comparaison des coûts en matériel et pertes montre à ce stade que les ordres de grandeurs sont similaires entre l'utilisation de *grid forming* ou de compensateurs synchrones à l'horizon 2035 (analyses à prolonger)



Conclusions

RTE se prépare à assurer le fonctionnement du réseau quelque soit le mix énergétique

- Dans un mix 100% ENR, la stabilité devrait pouvoir être assurée
 - sous réserve d'installer des compensateurs synchrones
 - ou d'avoir une partie des onduleurs qui se comportent en *grid-forming*.
- Conserver une part de machines tournantes dans le mix énergétique permettrait aussi d'assurer la stabilité, mais pourrait limiter la pénétration des EnR
- Le déploiement de solutions spécifiques pour assurer la stabilité doit être anticipé avant même d'arriver sur des taux très importants d'EnR
- Dans la phase transitoire, la présence d'onduleurs *grid-forming* aura un effet stabilisant sur les machines synchrones encore présentes.