



Les défis des réseaux Electriques

Printemps de la Physique

Hubert DE LA GRANDIERE

Mars 2023



Agenda

■ Contexte de la transition énergétique – Quelques considérations

■ En France

■ En Europe

■ Les évolutions du réseau électrique pour accompagner la transition

■ Les systèmes Multi-terminaux et leurs enjeux

■ Le local vs le global ?

Plus de sources d'électricité renouvelable ?

⇒ Plus de reseaux



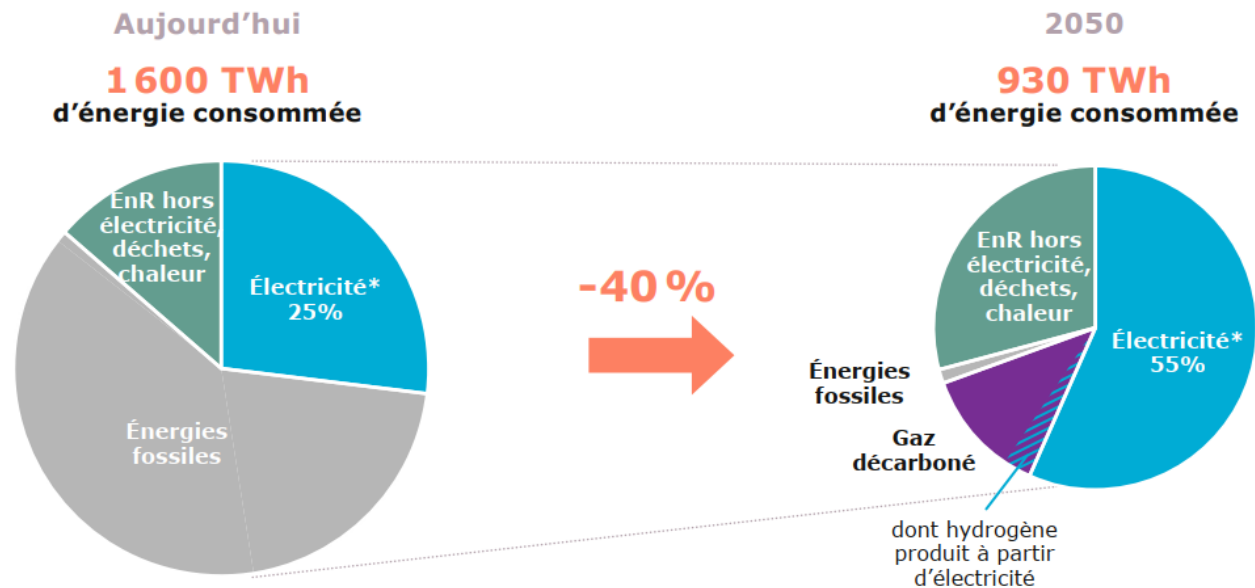
Des impacts à gérer sur le réseau :

- Avoir la capacité de transport nécessaire
- Gérer l'adéquation production / demande
- Gérer la stabilité du réseau

Distance des sources
intermittence journalière/saisonnière/météorologique

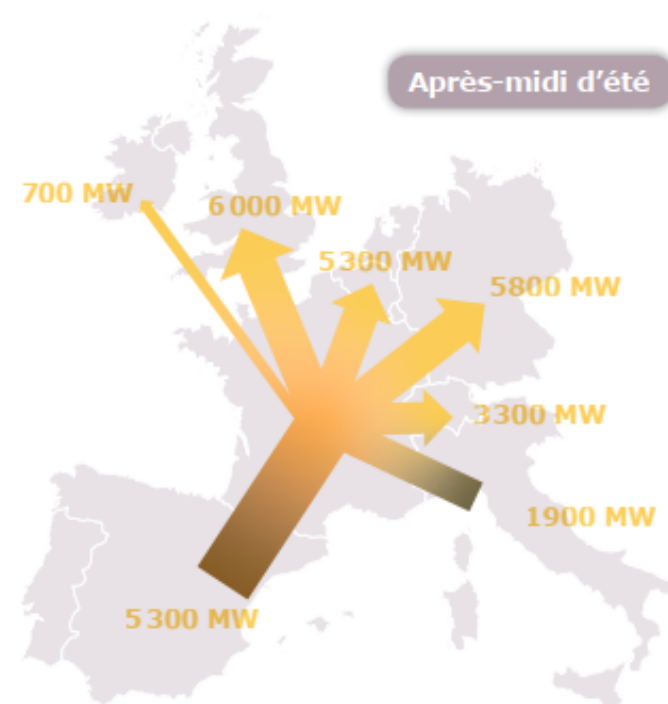
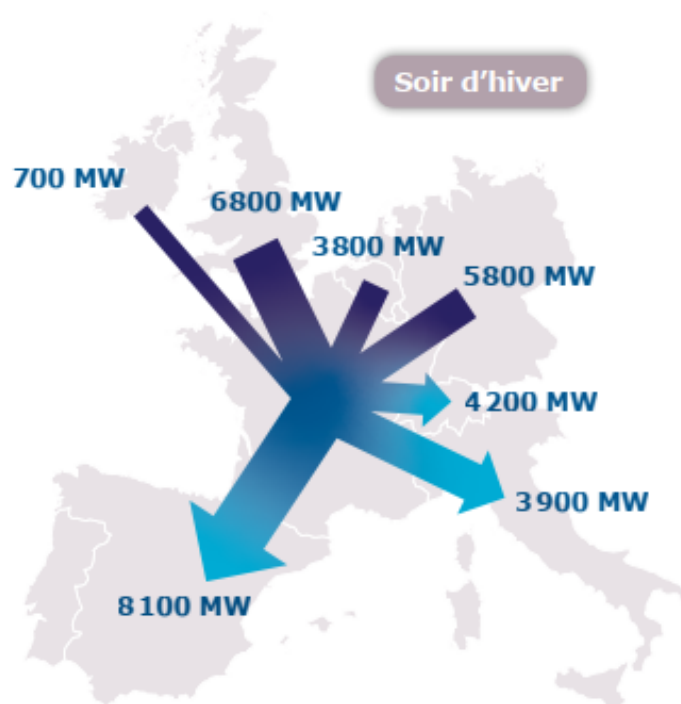
La Stratégie Nationale Bas Carbone en France

Augmentation de 60% de la consommation d'électricité : de 400 à 645TWh



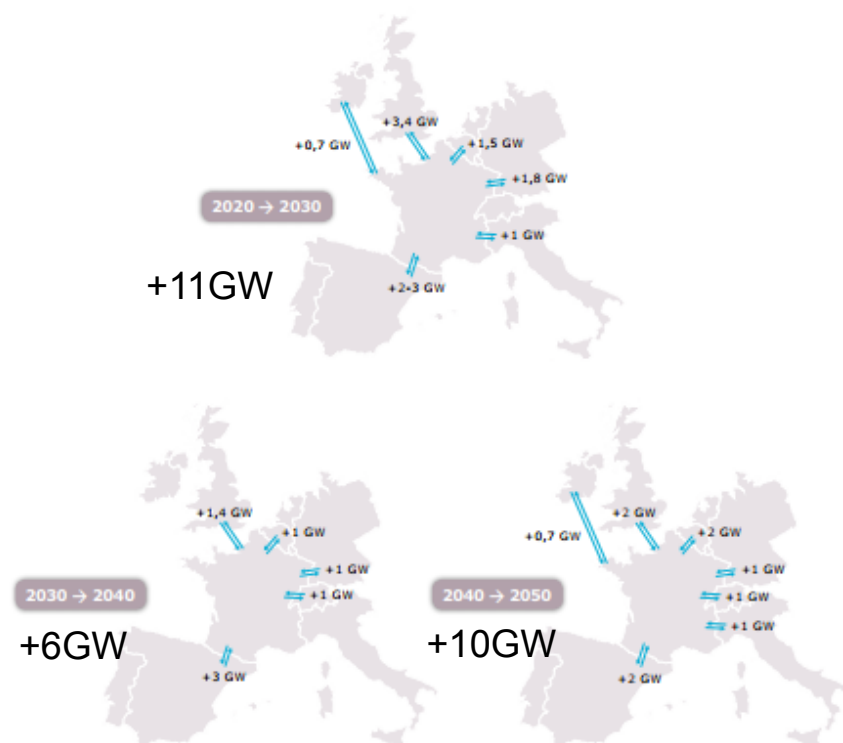
* Consommation finale d'électricité (hors pertes, hors consommation issue du secteur de l'énergie et hors consommation pour la production d'hydrogène)
Consommation finale d'électricité dans la trajectoire de référence de RTE = 645 TWh

Une augmentation significative des flux Induits par l'intégration massive de renouvelable

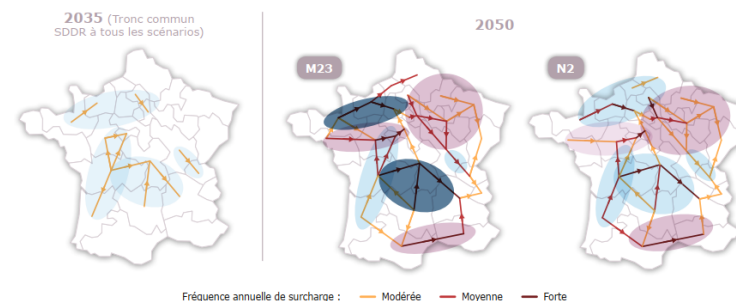


Un impact sur le réseau : renforcements des interconnexions et du réseau national

Figure 10.3 Hypothèses d'évolution des capacités d'interconnexion aux frontières françaises (import)



© RTE report : « Futurs énergétiques



- Des enjeux aux frontières
- Sur le réseau de transport
- Et sur le réseau de distribution

Exemple réseau type rural - actuel



Exemple réseau type rural - en 2050

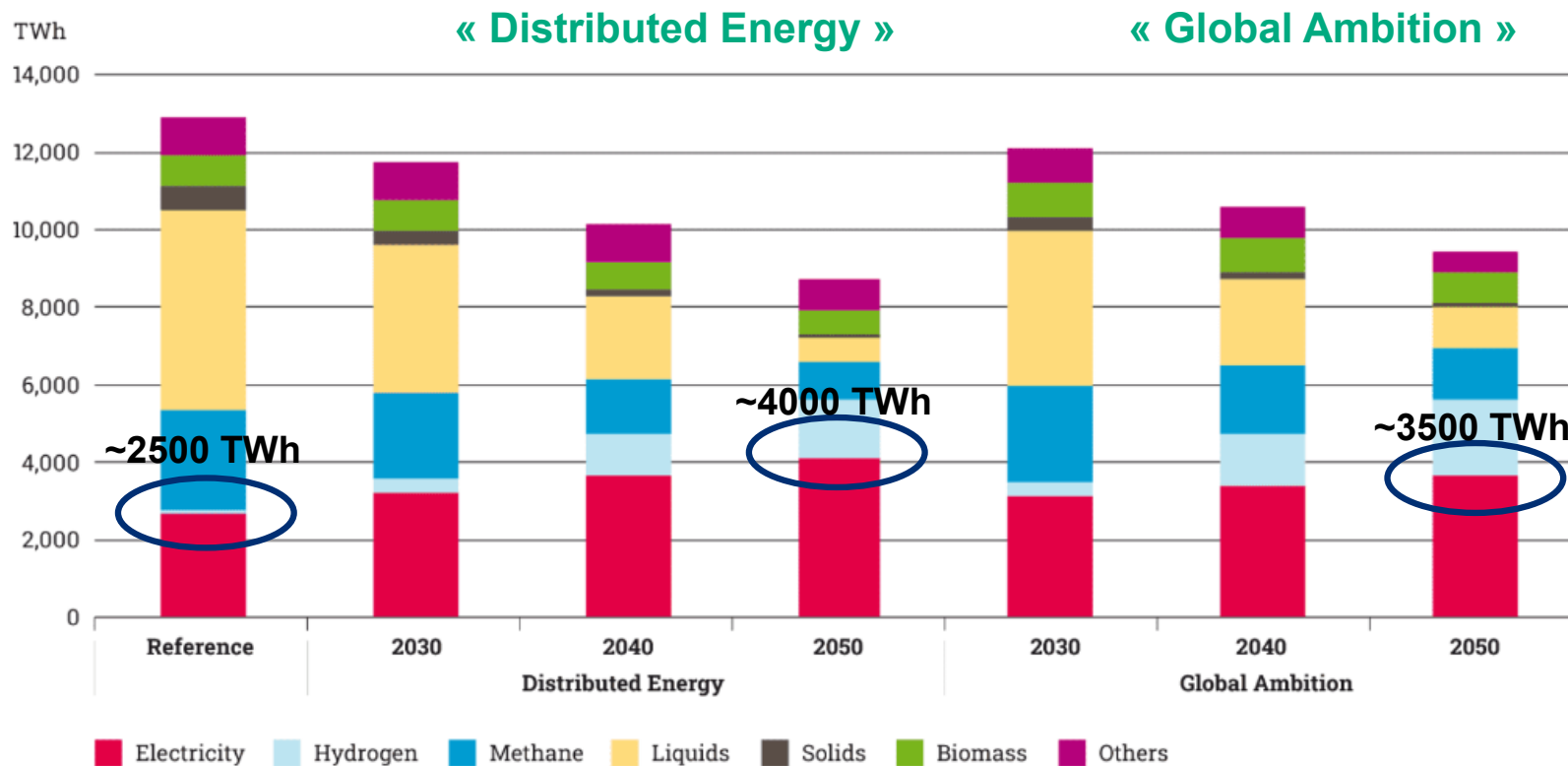


En Europe, deux scénarios de l'ENTSOE compatibles avec les objectifs EU :

	 Distributed Energy Higher European autonomy with renewable and decentralised focus	 Global Ambition Global economy with centralised low carbon and RES options
Green Transition	At least a 55 % reduction in 2030, climate neutral in 2050	
Driving force of the energy transition	Transition initiated at a local / national level (prosumers)	Transition initiated at a European / international level
	Aims for EU energy autonomy through maximisation of RES and smart sector integration (P2G/L)	High EU RES development supplemented with low carbon energy and imports
Energy intensity	Reduced energy demand through circularity and better energy consumption behaviour	Energy demand also declines, but priority is given to decarbonisation of energy supply
	Digitalisation driven by prosumer and variable RES management	Digitalisation and automation reinforce competitiveness of EU business
Technologies	Focus of decentralised technologies (PV, batteries, etc.) and smart charging	Focus on large scale technologies (offshore wind, large storage)
	Focus on electric heat pumps and district heating	Focus on hybrid heating technology
	Higher share of EV, with e-liquids and biofuels supplementing for heavy transport	Wide range of technologies across mobility sectors (electricity, hydrogen and biofuels)
	Minimal CCS and nuclear	Integration of nuclear and CCS

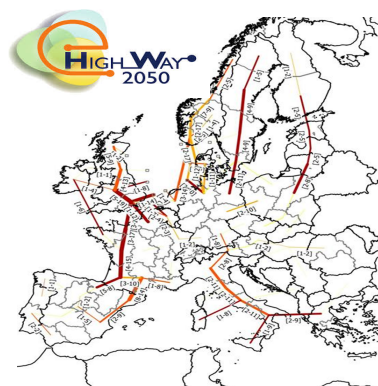
© ENTSOE : Opportunities for a more efficient European power system in 2030

Qui conduisent à une croissance de l'électricité de +40 à +60%

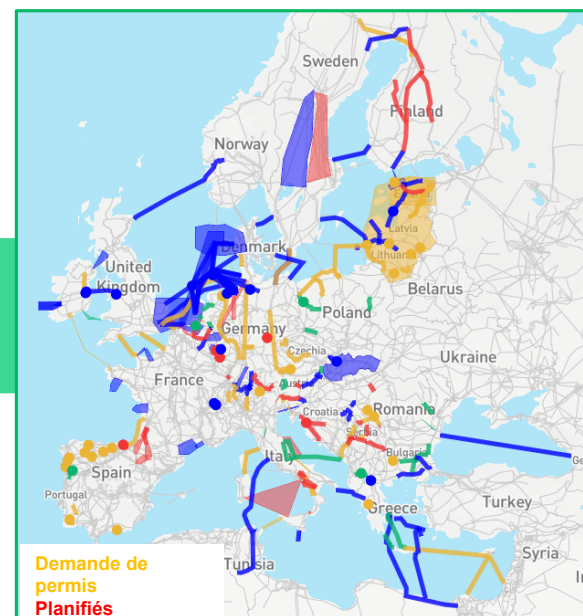


Et des besoins massifs de renforcement des réseaux pour soutenir ces flux dans tous les scénarios

Des besoins de renforcer les réseaux démontrés



Qui se concrétisent



© ENTSOE : TYNDP 2022

Agenda

■ Contexte de la transition énergétique – Quelques considérations

■ En France

■ En Europe

■ Les évolutions du réseau électrique pour accompagner la transition

■ Les systèmes Multi-terminaux et leurs enjeux

■ Le local vs le global ?



Plusieurs options pour renforcer les réseaux haute tension L'AC ou le DC ?

Option 1 : Renforcer le réseau AC

PROS

Moins d'investissement

CONS

*Permis des lignes aériennes
Acceptation sociale
Limitations techniques*

Option 2 : Point à Point HVDC

PROS

*Façon efficace de connecter
des sources distantes aux
charges
Peu de frein à l'implémentation*

CONS

*Flexibilité limitée pour la
gestion des flux et l'extension
du système*

Option 3 : Réseaux HVDC

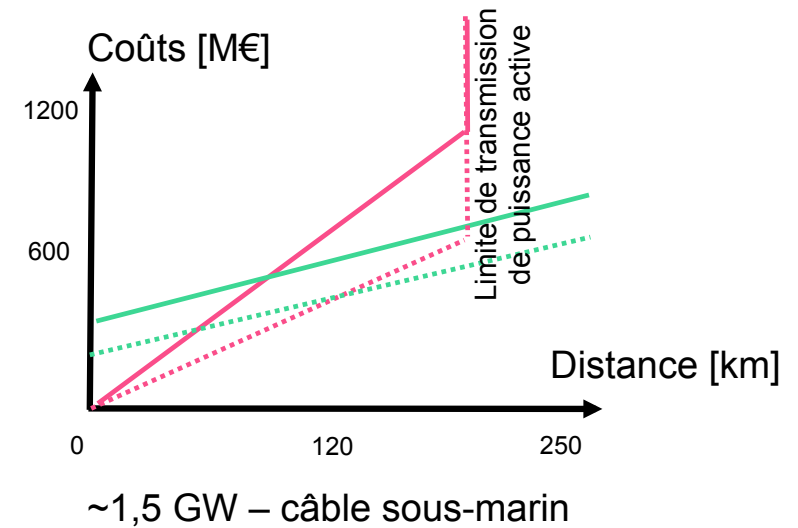
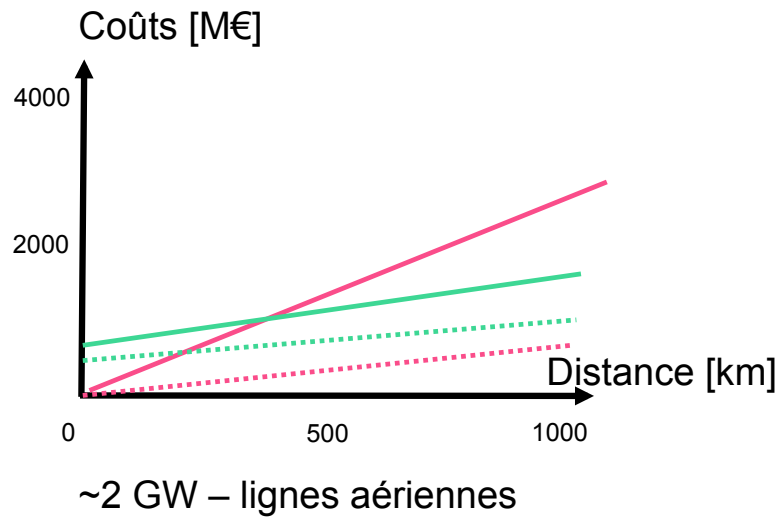
PROS

*Solution flexible pour
connecter plusieurs régions
avec des flux de puissance
variables*

CONS

*Verrous technologiques
Freins réglementaires*

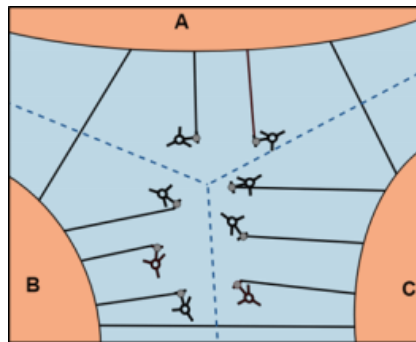
Le DC : plus d'investissements, moins de pertes Transporter de grosses puissances sur de longues distances



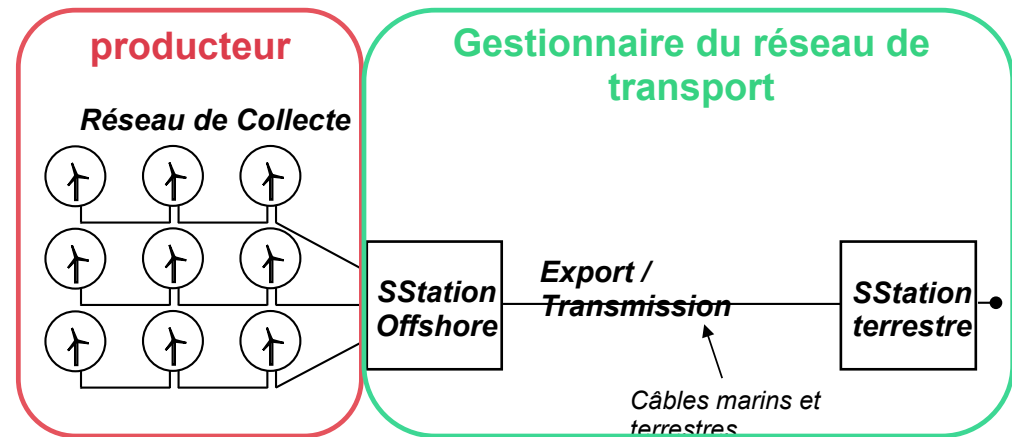
	AC	DC
Coût total	—	—
Invest.	·····	·····

Liens DC : moins de perte et pas de besoin de compensation réactive
Le HVDC permet de contrôler les puissances actives et réactives
Liens AC : la distance est limitée et pénalisante pour l'offshore

Un exemple d'utilisation de Courant Continu Raccorder l'électricité d'origine Offshore



Source : Towards a deployment plan for a future European offshore grid: development of topologies, CIGRE B4-107, 2020



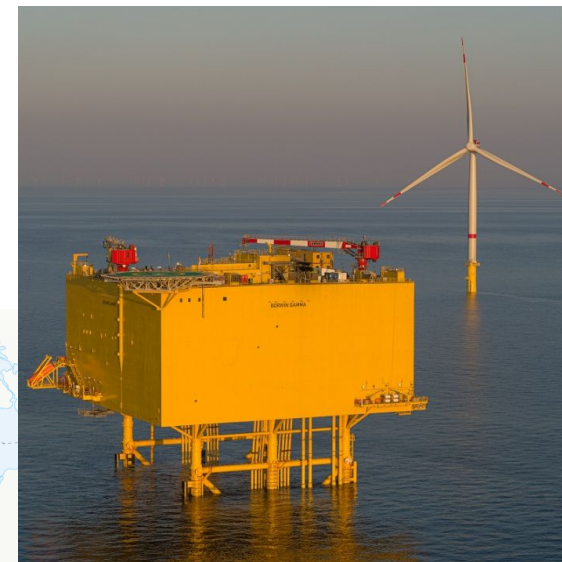
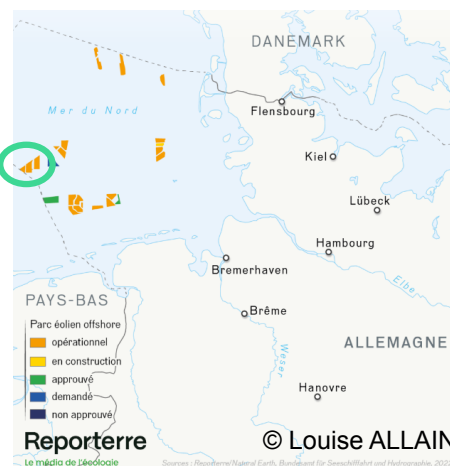
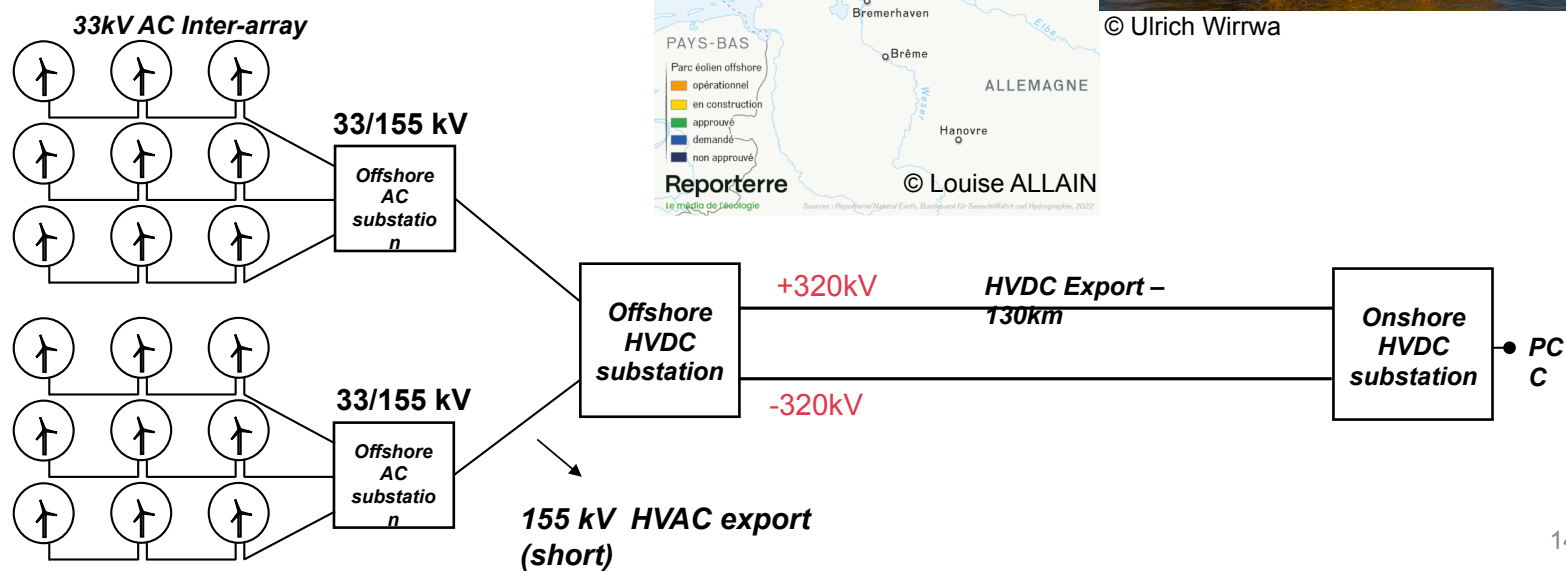
Standard : 33/66 kV AC HVDC : $\pm 320\text{kV}$ – en « point à point »

Plusieurs challenges techniques clefs :

- Standardisation des plateformes offshore – posées et flottantes
- Augmentation des puissances – montée en tension des équipements (525 kV)

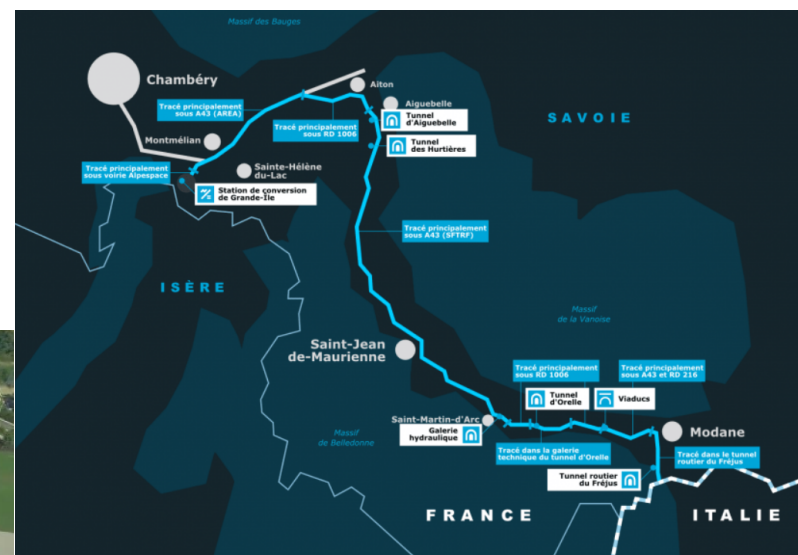
Un exemple : BORWIN 3 - 320kV HVDC

- 900 MW d'éoliennes
- 33kVAC – collecte éoliennes
- 155kV – export en AC
- 320 kV – transmission en DC



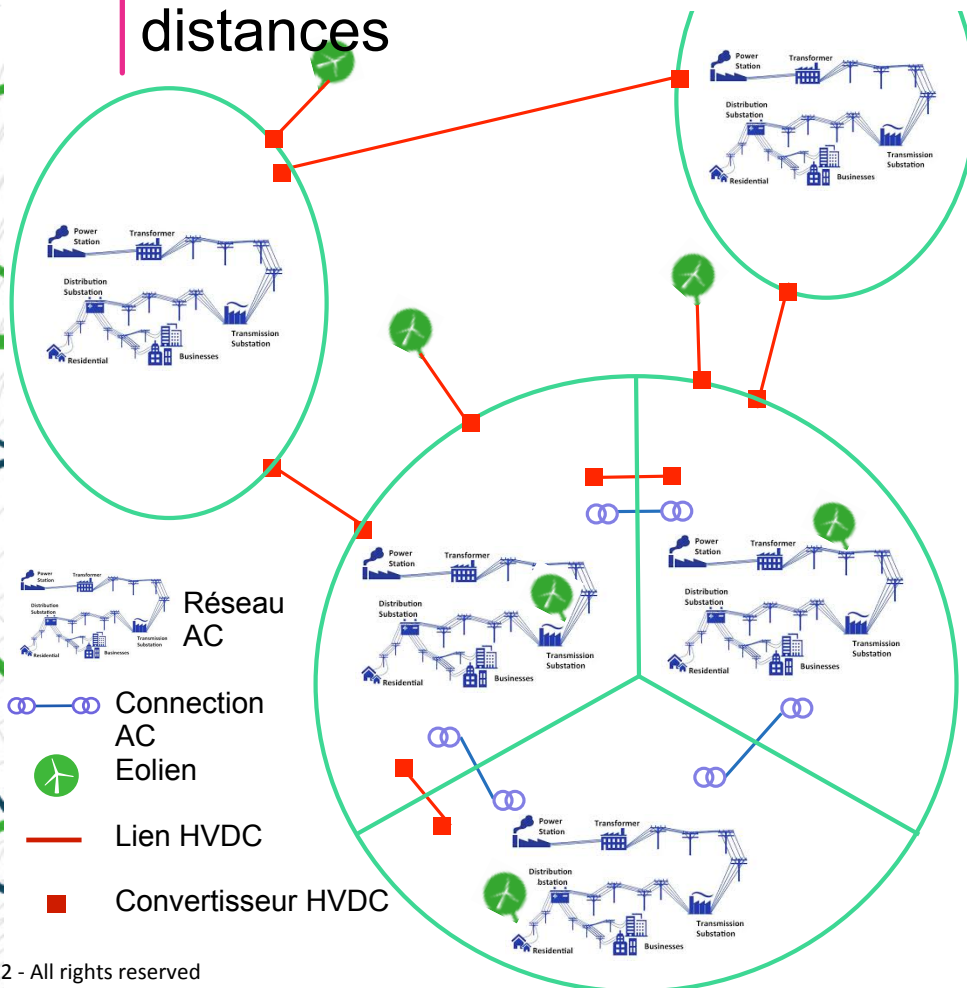
Un exemple : Interconnexion Savoie - Piémont

- 190 km de liaison souterraine entre Chambéry et Turin
- 2x600MW de capacité d'échange
- Un lien en service en novembre 2022
- Second lien en 2023



© Rte

Le DC ? de grandes puissances sur de grandes distances



Levers de l'évolution :

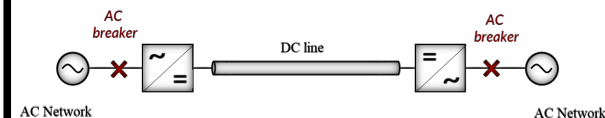
Décarbonation du mix électrique

Intégration des marchés



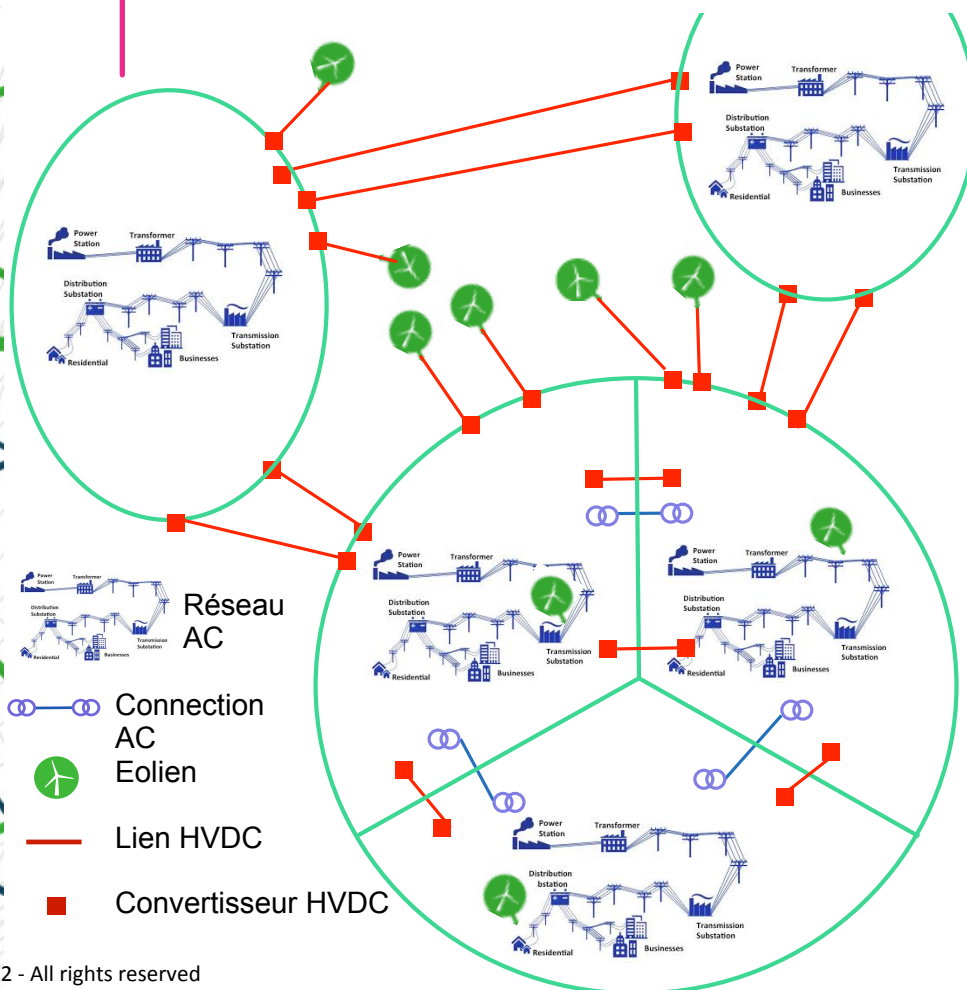
Augmenter les interconnexions
Connecter plus de renouvelables

Point-to-Point HVDC link (PtP link)



Plus de renouvelables & d'interconnexions

DEMAIN



Leviers de l'évolution :

Integration efficace de renouvelables

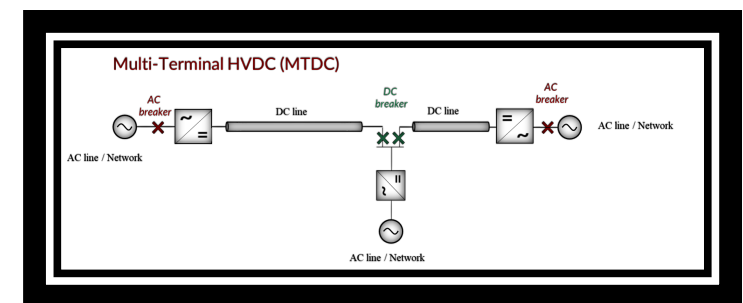
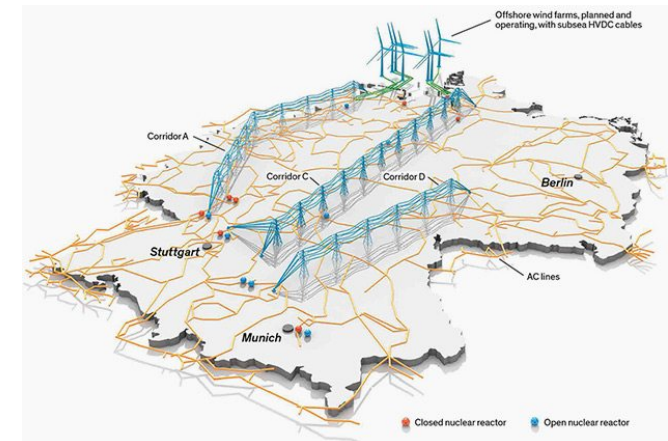
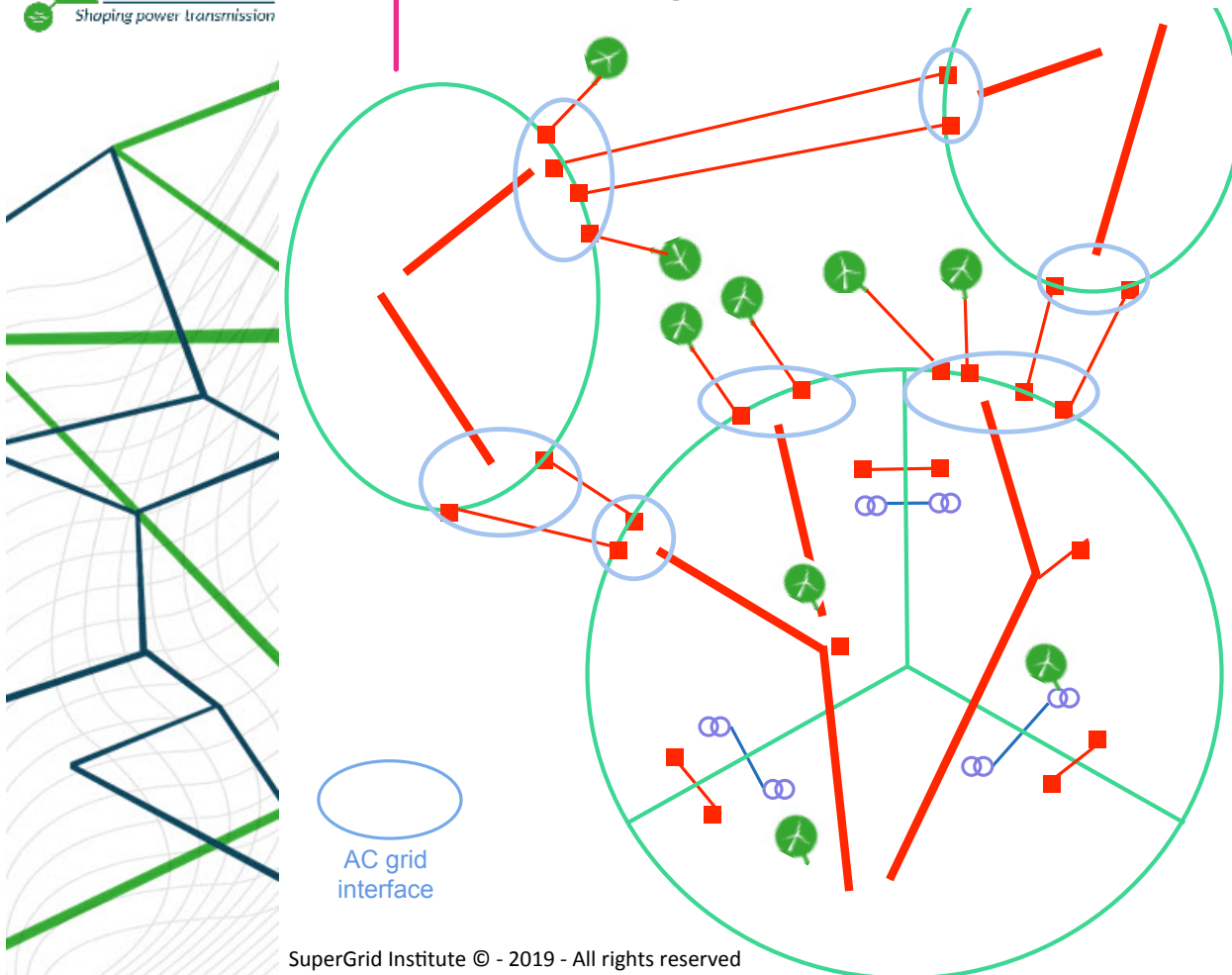
Plus de renouvelable
Nombreuses interconnexions

Capacité des reseaux AC
Droit de passage / acceptation sociale

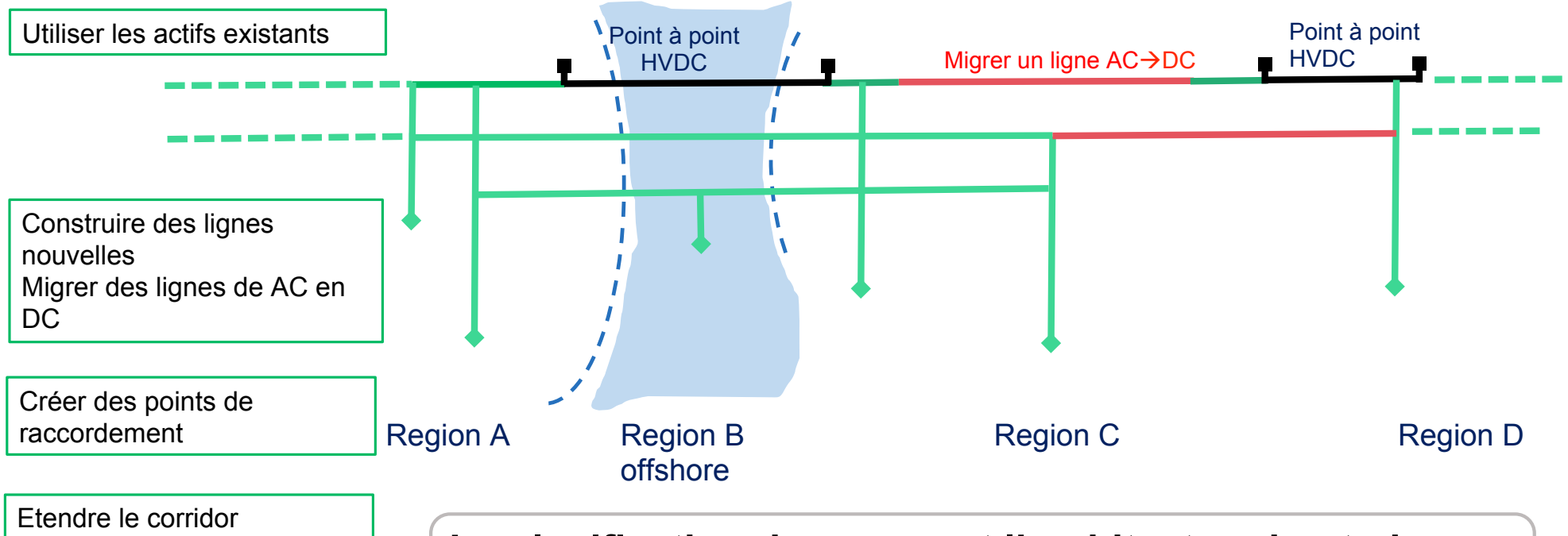
Renforcements terrestres, HVDC
"Multi-terminaux"

Vers des grands corridors de puissance

APRES-DEMAIN



Un développement pas à pas



**La planification du reseau et l'architecture haut niveau :
la clef pour une implémentation progressive**

Agenda

■ Contexte de la transition énergétique – Quelques considérations

- En France
- En Europe

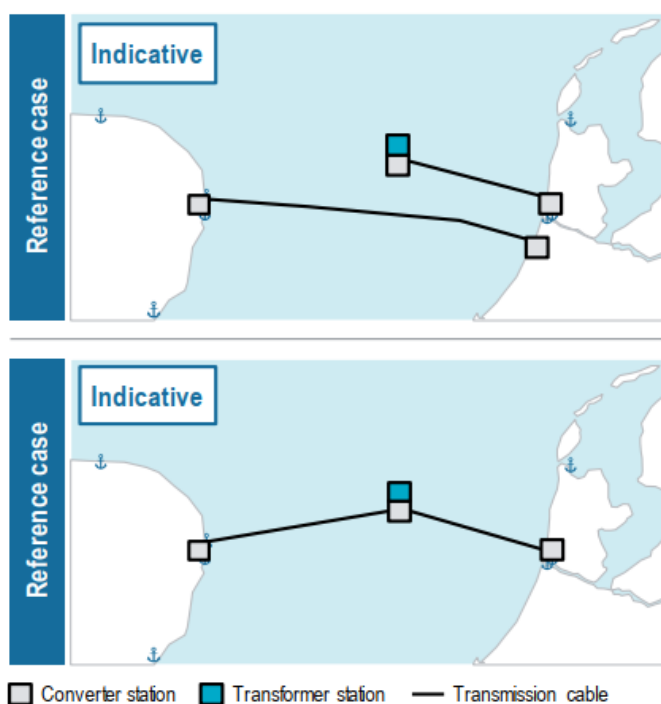
■ Les évolutions du réseau électrique pour accompagner la transition

■ Les systèmes Multi-terminaux et leurs enjeux

■ Le local vs le global ?

De nombreuses possibilités offertes par les multi-terminaux : Raccorder une ferme éolienne avec un interconnecteur

Geographical mapping

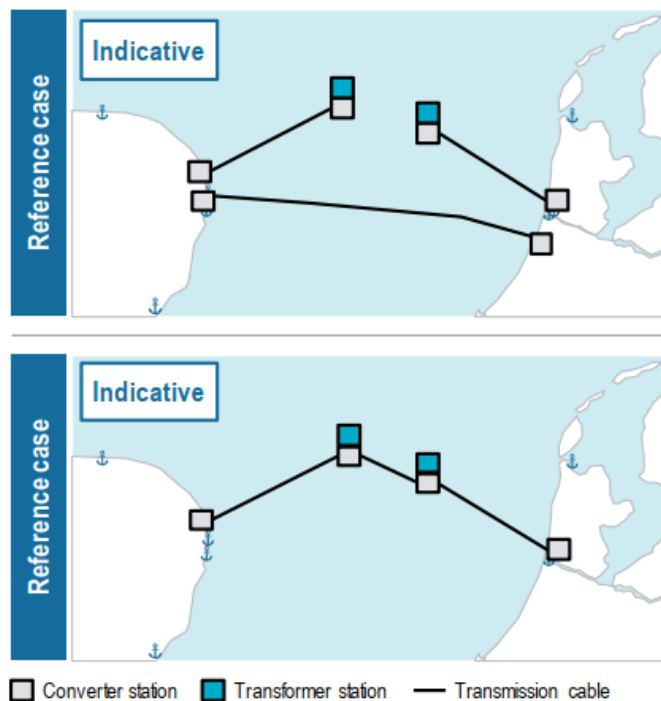


Reference case	Hybrid case	Difference
Nominal capacity interconnector [MW]		
1,300	1,300	0
Length interconnector [km]		
190	125	- 65
Nominal capacity OWF [MW]		
1,300	1,300	0
Length export cable [km]		
80	80	0
Offshore transformer / converter / switching stations		
1 / 1 / 0	1 / 1 / 0	0
Onshore transformer / converter stations		
0 / 3	0 / 2	- 1

Figure 20: IJmuiden Ver to UK – Reference case and hybrid project profile

De nombreuses possibilités offertes par les multi-terminaux : En raccorder plusieurs, en réseau radial

Geographical mapping

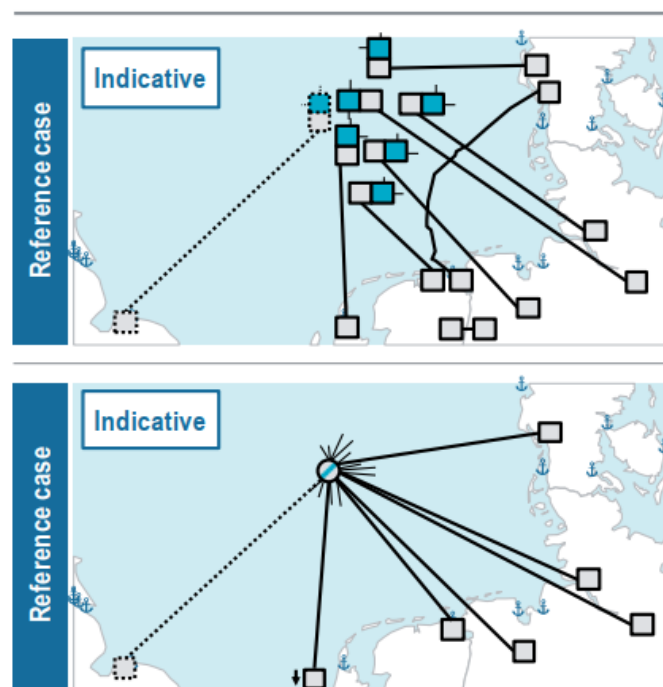


Reference case	Hybrid case	Difference
Nominal Capacity interconnector [MW]		
900	900	0
Length interconnector [km]		
190	60	- 130
Nominal capacity OWF [MW]		
2,200 (900 + 1,300)	2,200 (900 + 1,300)	0
Length export cable [km]		
180 (100 + 80)	180 (100 + 80)	0
Offshore transformer / converter / switching stations		
2 / 2 / 0	2 / 2 / 0	0
Onshore transformer / converter stations		
0 / 4	0 / 2	- 2

Figure 34: CGS IJmuiden Ver to Norfolk – Reference case and hybrid project profile

De nombreuses possibilités offertes par les multi-terminaux : Aller jusqu'au concept de Hub DC

Geographical mapping



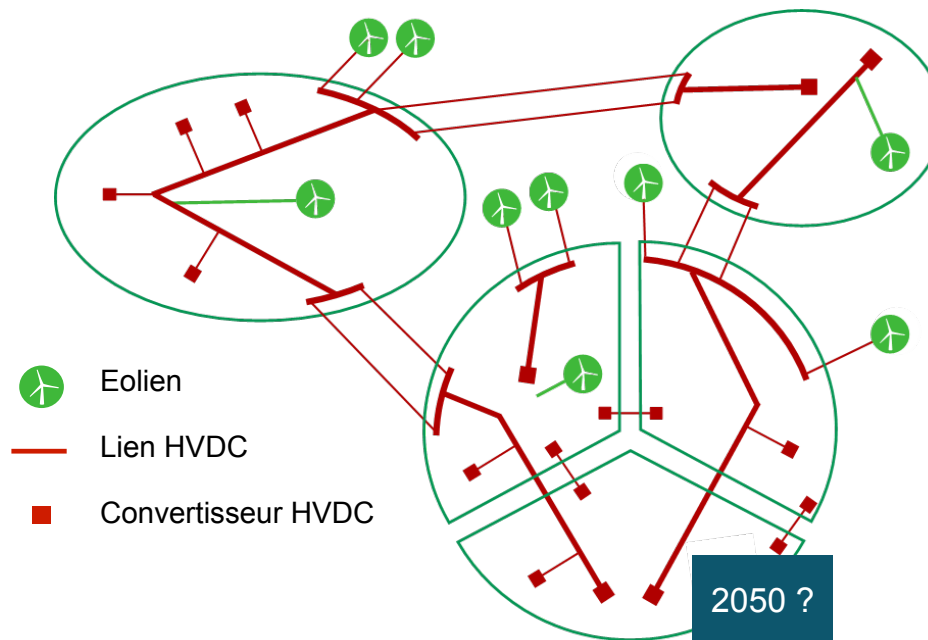
■ Converter station ■ Transformer station — Transmission cable 1) Additional value provided by inclusion of power-to-gas infrastructure in final project setup

Reference case	Hybrid case ¹⁾	Difference
Nominal capacity interconnector [MW]		
~ 2,000 (DK-NL), ~ 200 (NL-DE)	Up to 4,000 (to NL), 6,000 (to DE), 2,000 (to DK)	0
Length interconnector [km]		
339 (329 + 10)	0	- 339
Nominal capacity OWF [MW]		
12,000	12,000	0
Length export cable [km]		
2,100 – 2,400	2,100 – 2,400	0
Offshore transformer / converter / switching stations		
6 / 6 / 0	6 / 6 / 6	+ 6
Onshore transformer / converter stations		
0 / 10	0 / 6	- 4

Figure 51: North Sea Wind Power Hub (NSWPH) – Reference case and hybrid project profile

Vers une colonne vertébrale centralisée ?

Qui vient en support du reseau AC existant



Des challenges techniques clefs :

- La coupure du courant continu
- L'interopérabilité entre des convertisseurs de fabricants différents
- Les appareillages en courant continu
- Le pilotage d'un réseau hybride AC/DC

Des challenges organisationnels et réglementaires clefs :

- Qui est responsable du système / que le système fonctionne ?
- Qui l'opère ?

De nombreux projets de recherche internationaux qui visent à lever les verrous – Quelques exemples...



READY4DC

Réglementation et
collaboration pour les
réseaux DC



**inter
OPERA**
Enabling multi-vendor HVDC grids

Interopérabilité des
convertisseurs et
contrôle du système



Fiabilité et résilience
des réseaux hybrides
AC/DC

NETWORK DC

Protection des
réseaux DC



Offshore Energy Hubs

Architecture des
réseaux DC

NEWGEN

Isolants DC et
monitoring

Des concepts qui changent fondamentalement la topologie des infrastructures

Du « Business As Usual » en mer du Nord

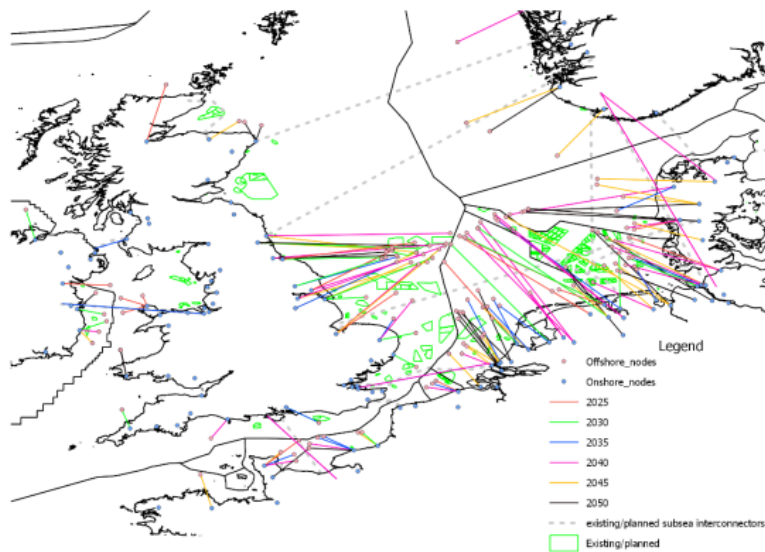


Figure 9 : Offshore grid topology for BAU concept



au concept de HUB

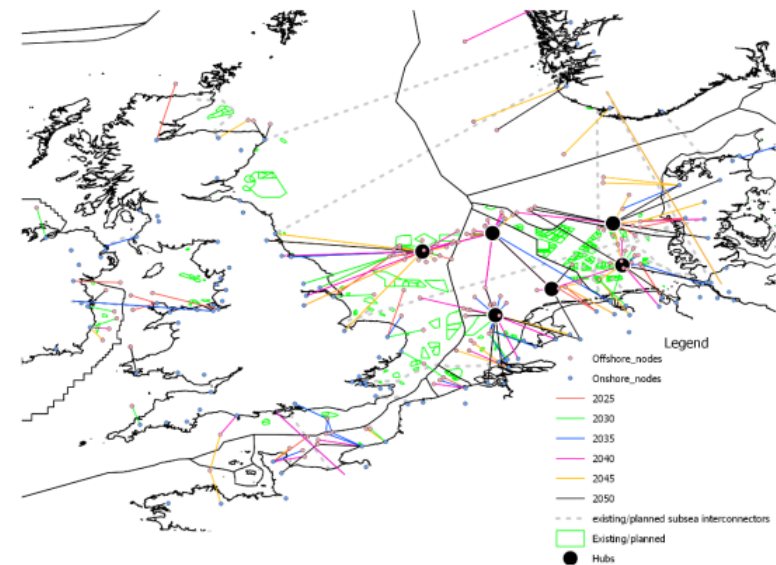
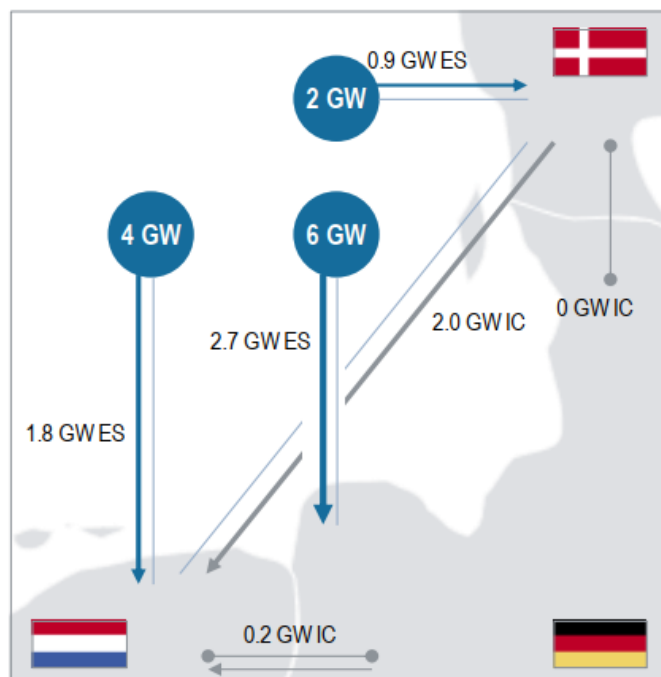


Figure 12 : Offshore grid topology for HUB concept

Une évolution déjà en marche : l'exemple du North Sea Wind Power Hub

Reference case



Hybrid case

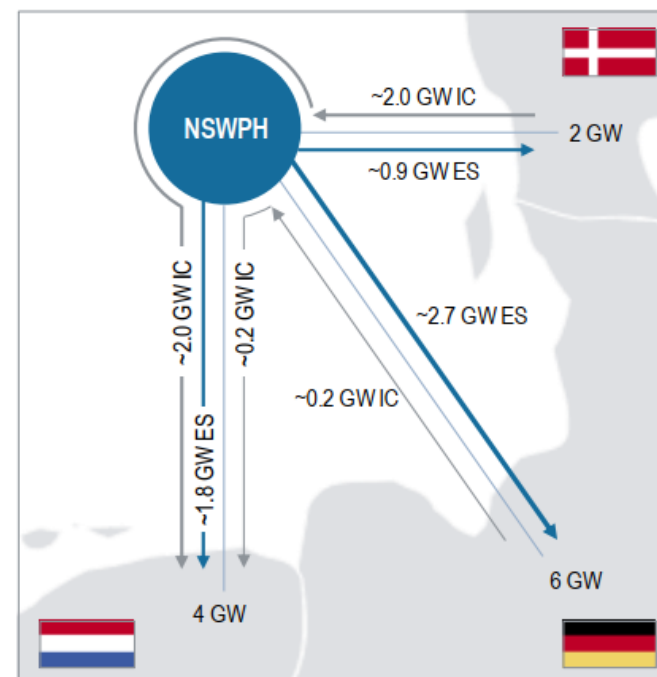
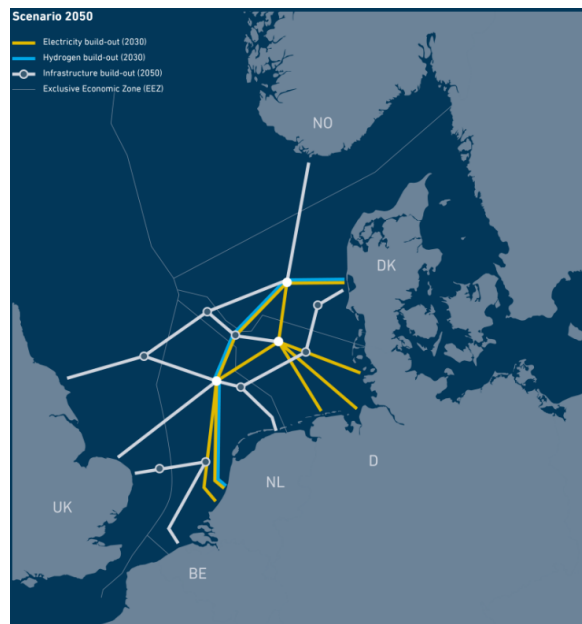


Figure 50: North Sea Wind Power Hub (NSWPH) – Assumed commercial electricity flows in the reference and hybrid projects

Et des initiatives qui se multiplient – Le futur est déjà en marche



INITIAL ANNOUNCEMENT/MARKET SURVEY FOR A
INNOVATION PARTNERSHIP PROGRAM - A JOINT INITIATIVE
OF THE 4 GERMAN TSOs

FOR MULTITERMINAL 525KV HVDC BIPOLE SYSTEMS,
FOCUS ON THE FIRST JOINT-PROJECTS HEIDE- AND NORTH-
WEST HUB



Agenda

■ Contexte de la transition énergétique – Quelques considérations

- En France
- En Europe

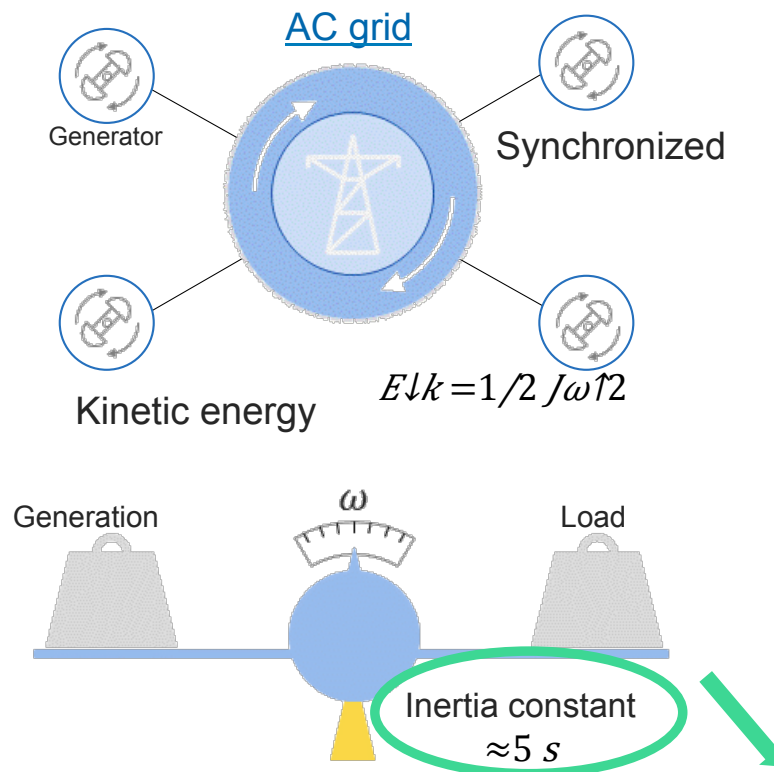
■ Les évolutions du réseau électrique pour accompagner la transition

■ Les systèmes Multi-terminaux et leurs enjeux

■ Le local vs le global ?

Considérations sur la stabilité des réseaux

L'inertie assure la stabilité du reseau AC



La grande majorité des énergies renouvelables sont interfacées par de l'électronique de puissance

- Le solaire
- L'éolien



Plus de renouvelable = moins d'inertie

Moins d'inertie = moins de temps pour gérer les défauts sur le réseau

Considérations sur les réseaux

Le réseau de distribution comporte(ra) de plus en plus de génération distribuée

Exemple réseau type rural - actuel



Exemple réseau type rural - en 2050

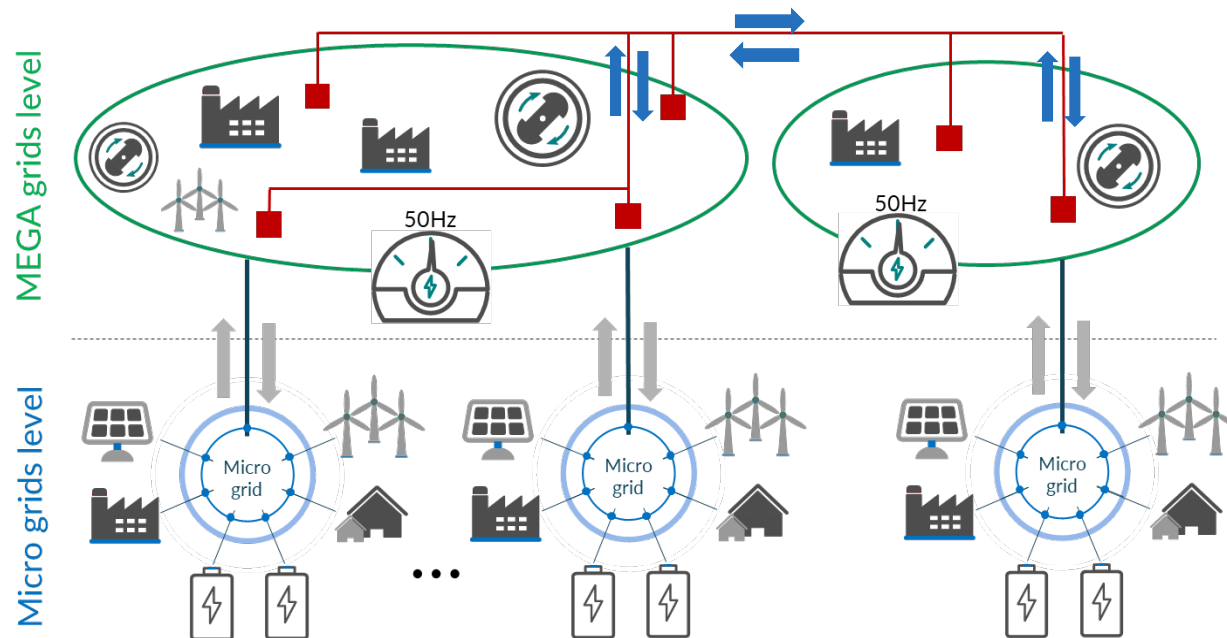


Des moyens de stockages – une quantité significative de batterie

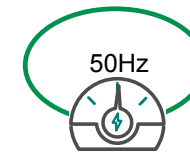
- Stationnaire
- Ou dans les véhicules

Et des moyens de flexibilité : la modulation de la consommation à l'augmentation ou la baisse / l'effacement

Cooperation entre les acteurs des reseaux de transport de distribution



Le HVDC : équilibrage et
partage **rapide** et **contrôlé** des
reserves d'énergie



L'inertie naturelle et
synthétique est la base de la
stabilité de chaque zone AC

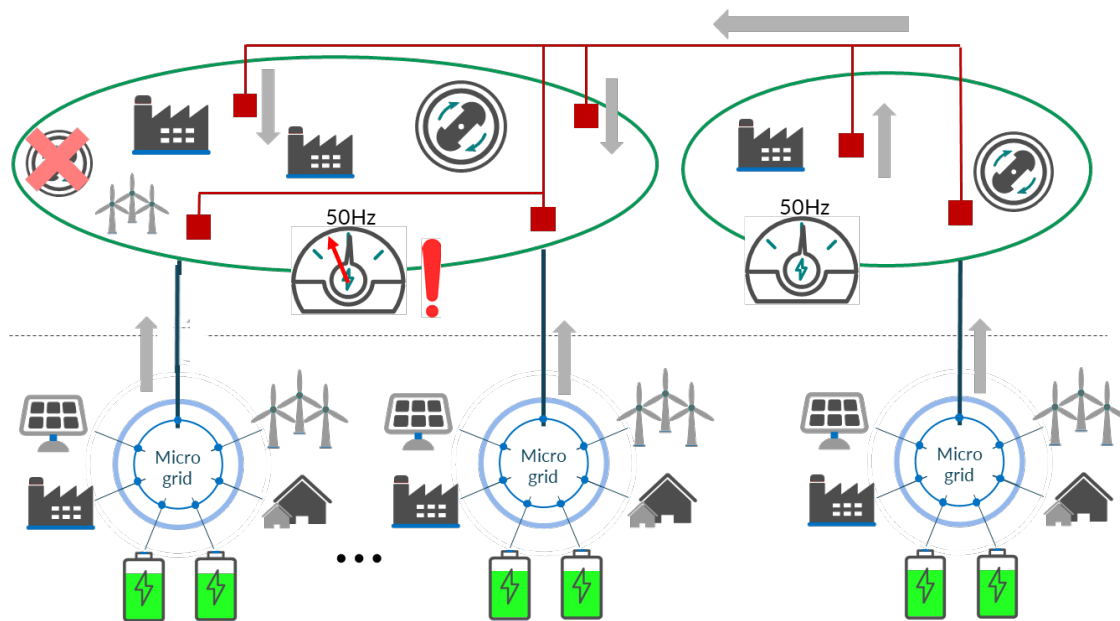


Le système de gestion de
l'énergie doit assurer
l'opération des "micro-grids" et
des "MEGA grids"



Rôle majeur du stockage
d'énergie dans l'opération des
micro grids

Une integration du local et du global Pour stabiliser les réseaux



Une coopération nécessaire entre transport et distribution (production / stockage / Flexibilité)



Perturbation
du réseau



Contribution rapide des
réseaux voisins



Chaque réseau
contribue avec ses
machines tournantes



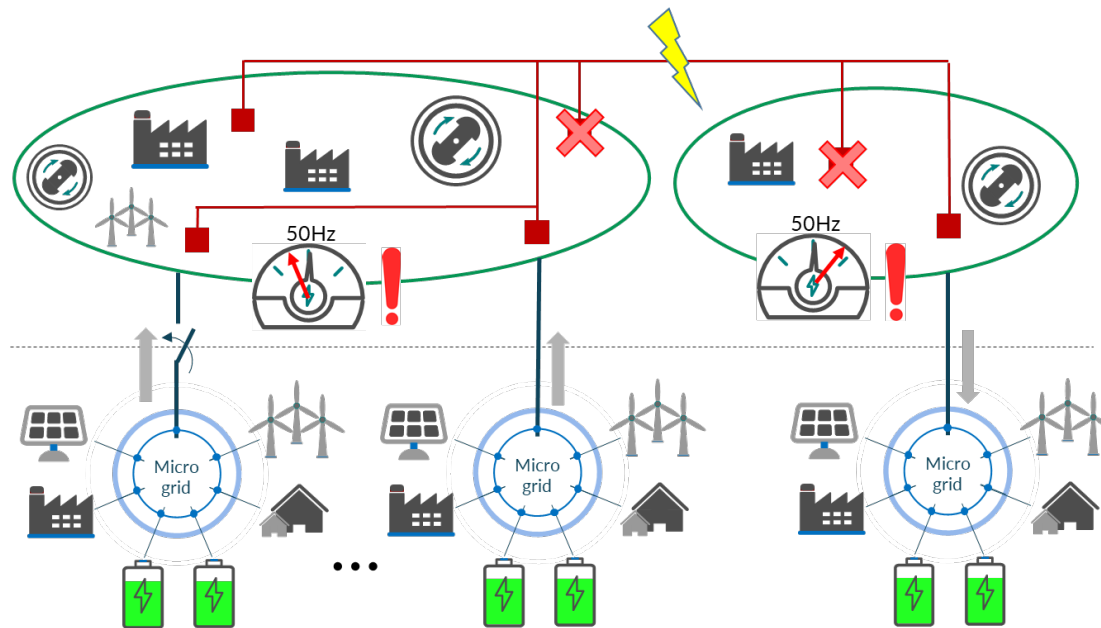
Le stockage des réseaux de
distribution contribue
également



Des contrôleurs intelligents
stabilisent les réseaux (tension,
fréquence, angle)

Une integration du local et du global

Pour que chacun contribue à stabiliser l'ensemble



Si le reseau HVDC est perturbé, les échanges entre clusters s'arrêtent quelques millisecondes



Les Micro grids participent à la stabilization de chaque cluster



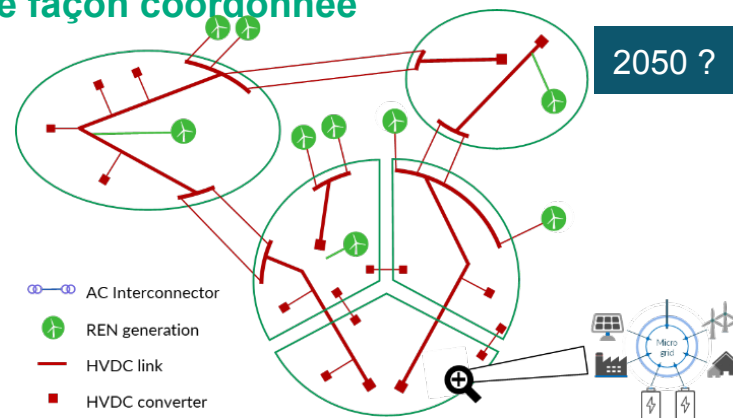
Les micro-grids d'un même Cluster peuvent aussi échanger de l'énergie



Coordination nécessaire entre les injections des micro grids

Un rôle clef pour les systèmes à courant continu dans les réseaux du futur

- Les corridors de puissance à Courant Continu seront des colonnes vertébrales en soutien au réseau AC de demain
- Leur développement est nécessaire à l'intégration massive de sources renouvelable d'électricité
- Ils auront un rôle clef pour transporter l'électricité, partager les réserves et stabiliser les réseaux
- Les réseaux de transport et de distribution ne doivent pas être opposés, mais converger vers un optimum de façon coordonnée



Merci pour votre attention

