

# Offre de thèse de doctorat – PhD student position

## Résilience d'un réseau mixte AC - DC

### Resilience of an AC DC grid

Encadrants - advisors : Roman Le Goff Latimier, Rita Mbayed, Hamid Ben Ahmed, Gurvan Jodin

Contact : [roman.legoff-latimier@ens-rennes.fr](mailto:roman.legoff-latimier@ens-rennes.fr) ; [rita.mbayed@esiee.fr](mailto:rita.mbayed@esiee.fr)

Laboratoire : IETR, ENS Rennes et SATIE, ESIEE

## Contexte scientifique

Du fait de la transition énergétique, les réseaux électriques traversent une profonde évolution. La généralisation des productions renouvelables variables, l'exploitation croissante des consommations flexibles, l'adoption du véhicule électrique, l'apparition de stockages d'énergie distribués, sont autant de manifestations de cette évolution [1]. Les réseaux de distribution accueillent la majeure partie de ces nouveaux acteurs, en terme de nombres d'agents si ce n'est de capacité raccordée [2].

Ces nouvelles catégories d'agents raccordés aux réseaux de distribution partagent plusieurs caractéristiques. D'une part elles sont connectées via des modules d'électronique de puissance : bornes de recharge de véhicules, onduleurs de panneaux photovoltaïques, ... D'autre part bien que le réseau soit en courant alternatif, le fonctionnement interne de ces agents repose souvent sur une tension continue : tension d'une batterie ou d'une cellule photovoltaïque. Dans ce contexte, l'évolution des réseaux de distribution pourrait passer par le déploiement de réseaux mixtes AC-DC [4, 3]. Des appareils fonctionnant naturellement en tension continue pourraient alors être reliés entre eux directement. Ceci permettrait d'éviter de déployer des convertisseurs additionnels et donc de diminuer les coûts environnementaux et économiques. En revanche des onduleurs de plus forte puissance seraient nécessaires pour constituer les passerelles entre les sections AC et DC du réseau mixte.

De tels réseaux mixtes visent à intégrer au mieux les productions décentralisées et les moyens de stockage. Ces équipements sont autant de sources d'électricité potentielles qui pourraient prendre le relais du réseau principal alimentant la poche de distribution lors d'une défaillance. Il est donc nécessaire de reconsidérer les critères de sécurité d'approvisionnement et les réactions en cas de défaut, en prenant en compte ces nouvelles infrastructures.

Ce sujet de thèse vise donc à étudier la résilience d'un réseau mixte AC-DC. Pour ce faire, on se propose d'étudier aussi bien l'amont que l'aval d'un défaut afin de minimiser ses conséquences.

- La position des points d'ouverture possibles doit tout d'abord être réfléchie afin de contenir au mieux le défaut, mais également pour permettre le fonctionnement autonome (îlotage) d'une zone capable d'être autosuffisante.
- Les schémas de protection et de mise à la terre sont prévus pour des réseaux AC d'une part et DC d'une part. L'interaction de ces deux systèmes dans un réseau mixte nécessite une étude spécifique

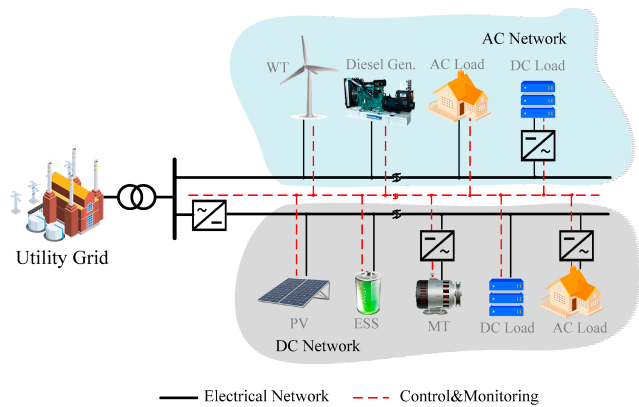


FIGURE 1 – Exemple élémentaire de topologie de réseau mixte AC-DC [5]. Les productions distribuées permettent l'îlotage en cas de défaut.

afin de garantir le bon fonctionnement en mode sain et la détection efficace d'un évènement.

- Lors de la survenue d'un défaut, sa détection peut nécessiter de croiser des mesures faites en plusieurs points. Ceci implique l'utilisation d'un réseau de communication, conjointement avec le réseau de puissance. Les défauts spécifiques au réseau de communication devront être pris en compte.
- Une fois le défaut détecté et circonscrit et dans l'attente du rétablissement du fonctionnement nominal, l'îlotage d'une zone permet de réduire les nuisances liées au défaut. Cela nécessite toutefois un contrôle spécifique et complexe. La poche îlotée ne dispose plus d'aucune inertie physique. Une interaction spécifique entre les réseaux de puissance et de communication est alors nécessaire pour réguler les flux de puissance.

## Compétences recherchées

Le candidat doit avoir des connaissances préalables en génie électrique : électronique de puissance, simulation de convertisseurs, automatique. La maîtrise d'un langage de calcul scientifique (Python, Julia, Matlab...) est attendue. Un intérêt pour la régulation des réseaux électriques dans leur ensemble est attendu.

Au delà des compétences scientifiques, le ou la candidat fera preuve de curiosité et doit être capable de travailler en autonomie sur des tâches variées allant de la théorie à la pratique en passant par la simulation et la rédaction.

## Environnement du projet et organisation du travail

Ce sujet de thèse s'inscrit au sein du projet DC Architect, financé par le Programme et Equipement Prioritaire de Recherche PEPR Technologies Avancées des Systèmes Énergétiques TASE<sup>1</sup>. Ce projet concerne l'étude des lois de contrôle optimales d'un réseau de distribution moyenne tension mixte AC-DC, ainsi que sa conception optimale. L'équipe 'Systèmes Energétiques et transduCteurs Electriques Soutenables' SyEnsCES du laboratoire IETR et l'équipe 'Transducteurs et Systèmes d'Energie' TeSE du laboratoire SATIE y sont impliquées en partenariat avec le laboratoire Ampère à Lyon.

Cette thèse se déroulera au sein du laboratoire IETR à l'ENS de Rennes, campus de Ker Lann. Sa durée est de 36 mois.

La ou le doctorant sera intégré dans l'équipe SyEnsCES : Systèmes Energétiques et transduCteurs Electriques Soutenables, composée de chercheurs et d'enseignants chercheur, ainsi que d'une dizaine de doctorants, postdoc et ingénieur de recherche. Cette équipe de recherche développe des thématiques centrées sur la conception et le contrôle de systèmes d'énergie, allant du transducteur au réseau électrique.

Les membres de cette équipe de recherche font également partie du département de Mécatronique de l'ENS Rennes. Ce département rassemble une équipe d'une dizaine de d'enseignants et d'enseignants-chercheurs, ainsi que plus d'une vingtaine de doctorants, ingénieurs, post-doctorants et stagiaires.

## Références

- [1] Mohammad Amin GILANI, Ahad KAZEMI et Mostafa GHASEMI. "Distribution system resilience enhancement by microgrid formation considering distributed energy resources". In : Energy 191 (2020), p. 116442.

---

1. <https://www.celluleenergie.cnrs.fr/pepr/technologies-avancees-des-systemes-energetiques-tase/>

- [2] Rong-Ceng LEOU, Chun-Lien SU et Chan-Nan LU. “Stochastic analyses of electric vehicle charging impacts on distribution network”. In : IEEE Transactions on Power Systems 29.3 (2013), p. 1055-1063.
- [3] Eneko UNAMUNO et Jon Andoni BARRENA. “Hybrid ac/dc microgrids—Part II : Review and classification of control strategies”. In : Renewable and Sustainable Energy Reviews 52 (2015), p. 1123-1134.
- [4] Peng WANG et al. “Harmonizing AC and DC : A hybrid AC/DC future grid solution”. In : IEEE Power and Energy Magazine 11.3 (2013), p. 76-83.
- [5] Xiong WU et al. “Hybrid AC/DC microgrid planning with optimal placement of DC feeders”. In : Energies 12.9 (2019), p. 1751.

# Scientific background

As a result of the energy transition, electrical networks undergo a profound evolution. The widespread use of variable renewable generation, the increase of flexible consumption, the adoption of electric vehicles and the emergence of distributed energy storage are all manifestations of these changes. Distribution networks are home to most of these new players, in terms of number of agents, if not connected capacity [2].

These new agents, when connected to the distribution network, share several characteristics. Firstly, they are connected via power electronics modules : vehicle charging points, photovoltaic panel inverters, etc. Secondly, although the network is AC, the internal operation of these agents is often based on DC sources : battery, photovoltaic cell. In this context, the development of distribution networks could involve the deployment of mixed AC-DC networks [4, 3]. Appliances operating naturally on DC voltage could then be connected directly to each other avoiding additional converters and therefore reducing environmental and economic costs. However, higher-power inverters would be needed to form the gateways between the AC and DC sections of the mixed network.

Such mixed networks aim to integrate decentralised generation and storage resources as effectively as possible. When a fault occurs, these sources can take over from the main network and supply the isolated part. It is therefore mandatory to reconsider the security of supply criteria as well as the reactions in case of a fault, taking these new infrastructures into account.

The aim of this PhD project is therefore to study the resilience of a mixed AC-DC network. To do this, we propose to study both the upstream and downstream stages of a fault in order to minimise its consequences.

- The position of the possible opening points must be considered at first to contain the fault as well as to allow autonomous operation (islanding) of a zone capable of being self-sufficient.
- When a fault occurs, detecting it may require cross-checking measurements taken at several points. This implies the use of a communication network, in conjunction with the power network. Faults specific to this communication network must be taken into account.
- Once the fault has been detected and contained, and prior to the re-establishment of the nominal operation, the nuisance caused by the fault can be reduced by islanding a zone. However, this requires specific and complex control. A particular interaction between the power and communication networks is therefore required to regulate power flows.
- The issue of restoring the connexion after a blackout shall be studied as well especially that the islanded zone has no physical energy and is unable to auto-synchronize naturally.

## Skills required

The candidate must have previous knowledge of electrical engineering : power electronics, converter simulation, and control engineering. Proficiency in a scientific computing language (Python, Julia, Matlab, etc.) is required. An interest in the regulation of electrical networks as a whole is expected.

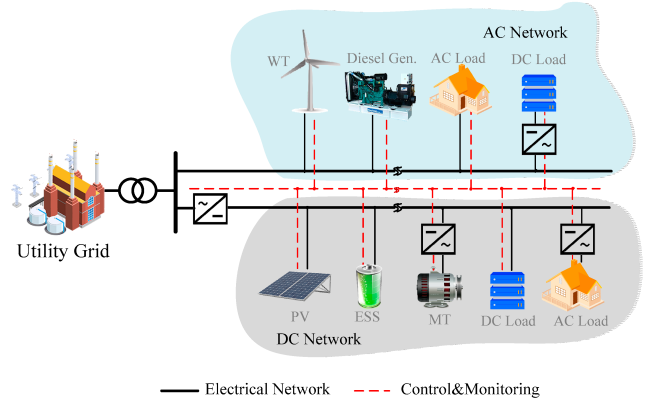


FIGURE 2 – Minimalistic example of a mixed AC-DC network topology [5]. An islanded operation is possible if a default occurs, thanks to Distributed Energy Ressources.

In addition to scientific skills, the candidate must be curious and able to work independently on a variety of tasks ranging from theory to practice, including simulation and writing.

## Project environment and work organisation

This thesis is part of the DC Architect project, funded by the PEPR (Priority Research Programmes and Equipment) TASE (Advanced Energy Systems Technologies)<sup>2</sup>. This project concerns the study of optimal control laws for a mixed AC-DC medium-voltage distribution network, as well as its optimal design. The “Systèmes Energétiques et TransduCteurs Electriques Soutenables” SyEnsCES team from the IETR laboratory and the “Transducteurs et Systèmes d’Energie” TeSE team from the SATIE laboratory are involved, in partnership with the Ampère laboratory in Lyon.

This thesis will be carried out in the IETR laboratory at ENS Rennes, Ker Lann campus. It will last 36 months.

The PhD student will be working in the SyEnsCES : Systèmes Energétiques et transduCteurs Electriques Soutenables team, which consists of researchers and research professors, as well as around ten PhD students, postdocs and research engineers. This research axes of the team is centered on the design and control of energy systems, from transducers to electrical networks.

The members of this research team are also part of the Mechatronics Department at ENS Rennes. This department brings together a team of around ten lecturers and teacher-researchers, as well as more than twenty PhD students, engineers, post-docs and trainees.

## Références

- [1] Mohammad Amin GILANI, Ahad KAZEMI et Mostafa GHASEMI. “Distribution system resilience enhancement by microgrid formation considering distributed energy resources”. In : Energy 191 (2020), p. 116442.
- [2] Rong-Ceng LEOU, Chun-Lien SU et Chan-Nan LU. “Stochastic analyses of electric vehicle charging impacts on distribution network”. In : IEEE Transactions on Power Systems 29.3 (2013), p. 1055-1063.
- [3] Eneko UNAMUNO et Jon Andoni BARRENA. “Hybrid ac/dc microgrids—Part II : Review and classification of control strategies”. In : Renewable and Sustainable Energy Reviews 52 (2015), p. 1123-1134.
- [4] Peng WANG et al. “Harmonizing AC and DC : A hybrid AC/DC future grid solution”. In : IEEE Power and Energy Magazine 11.3 (2013), p. 76-83.
- [5] Xiong WU et al. “Hybrid AC/DC microgrid planning with optimal placement of DC feeders”. In : Energies 12.9 (2019), p. 1751.

---

2. <https://www.celluleenergie.cnrs.fr/pepr/technologies-avancees-des-systemes-energetiques-tase/>