

Stabilité des réseaux électriques de distribution en présence d'énergies renouvelables

Arshpreet Singh¹, Vincent Debusschere¹, Nouredine Hadjsaid¹, Benoit Bouzigon², Xavier Legrand²
¹ Univ. Grenoble Alpes, CNRS, Grenoble INP, G2Elab, 38000, Grenoble, France
² Enedis, France

I - Contexte

Les réseaux électriques subissent de fortes transformations suite à l'intégration des productions interfacées par convertisseurs (IBR), ce qui pose plusieurs défis techniques au GRD. En particulier, ces dispositifs contribuent de manière limitée au courant de court-circuit, font baisser l'inertie totale du système (moins de machines tournantes) et risquent de provoquer des **interactions entre les régulations**.

Questions à traiter

1. Risque d'instabilités SCIL au sein des réseaux HTA ?
2. Comment les éviter et/ou traiter ?
3. Quel rôle peuvent jouer les onduleurs Grid-Forming ?
4. Comment le GRD peut-il agir face à ces phénomènes ?

Objectif : Étudier le phénomène de la stabilité liée aux convertisseurs à interactions lentes (SCIL) au sein du réseau de distribution HTA.

II - Modélisation

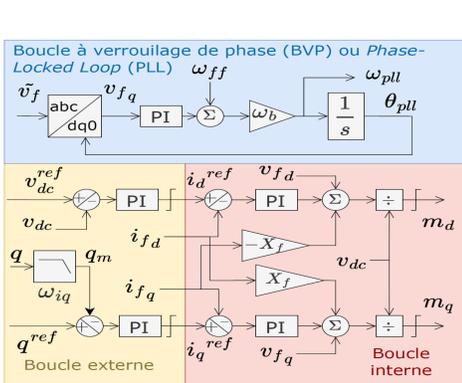


Figure 1 : Onduleur « grid-following »

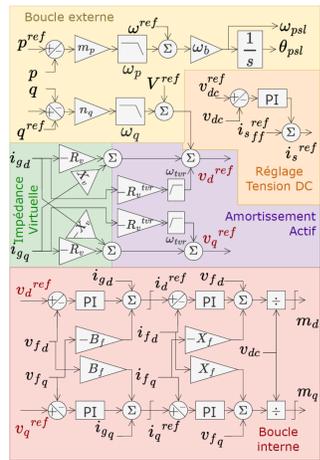


Figure 2 : Onduleur « grid-forming »

III - Stabilité petits-sinaux

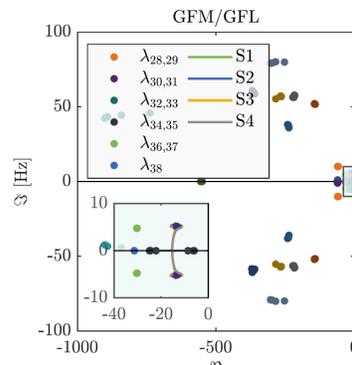
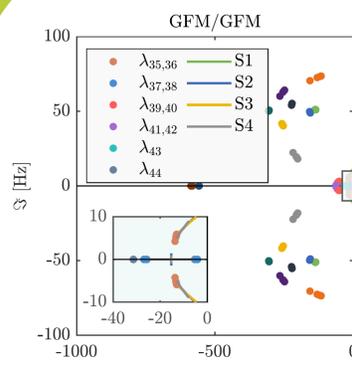


Figure 3 : Sensitivité des valeurs propres au paramètre m_p (droop) de l'onduleur 1. m_p : 0,005 \rightarrow 0,05

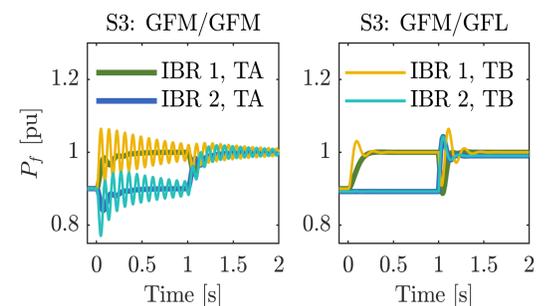


Figure 4 : Simulations temporelles pour illustrer les sensibilités présentées à la Fig. 5. Échelon de 0,1 pu sur p^{ref} . TA: $m_{p1} = 0,01$, TB: $m_{p1} = 0,045$.

IV - Renforcer la stabilité

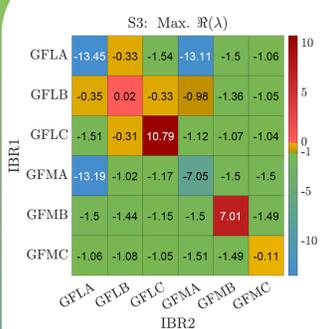


Figure 5 : Configurations limites pour les bornes originales

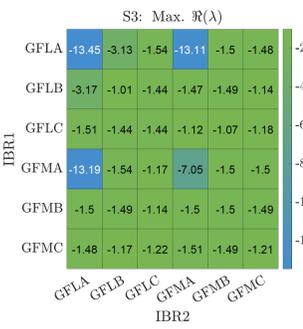


Figure 6 : Configurations limites pour les bornes modifiées

V - Optimisation des bornes

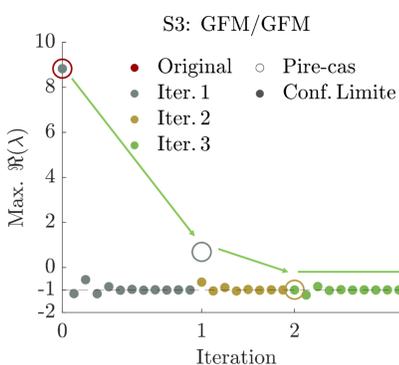
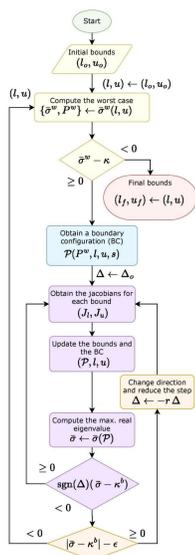


Figure 7 : Méthode heuristique pour retrouver des bornes stabilisantes

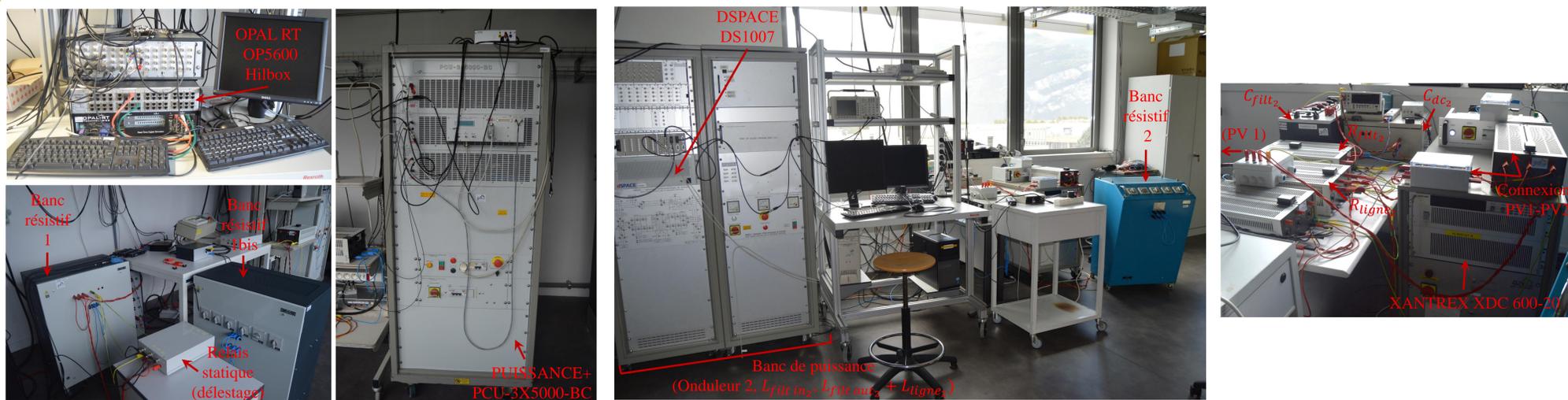
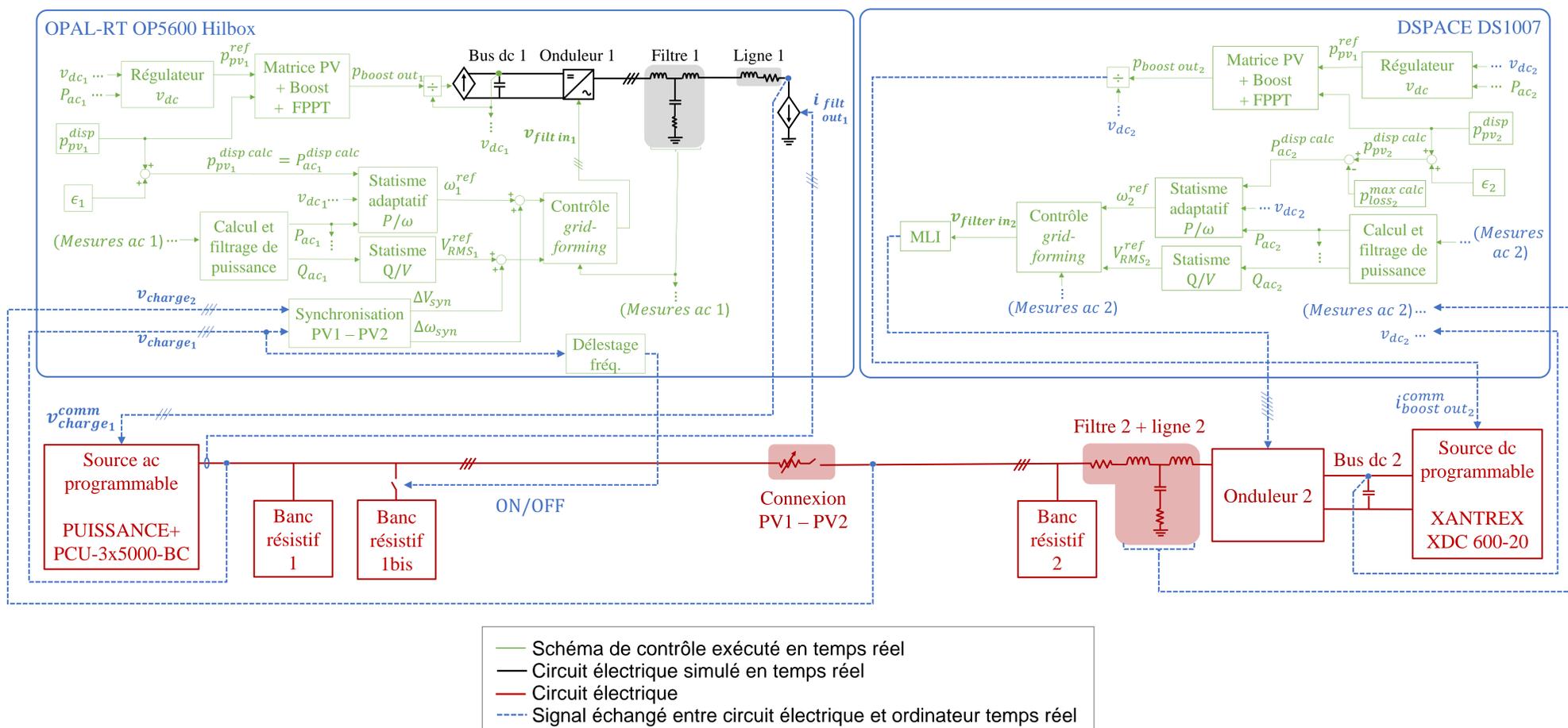
1. Méthode **évolutive**
2. Rapide: environ 50x plus rapide que les méthodes alternatives
3. Exemple : solution de surface 78% trouvée en 3 itérations (~3min.).

VI - Conclusion

1. Instabilité **SCIL possible** dans des réseaux de distribution: réseau faible (GFL), réseau fort (GFM), mauvais réglage des paramètres-clés.
2. **GFM fondamentale** pour l'intégration des IBRs (attention aux interactions).
3. Rôle important du GRD, notamment à travers la spécification des **paramètres clés et leurs limites**.
4. Modélisation générique et paramètres «équivalents» : avancer vers la **standardisation**.

Banc expérimental pour tester des stratégies décentralisées de partage de puissance sur des générateurs intermittents

Candelaria Utrilla¹, Cedric Boudinet¹, William Norris¹, Jérôme Buire¹, Vincent Debusschere¹, Nouredine Hadjsaid¹, David Frey¹
¹ Univ. Grenoble Alpes, CNRS, Grenoble INP, G2ELab, 38000, Grenoble, France



- Centrales photovoltaïques contrôlées en mode **grid-forming** (côté ac) et **FPPT** (côté dc)
- Possibilité d'exécuter des **changements de charge et/ou d'irradiation**
- **Prise en compte des erreurs d'estimation** de la puissance photovoltaïque disponible
- Maximisation du nombre d'éléments électrotechniques réels (i.e., non simulés)

Apport des mesures des compteurs Linky pour une meilleure connaissance des charges du réseau de distribution

Guilherme Ramos Milis^{1,2}, Marie-Cécile Alvarez-Hérault¹, Raphaël Caire¹, Christophe Gay², Bruno Gourguechon², Manuel Billaud²
¹ Univ. Grenoble Alpes, CNRS, Grenoble INP, G2Elab, 38000, Grenoble, France
² Enedis, France

OBJECTIF



- Exploiter pleinement les données des compteurs Linky désormais accessibles en masse pour estimer de façon dynamique les charges de référence du réseau Basse Tension
- Concevoir une approche disruptive pour bâtir des connaissances sur les comportements des charges

CONTEXTE

- Un parc de 36M de compteurs intelligents désormais déployé ...

Index quotidiens de consommation et de production

Exploitation des courbes de charge infra-journalières selon accord clients

P_{max} horodatée

Indicateurs de qualité de fourniture



- ... dont l'exploitation des mesures doit permettre d'appréhender l'évolution fondamentale des usages électriques impactant le réseau



Des usages nouveaux consommateurs d'électricité : 1 102 975 VE et VHR roulaient fin 2022

L'insertion massive d'énergies renouvelables sur le réseau augmente la tension. Au 4er trimestre 2022, 634 733 sites de production raccordés au RPD



Des clients qui auto-consomment une partie de leur production : au 4er trimestre de 2022, Enedis a 239 598 clients raccordés en autoconsommation individuelle



FOISONNEMENT

$$\text{Diversity Factor} = \frac{\sum \text{Individual Peaks}}{\text{Group Peak}}$$

$DF \geq 1$

P_{max} Linky + P_{max} Non Linky

max Courbe Pinky

PINKY

Compteurs intelligents à maille Poste HTA/BT



Courbe de charge du Poste

- Pour une quantité limitée de postes

Démarche

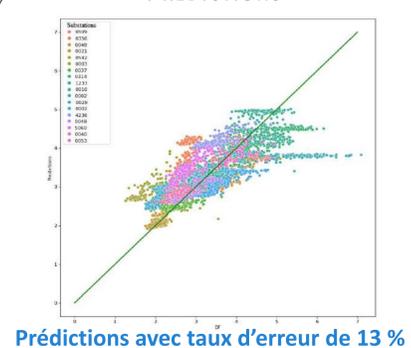
- Développer un modèle pour prédire le DF
- Etudier les facteurs plus importantes pour la variation du DF
- Comparer les résultats obtenus avec d'autres méthodes de calcul de la P_{max} à maille du poste HTA/BT

Données d'entrée

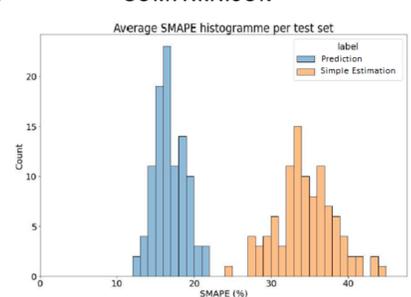
- 89 réseaux sur une période de 07/2021 à 07/2022, 12352 clients au total ;
- Données Réseau : P_{max} Linky ;
- Données Clients : Type de clients & données de puissance souscrite ;
- Données Météo : Température, nébulosité des stations météo, zone climatique RT2012 & type de territoire.

RÉSULTATS

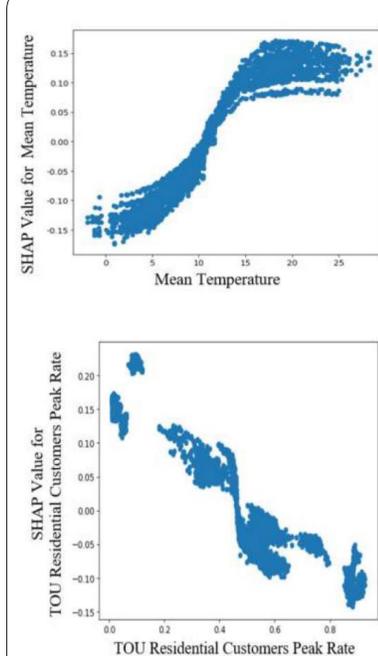
PRÉDICTIONS



COMPARAISON



EXPLICABILITÉ DU MODÈLE



Proportion d'onduleurs en grid-forming pour le fonctionnement stable d'un réseau BT îloté en utilisant la production EnR locale

Jane Marchand¹, Jérôme Buire¹, Vincent Debusschere¹, Nouredine Hadjsaid¹, Nabil El Jarrai² et Jean Pompée²
¹ Univ. Grenoble Alpes, CNRS, Grenoble INP, G2Elab, 38000, Grenoble, France
² Enedis, France

I - Contexte

→ **Objectif** : Réalimenter un départ BT îloté sans groupe électrogène, en utilisant uniquement les onduleurs PV installés localement.



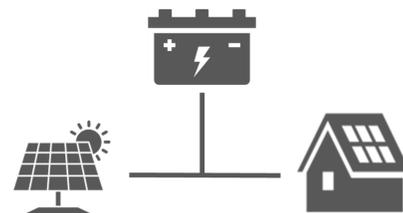
Réduire le temps de coupure



S'affranchir des énergies fossiles et réduire le bilan carbone



Augmenter la résilience locale

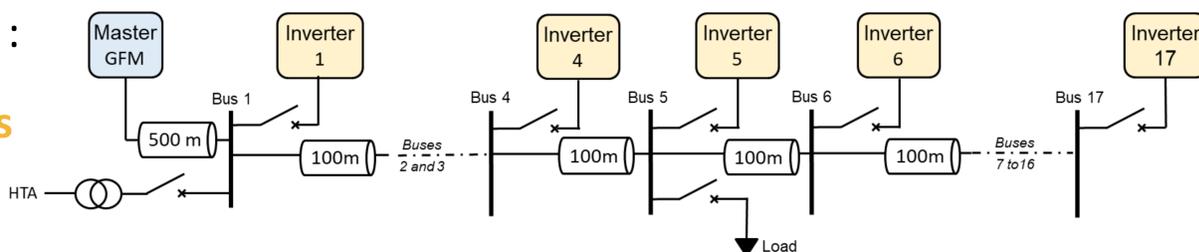


→ **Défi** : Comment assurer le **fonctionnement stable** du micro-réseau avec de multiples onduleurs de petites taille ? Quelle **proportion** des onduleurs doit-elle être en grid-forming ?

II - Méthodologie

Simulations EMT en triphasé équilibré :

- Plusieurs scénarios : **1 à 3 onduleurs grid-forming (GFM)**, de puissance variable



- Pour chaque scénario, **combien d'onduleurs grid-following (GFL)** peuvent-ils être connectés tout en maintenant la stabilité du système ?

II - Résultats

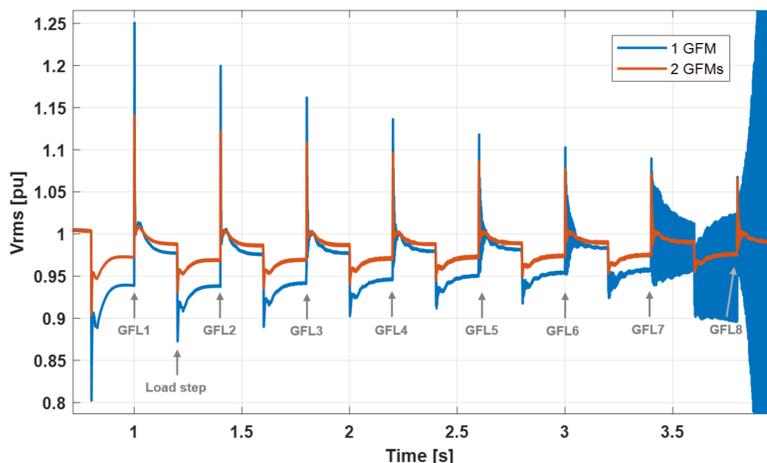


Figure : Connexion successive d'onduleurs GFL, en présence d'un ou deux onduleur en GFM.

→ L'impact de plusieurs paramètres sur la stabilité du système est investiguée.

Paramètres	Impactant ?
Nombre d'onduleurs GFL n_{GFL}	Oui
Nombre d'onduleurs GFM n_{GFM}	Non
Puissance totale GFL injectée P_{GFL}	Oui
Capacité totale GFM P_{GFM}	Oui

Ouverture : Quels autres paramètres pourraient impacter la stabilité ?

→ Droop, longueur de ligne, impédance virtuelle ...

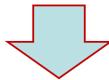
Impact des productions renouvelables intégrant de l'électronique de puissance sur le réglage des protections des réseaux électriques de distribution

Lainser Sklab¹, Bertrand Raison¹, Manuel Billaud², Benjamin Schuler², Christophe Boisseau²
¹ Univ. Grenoble Alpes, CNRS, Grenoble INP, G2Elab, 38000, Grenoble, France
² Enedis, France

I - Contexte

Forte pénétration des énergies renouvelables connectées au réseau à travers des convertisseurs statiques

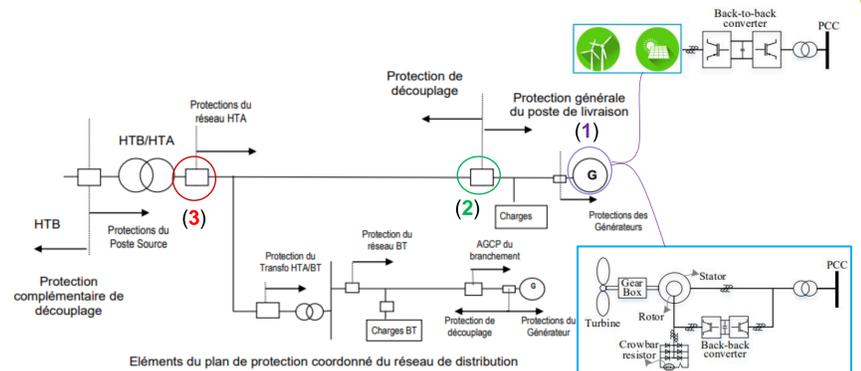
- Le comportement et la contribution des convertisseurs au courant de court-circuit dépendent fortement de leur commande et diffèrent de ceux d'un générateur synchrone
- Risque de déclenchement intempestif ou aveuglement des protections
- Risque d'une mauvaise modélisation de ces ouvrages dans le logiciel de simulation Powerfactory chez Enedis



- Besoin de connaissance du pilotage et du comportement réel des producteurs à base de l'électronique de puissance lors d'un défaut sur le réseau HTA
- Détermination des impacts sur le réglage des protections de tête de départ pour un défaut en amont et en aval des producteurs
- Comparaison et conclusion sur les modèles de producteurs utilisés dans le logiciel de simulation Powerfactory chez Enedis

II - Méthodologie

- Description des différents types de systèmes de production EnR connectés au réseau HTA
- Modélisation et comportement des différents producteurs selon la norme IEC 60909 et PowerFactory (1)
- Pilotage et comportement réel des convertisseurs statiques en cas de défaut sur le réseau HTA vis-à-vis de la protection de découplage (1) (2)
- Comparaison avec les résultats obtenus avec le logiciel PowerFactory et la norme IEC 60909
- Evaluation des réglages des protections de tête de départ pour un défaut en amont et en aval des producteurs (3)



III - Résultats

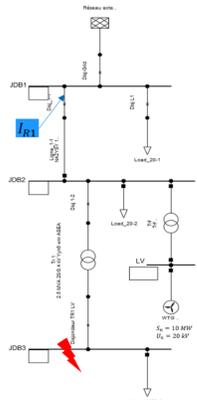
- Comportement des producteurs connectés au RPD:
 - Pour les défauts biphasés minimaux, la contribution des producteurs n'est pas prise en compte selon la norme et PF.
 - L'absence de prise en compte de la contribution aux courants de défaut sous PF est questionnable
- Impact de producteurs sur les défauts en aval :
 - Diminution du courant de court-circuit vu par la protection de la tête de départ pour un défaut en aval du producteur
 - Risque d'aveuglement de la protection en tête de départ

lcc_biphasé_min avec lcc_prod = 2,5*I_n

	I _{R1} [kA] (selon PF/norme)	I _{R1} [kA] (calculs à la main avec les modèles de la norme)
Sans Producteur	0,543	0,543
Avec Producteur	0,543	0,436
Avec Producteur (10°Sn)	0,543	0,142

lcc_triphasé_max avec lcc_prod = 2,5*I_n

	I _{R1} [kA] (calculs PF selon la norme)	I _{R1} [kA] (calculs à la main selon la norme)
Sans Producteur	0,760	0,760
Avec Producteur	0,661	0,661
Avec Producteur (10°Sn)	0,246	0,246



IV - Perspectives

- Comprendre encore plus le plan de protection HTA et le fonctionnement des protections de découplages vis-à-vis de l'algorithme de contrôle des convertisseurs statiques lors d'un défaut
- Analyse du comportement réel des convertisseurs statiques
- Comparaison avec les résultats obtenus avec le logiciel PowerFactory et la norme IEC 60909
- Evaluation et conclusion sur les réglages des protections de tête de départ pour un défaut en amont et en aval des producteurs

Dispositifs innovants en électronique de puissance pour les services réseaux basse tension en présence d'un fort taux d'énergies renouvelables et de véhicules électriques

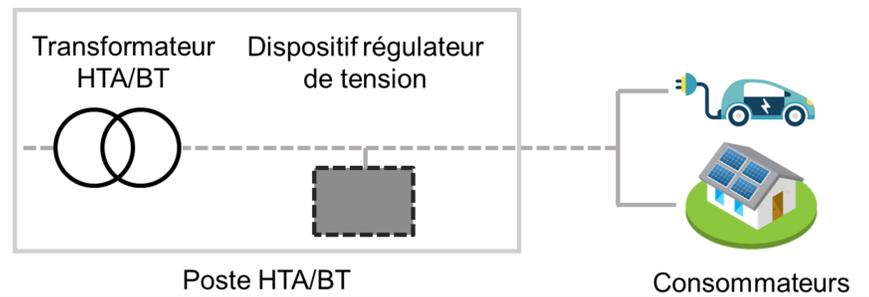
Sabine Vieira Reinert Frello¹, David Frey¹, Yvon Besanger¹, Nouredine Hadjsaid¹, Michel Cordonnier², Guillaume Langlet², Léonard Bacaud²

¹ G2ELab, CNRS, Grenoble INP, Univ. Grenoble Alpes, 38000 Grenoble, France

² Enedis, France

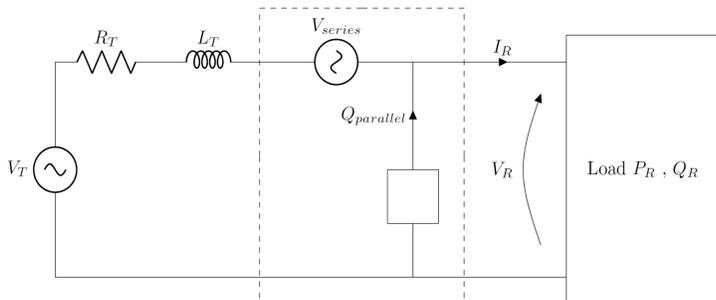
Contexte

- Développement de la production photovoltaïque (PV) et de la consommation par la recharge des véhicules électriques (VE) en basse tension (conséquences possibles : tensions hautes ou basses locales et perturbations harmoniques au niveau du transformateur HTA/BT).
- Option pour différer le renforcement du réseau : ajout de régulateurs de tension à faible coût basés sur des convertisseurs de puissance entre les transformateurs et les charges.

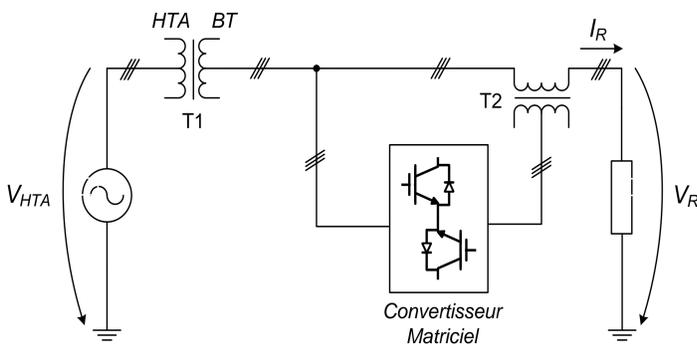


État-de-l'Art

- Identification des régulateurs de tension pour réseaux moyenne et basse tension :
 - Solutions à base de transformateurs réglables.
 - Solutions à base d'électronique de puissance.
- Sélection des structures d'électronique de puissance pour le cas d'usage :
 - Structures classiques : Onduleurs de tension en série et en parallèle.

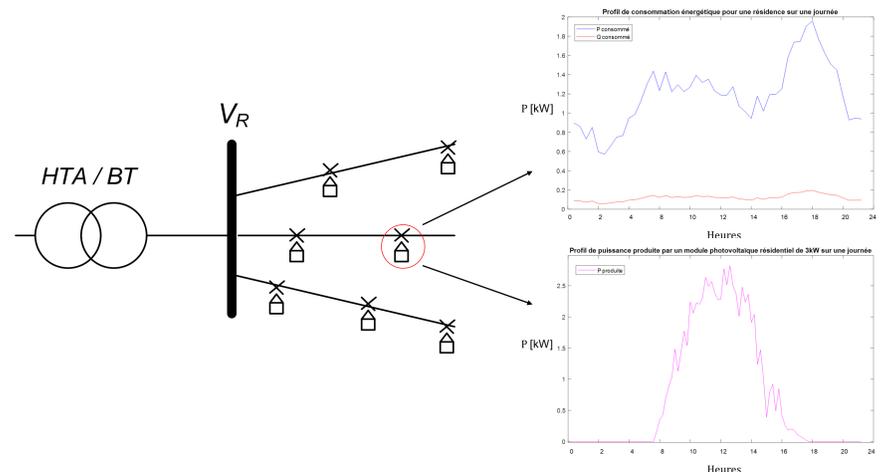


- Structure plus proche du principe de régulateur en charge : Système à base de convertisseur matriciel associé à un transformateur basse fréquence.



Modélisation et Analyses Préliminaires

- Analyse de la tension du départ BT (V_R) à partir des profils des charges.



- Analyse des effets de la compensation de tension et injection de puissance réactive à côté du transformateur HTA/BT :
 - Injection de puissance réactive à côté du transformateur HTA/BT inefficace pour le réglage de la tension dans le réseau basse tension (compensation parallèle par injection de puissance réactive nécessite une impédance amont importante).
 - Compensation de tension en série efficace, mais limitée pour l'augmentation de la tension.
 - Possibilité d'associer les deux méthodes : série augmente l'impédance amont et parallèle permet le réglage de la tension.
- Réglage de tension basé sur le convertisseur matriciel associé à un transformateur basse fréquence :
 - Réglage fin ou réglage en escalier.

Objectifs et Prochaines Étapes

- Développement d'une ou plusieurs structures d'électronique de puissance, sous contraintes de volume, coût, limitation de la puissance de court-circuit, réparabilité et rendement, pour assurer la stabilité de la tension dans le réseau de distribution avec forte pénétration de production décentralisée.
- Construction des prototypes des structures d'électronique de puissance sélectionnées.
- Tests des prototypes et évaluation de ses performances par rapport aux contraintes et impact réseau.
- Analyse coût-bénéfice de l'implémentation des structures innovantes proposées par rapport aux solutions existantes.