

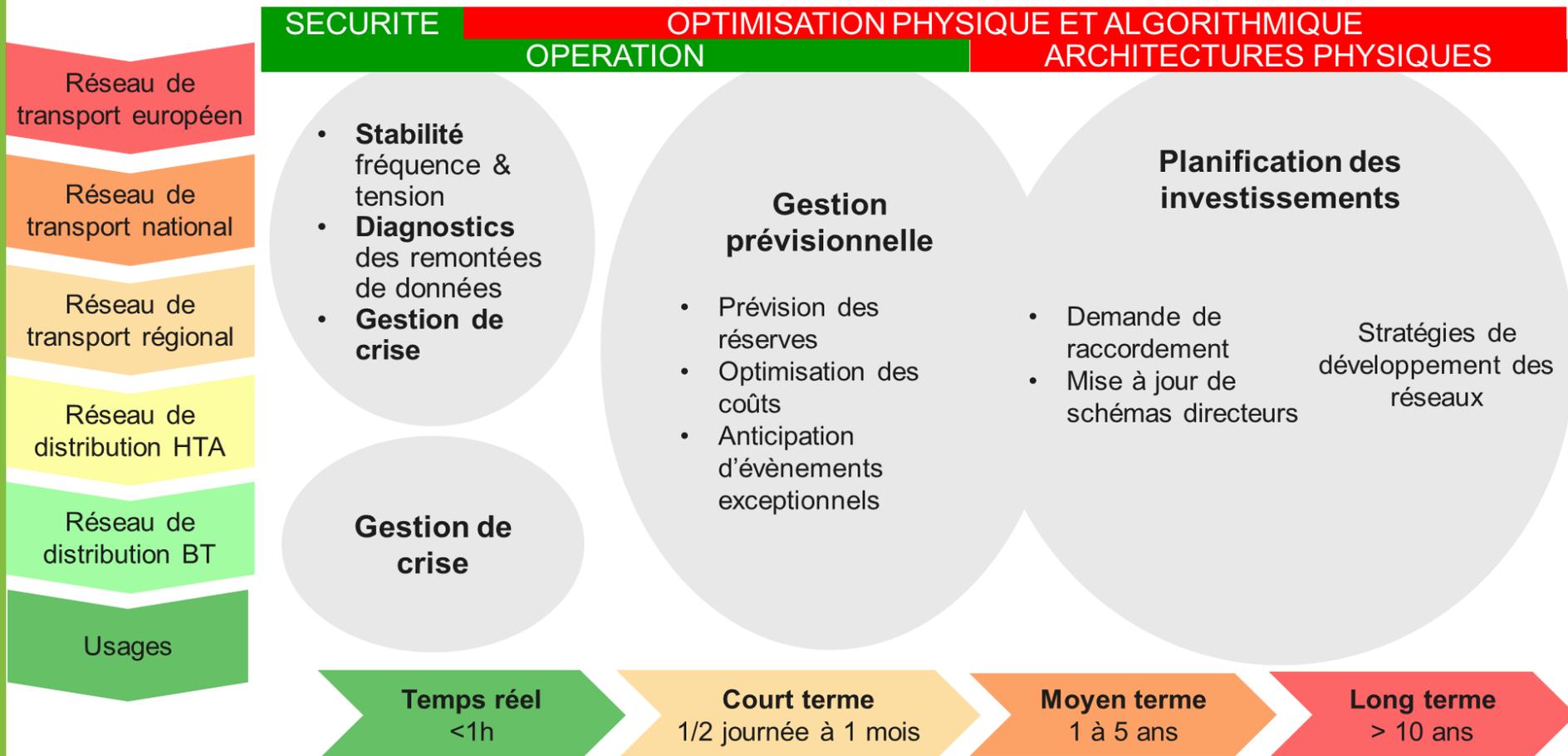
# ***Vision de l'ANCRE sur les flexibilités pour le système électrique***

Travaux effectués dans le cadre du GT SNRE  
« Stockage et moyens de flexibilité », 2020



Alliance Nationale de coordination de la Recherche pour l'Énergie

# Les besoins de Flexibilité en fonction de l'échelle spatio-temporelle



# Les solutions de Flexibilité en fonction de l'échelle spatio-temporelle

Catégories de flexibilités	Quoi	Echelle spaciale	Echelle temporelle
<b>Modulation de la consommation</b>	Charges industrielles et domestiques pilotables et modulables, véhicules électriques (V2G), stockages stationnaires	RD & RT	Très court terme au long terme
<b>Modulation de la production</b>	Productions contrôlables totalement ou en partie (PV, Eolien), stockages stationnaires et mobiles	RD & RT	Très court terme au long terme
<b>Soutien réseau (Grid support)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Usage(s) équivalent(s) à une source de puissance active et réactive</li> <li>• Fonction support : réglage de tension et de fréquence</li> </ul>	Productions contrôlables totalement 4 quadrants ou en partie (PV, Eolien), stockages stationnaires et mobiles	RD & RT	Temps réel au long terme
<b>Grid forming</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Usages équivalents à une source de tension contrôlable</li> <li>• Possibilité de fonctionner en microgrids off-grid</li> </ul>	Moyens de productions et de stockage en association avec d'autres types de flexibilités	RD & RT	Temps réel

- **Défis**
  - Diminution de l'inertie du réseau électrique due à l'augmentation des interfaces à EP associées aux ENR → augmentation du RoCoF et des creux de fréquence (nadir)
  - Plan de protection: diminution des courants de court-circuit due à l'EP
  - Grande variabilité → contrôlabilité et prédictibilité limitées des ENR (sans efforts techniques et économiques conséquents)
- **Verrous scientifiques, techniques et économiques**
  - Adaptation des nouveaux composants au réseau existant (interopérabilité, plug & play)
  - Augmentation du taux de pénétration des ENR
  - Normes et réglementations inadaptées et/ou non stabilisées
- **Recherches à mener**
  - **Création d'inertie artificielle**: machines synchrones virtuelles (VSG), oscillateurs virtuels (VOC) ...
  - **Nécessité de stockage rapides** (plus ou moins) distribués
  - **Services système rapides** : par exemple création de réserves rapides sur la puissance productible, charges et/ou sources flexibles modulables rapidement (V2G, chauffe eau..)
  - Recherche prénormative
  - Modélisation comportementale

- **Verrous scientifiques, techniques et économiques**

- Grande variabilité → contrôlabilité et prédictibilité limitées des ENR (sans efforts techniques et économiques conséquents)
- Modélisation systèmes pour l'EMS
- Absence de cadre réglementaire pour déployer des innovations technologiques
- Notion d'acceptabilité sociale
- Cas particulier des ZNI :
  - approvisionnement généralement carboné (fioul) et cher (coûts d'acheminement)
  - effet de foisonnement limité qui augmente le niveau d'incertitudes (et l'intérêt du stockage)

- **Recherche à mener**

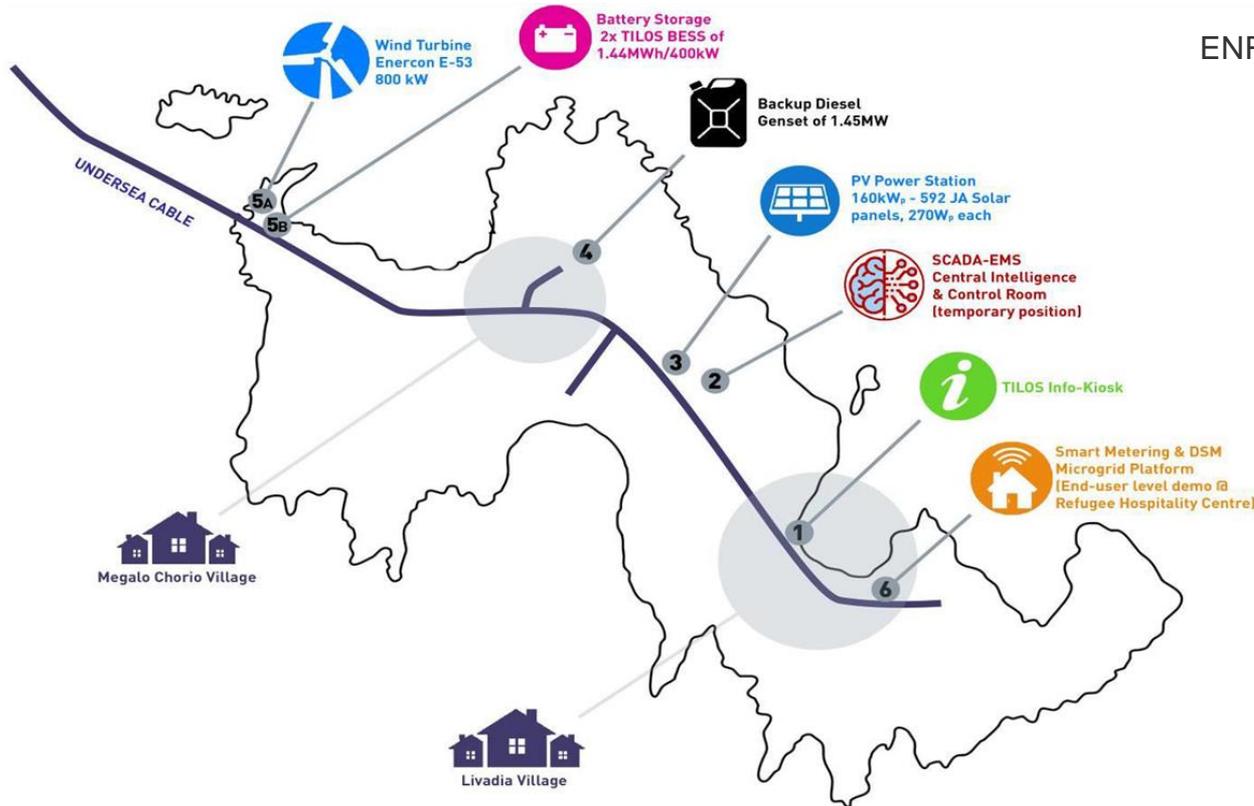
- **Utilisation du stockage** : développement d'outils numériques pour des solutions:
  - **algorithmiques** (optimisation dynamique): gestion d'énergie et contrôle de ces systèmes combinés ENR/Stockage
  - **logicielles** (systèmes d'information, modélisation, statistiques, optimisation) **pour le diagnostic** : comportement et suivi de l'évolution des performances avec vieillissement notamment
- Les flexibilités peuvent être **multi-services** pour permettre des optima (économiques, environnementaux, sociaux)

- **Défi**
  - Intégration du renouvelable et des nouveaux usages (VE, habitats intelligents) dans la planification
- **Verrous scientifiques, techniques et économiques**
  - Incertitudes (croissantes avec l'échelle de temps, décroissantes avec l'échelle spatiale)
  - Intégration des modèles de flexibilités dans les décisions d'investissement
  - Intégration des modèles socio-économiques dans les décisions d'investissement
  - Quantification du risque associé à la flexibilité → critères d'investissement adéquats à définir
  - Coordination entre les réseaux électriques (RT & RD) et les réseaux d'électricité/chaleur/gaz
- **Recherches à mener**
  - Raisonner avec des courbes de charges au lieu de pires cas pour évaluer les besoins en flexibilité
  - Besoin d'un cadre réglementaire autour de l'usage des flexibilités pour déterminer leur coûts totaux
  - Evolution des approches déterministes classiques vers des méthodes probabilistes mixtes
  - Solutions en rupture avec les méthodes historiques
    - Intégration de la planification opérationnelle dans la planification long terme
    - Architectures mixtes AC/DC
    - Clusterisation (grid-connected ou off-grid)

- **Court terme (< 5 ans): déploiement des technologies matures**
  - Architecturer les technologies déjà matures (EP, ENR, TIC, compteurs intelligents...):
    - microgrids,
    - ZNI,
    - clusterisation
  - Technologies HVDC :
    - maîtrise des flux inter-régions,
    - support pour les réseaux HVAC
- **Moyen terme (entre 5 et 10 ans) : déploiement des technologies émergentes**
  - Technologies V2G et autres stockages multi-services
  - Coopératives énergétiques locales
- **Long terme (> 10 ans) : réseau flexible auto-adaptif et auto-cicatrisant**
  - Réseaux hybrides AC/DC
  - Unification du concept de réseau (système de systèmes)
  - Interconnexion des grandes régions

# Focus ZNI: stockage pour la gestion prévisionnelle court terme

- TILOS, 100 % D'ENR EN 2018 (projet H2020)



533 habitants

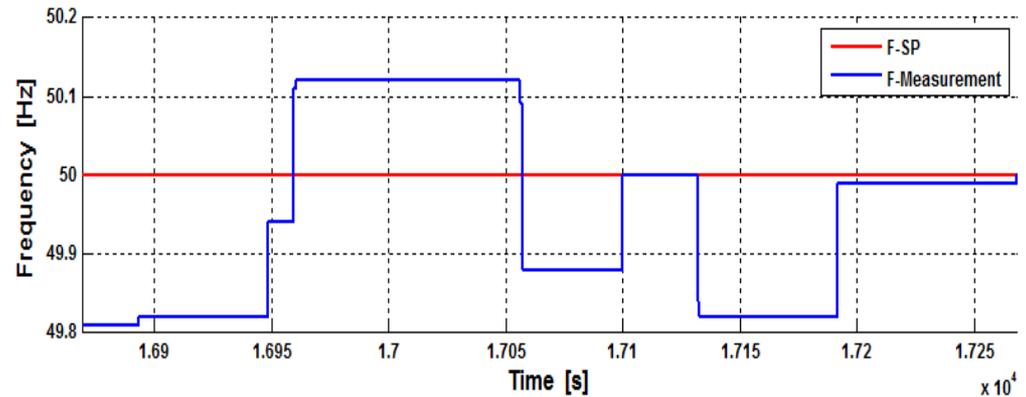
Consommation : 3,2 GWh/an

ENR installées : 160 kW PV + 800 kW éolien  
(+1,45 MW de générateur électrique)

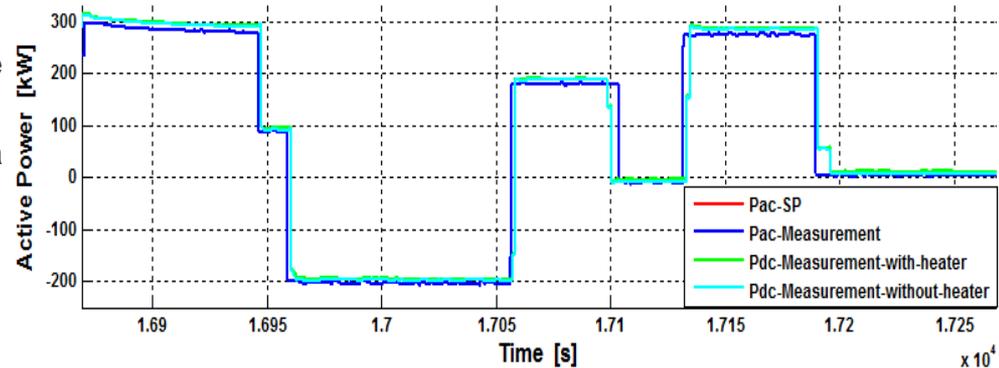
Stocakge : 2,8 MWh/1MW



## Du laboratoire au démonstrateur



- Environnement maîtrisé (scénario de consommation et de variation de production ENR);
- Un fonctionnement du convertisseur en mode « statisme » avec  $f_0 = 50$  Hz et  $R_{droop} = 1600$  kW/Hz
- Validation de la stabilité de la tension et de la fréquence



## Expérimentation VSG (25 kVA) sur le microgrid de Schneider Electric<sup>1</sup>

Microgrid contrôleur    Armoire de commande des groupes diesel    4 onduleurs VSG    Jeu de barres (150 kVA max)    Charges RLC modulables (≈ 100 kVA)



Non visibles

- Charges déséquilibrées
- Stockage

3 groupes diesel  
15 kVA, 55 kVA et 45 kVA



**Scénarios validés** : courts-circuits, black start, délestage de charges, charges non linéaires, charges déséquilibrées, interaction entre VSG et entre VSG et groupes diesel

<sup>1</sup> Thèse G2Elab, GIPSA-lab, SEI: Conception d'un système adaptatif dynamique de "générateur synchrone virtuel" pour la stabilisation des micro-réseaux électriques à fort taux de pénétration d'énergie renouvelable (Audrey Moulichon)

- **Gestion de flexibilités sur des échelles spatiales et temporelles variées**
- **Approche multi-vecteurs pour la flexibilité : électricité, chaleur, froid, gaz**
- **Approche intégrée multi-systèmes: énergie, urbanisme, économie, sociale**
- **De nouvelles technologies et de nouveaux usages pouvant fournir de la flexibilité (stockage, TIC, V2X, pilotage des charges)**
- **Cadre réglementaire, nouveaux métiers (gestionnaire de flexibilités, fournisseur de services système...) et jeux d'acteurs en construction**
- **Modèle de prédiction fiable à toutes les échelles temporelles**
- **Outils numériques : modélisation , simulation , optimisation , systèmes d'information**