Développement de nouvelles méthodes pour l'étude de la stabilité des réseaux électriques avec une forte intégration des énergies renouvelables (GRID-STab)

Description de la Thèse

Thèse de doctorat en cotutelle entre Centrale Lille Institut et l'Ecole Polytechnique de Tunisie

Laboratoires

- L2EP : Laboratoire d'électrotechnique et d'électronique de puissance, Lille – France (https://l2ep.niv-lille.fr)
- LIM : Laboratoire d'Ingénierie Mathématique à l'Ecole Polytechnique de Tunisie (EPT), La Marsa, Tunisie (http://www.ept.rnu.tn/).

Equipe d'Encadrement

- Pr. GUILLAUD Xavier (L2EP)
- Pr. JAMMAZI Chaker (LIM)
- Dr. BELHAOUANE Moez (L2EP)

Introduction et Contexte Général

La Commission Européenne a lancé le Pacte Vert pour l'Europe (« Green Deal »), une initiative ambitieuse visant à accélérer la transition énergétique et à atteindre la neutralité carbone d'ici 2050. Parmi les objectifs clés du « Green Deal » figurent des cibles spécifiques pour 2030, notamment l'intégration de 40 % d'énergies renouvelables dans le mix énergétique européen et l'augmentation de la part de l'électricité à 30 % dans la consommation finale d'énergie. Cette dernière sera en grande partie soutenue par l'électrification accrue de divers secteurs, notamment les transports, le chauffage et l'industrie, afin de réduire la dépendance aux énergies fossiles et de favoriser un système énergétique plus durable et résilient.

Ainsi, les gestionnaires de réseaux doivent anticiper la transition énergétique marquée par une forte intégration des sources d'énergie renouvelable (EnR), notamment éolienne et solaire, connectées aux réseaux de transport et de distribution. Ces sources d'énergie renouvelable étant intermittentes, elles nécessitent également le recours à des solutions de stockage d'énergie. Par ailleurs, les EnR et leurs systèmes de stockage associés sont intégrés au réseau par le biais de dispositifs d'électronique de puissance, ce qui entraîne une augmentation significative des ressources basées sur des onduleurs (« Inverter-Based Resources » ou IBR). Comme le montre la Figure 1, cette évolution est susceptible de modifier la dynamique du réseau électrique, car les IBR se comportent différemment des unités de production traditionnelles basées sur des machines tournantes.

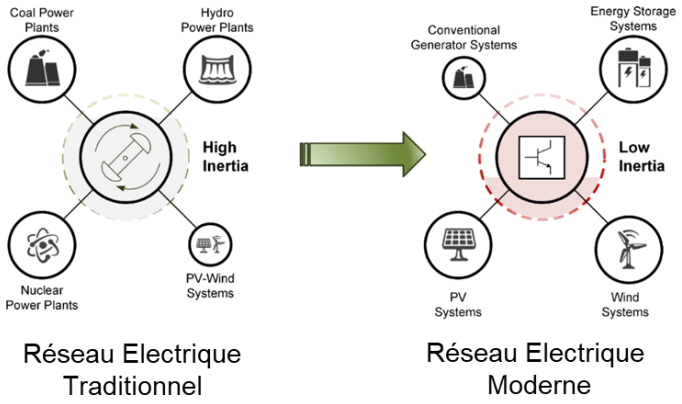

Figure 1 : *Evolution du réseau électrique*

En conséquence, les gestionnaires de réseaux électriques doivent mettre en œuvre des solutions d'analyse et de contrôle intelligentes et adaptatives pour répondre efficacement à ces nouvelles exigences. Dans un contexte où les dispositifs d'électronique de puissance occupent une place croissante dans les réseaux électriques, il est essentiel de garantir une transmission et une distribution d'énergie sûres et fiables tout en répondant aux nouvelles problématiques de stabilité des réseaux modernes, ce qui nécessite même d'élargir la classification de la notion de stabilité [1]. Pour cela, le développement de méthodes avancées d'évaluation de la stabilité du système électrique devient indispensable, permettant non seulement d'identifier les risques d'instabilité, mais aussi d'anticiper ces risques dans des conditions de fonctionnement variées [2].

Verrous Scientifiques

- Limitation des analyses traditionnelles basées sur des modèles linéarisés et les valeurs propres du système électrique commandé.
- Manque de critères formels et d'indicateurs précis pour évaluer la stabilité globale du système.
- Placement et dimensionnement optimal des convertisseurs en GFM (Grid Forming) pour élargir le domaine de stabilité.
- Intégration de modèles « boîte noire » dans l'étude de la stabilité en petits signaux des réseaux électriques.
- Impact du point de fonctionnement sur la stabilité et évaluation de la stabilité globale tout au long de la trajectoire du système.

Objectifs de la thèse

Le sujet de thèse proposé s'inscrit dans la continuité des travaux réalisés au sein de l'équipe réseaux électriques du L2EP sur la stabilité des réseaux électriques avec une forte proportion d'électronique de puissance, et en particulier les travaux récents de M. Lamrani [3]. Les objectifs de la thèse s'articulent autour des axes suivants :

- **Approfondissement de l'analyse de stabilité en petits signaux :** Développement de critères précis et indicateurs avancés pour anticiper les instabilités et optimiser le placement des convertisseurs en mode GFM.
- Analyse de stabilité en intégrant les modèles « boites noires ».
- **Etude de stabilité pour plusieurs points de fonctionnement :** Développement de méthodologies pour analyser la stabilité le long de la trajectoire du système.

Déroulement et localisation de la thèse

Cette thèse de doctorat, d'une durée de trois ans, est réalisée en cotutelle entre le laboratoire L2EP (Lille, France) et le laboratoire LIM de l'École Polytechnique de Tunisie.

Le doctorant effectuera la première partie de sa thèse (18 mois) au sein du L2EP, en France, puis poursuivra la seconde partie au laboratoire LIM, en Tunisie, pour une durée de 18 mois également.

Profil souhaité

- Être titulaire d'un diplôme d'ingénieur (niveau 7) ou d'un Master (MSc) avec une spécialisation en systèmes électriques ou en électronique de puissance appliquée aux réseaux électriques.
- Avoir obtenu d'excellents résultats académiques.
- Avoir un fort intérêt pour le travail en équipe
- Avoir des fortes connaissances dans un ou plusieurs des domaines suivants : dynamique des réseaux électriques, conception de contrôle, convertisseurs d'électronique de puissance, réseaux électriques et stabilité des systèmes dynamiques complexes.
- Posséder d'excellentes compétences en communication écrite et orale en français et en anglais.

Comment postuler ?

Pour candidater à ce sujet de thèse, merci d'envoyer les éléments suivants par courriel à l'adresse suivante : phd.position@epmlab.eu

- CV
- Lettre de motivation
- Lettres de recommandation (au moins une lettre de votre encadrant de stage de master, ou d'un autre référent académique ou professionnel)
- Relevés de notes des deux dernières années ainsi que les classements

Les candidats présélectionnés seront évalués sur leurs compétences techniques ainsi que sur leur potentiel en recherche. Pour toute information complémentaire, n'hésitez pas à contacter : Xavier GUILLAUD (xavier.guillaud@centralelille.fr) et Moez BELHAOUANE (moez.belhaouane@univ-lille.fr).

Références Bibliographiques

[1] N. Hatziargyriou, J. Milanovic, C. Rahmann, V. Ajjarapu, C. Canizares, I. Erlich, D. Hill, I. Hiskens, I. Kamwa, B. Pal, P. Pourbeik, J. Sanchez-Gasca, A. Stankovic, T. Van Cutsem, V. Vittal, and C. Vournas, "Definition and Classification of Power System Stability – Revisited & Extended," IEEE Transactions on Power Systems, vol. 36, no. 4, pp. 3271–3281, Jul. 2021.

[2] C. Cardozo, T. Prevost, S.-H. Huang, J. Lu, N. Modi, M. Hishida, X. Li, A. Abdalrahman, P. Samuelsson, T. V. Cutsem, Y. Laba, Y. Lamrani, F. Colas, and X. Guillaud, "Promises and Challenges of Grid Forming: Transmission System Operator, Manufacturer and Academic Viewpoints," 2024.

[3] Y. Lamrani, "Localisation optimale des convertisseurs grid forming sur les réseaux de transport pour l'amélioration de la stabilité petits signaux," Centrale Lille Institute, 2024.

Development of New Methods for Stability Assessment of Power Grids with High Integration of Renewable Energy Sources (GRID-STab)

PhD Description

PhD thesis under joint supervision between Centrale Lille Institute and the Polytechnic School of Tunisia

Research Groups

- L2EP : Laboratoire d'électrotechnique et d'électronique de puissance, Lille – France (https://l2ep.niv-lille.fr)
- LIM : Laboratoire d'Ingénierie Mathématique à l'Ecole Polytechnique de Tunisie (EPT), La Marsa, Tunisie (http://www.ept.rnu.tn/).

Supervisors

- Pr. GUILLAUD Xavier (L2EP)
- Pr. JAMMAZI Chaker (LIM)
- Dr. BELHAOUANE Moez (L2EP)

Introduction and General Context

The European Commission has launched the Green Deal, an ambitious initiative aimed at accelerating the energy transition and achieving carbon neutrality by 2050. Among the key objectives of the Green Deal are specific targets for 2030, including the integration of 40% renewable energy in the European energy mix and increasing the share of electricity to 30% of final energy consumption. This latter objective will be largely supported by the increased electrification of various sectors such as transport, heating, and industry, to reduce dependence on fossil fuels and promote a more sustainable and resilient energy system.

Thus, grid operators must anticipate the energy transition characterized by a high integration of renewable energy sources (RES), particularly wind and solar, connected to both transmission and distribution networks. Since these renewable sources are intermittent, they also require the use of energy storage solutions. Furthermore, RES and their associated storage systems are integrated into the grid via power electronic converters, leading to a significant increase in inverter-based resources (IBRs). As shown in Figure 1, this shift is likely to alter the dynamics of the power system, as IBRs behave differently from conventional generation units based on rotating machines.

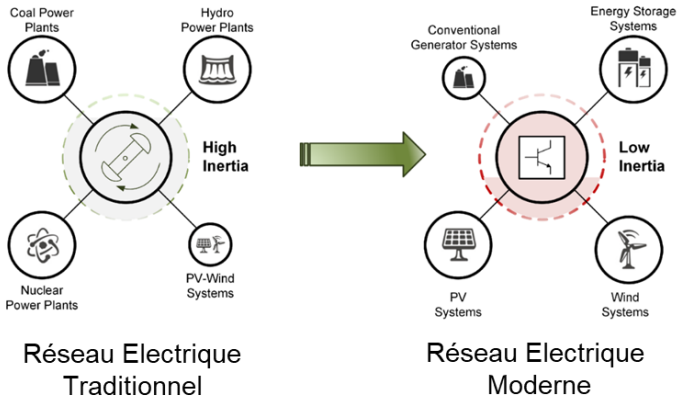

Figure 1 : *Power system evolution*

As a result, power system operators must implement intelligent and adaptive analysis and control solutions to effectively address these new requirements. In a context where power electronic devices play an increasingly prominent role in electrical networks, it is essential to ensure safe and reliable energy transmission and distribution while addressing the emerging stability challenges of modern grids, which that even call for an expanded definition of the concept of stability [1]. To this end, the development of advanced methods for assessing power system stability has become essential, not only to identify instability risks but also to anticipate them under a wide range of operating conditions [2].

Scientific Challenges

- Limitations of traditional analyses based on linearized models and eigenvalue assessments of the controlled power system.
- Lack of formal criteria and precise indicators to assess the overall stability of the system.
- Optimal placement and sizing of Grid-Forming (GFM) converters to expand the stability domain.
- Integration of black-box models into the small-signal stability analysis of power systems.
- Impact of the operating point on system stability and assessment of global stability along the electrical system trajectory.

PhD Objectives

The proposed PhD topic builds on the ongoing research conducted by the Power Systems Team at L2EP on the stability of electrical grids with a high share of power electronics, and in particular the recent work of Mr. Lamrani [3]. The objectives of the PhD are structured around the following key areas:

- **Deepening small-signal stability analysis:** Development of precise criteria and advanced indicators to anticipate instabilities and optimize the placement of Grid-Forming (GFM) converters.
- Stability analysis integrating black-box models.

- **Stability analysis across multiple operating points:** Design of advanced strategies to assess system stability along its dynamic trajectory.

Thesis Progression and Location

This three-year PhD thesis is carried out under a joint supervision agreement between the L2EP laboratory (Lille, France) and the LIM laboratory at the Polytechnic School of Tunisia.

The doctoral candidate will spend the first part of the thesis (18 months) at L2EP in France, followed by the second part (also 18 months) at LIM in Tunisia.

Requirements

- Hold an engineering degree (Level 7) or a master's degree (MSc) with a specialization in electrical power systems or power electronics applied to electrical grids.
- Demonstrated an excellent academic performance.
- Strong interest in the teamwork
- Strong knowledge in one or more of the following areas: power system dynamics, control design, power electronic converters, electrical grids and stability of complex dynamic systems.
- Excellent written and oral communication skills in both French and English.

How to Apply ?

To apply for this PhD position, please send the following documents by email to the following address: phd.position@epmlab.eu

- CV
- Cover letter
- Reference letters (at least one from your Master's internship supervisor, or another academic or professional referee)
- Grades obtained from the last two academic years and ranks.

Shortlisted candidates will be evaluated based on their technical skills as well as their research potential. For any further information, please do not hesitate to contact: Xavier GUILLAUD (xavier.guillaud@centralelille.fr) and Moez BELHAOUANE (moez.belhaouane@univ-lille.fr).

Bibliographic References

[1] N. Hatziargyriou, J. Milanovic, C. Rahmann, V. Ajjarapu, C. Canizares, I. Erlich, D. Hill, I. Hiskens, I. Kamwa, B. Pal, P. Pourbeik, J. Sanchez-Gasca, A. Stankovic, T. Van Cutsem, V. Vittal, and C. Vournas, "Definition and Classification of Power System Stability – Revisited & Extended," IEEE Transactions on Power Systems, vol. 36, no. 4, pp. 3271–3281, Jul. 2021.

[2] C. Cardozo, T. Prevost, S.-H. Huang, J. Lu, N. Modi, M. Hishida, X. Li, A. Abdalrahman, P. Samuelsson, T. V. Cutsem, Y. Laba, Y. Lamrani, F. Colas, and X. Guillaud, "Promises and Challenges of Grid Forming: Transmission System Operator, Manufacturer and Academic Viewpoints," 2024.

[3] Y. Lamrani, “Localisation optimale des convertisseurs grid forming sur les réseaux de transport pour l'amélioration de la stabilité petits signaux,” Centrale Lille Institute, 2024.