

---

**Travail de fin d'études et stage[BR]- Travail de fin d'études : Stability of a system with high penetration of power electronic converters: impact of wind events and transmission outages[BR]- Stage d'insertion professionnelle**

**Auteur :** Colot, Antonin

**Promoteur(s) :** Cornélusse, Bertrand

**Faculté :** Faculté des Sciences appliquées

**Diplôme :** Master en ingénieur civil électromécanicien, à finalité spécialisée en énergétique

**Année académique :** 2020-2021

**URI/URL :** <http://hdl.handle.net/2268.2/11507>

---

*Avertissement à l'attention des usagers :*

*Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.*

*Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.*

---

# Stability of a system with high penetration of power electronic converters: impact of wind events and transmission outages

COLOT ANTONIN

Graduation Studies conducted for obtaining the Master's degree in Electromechanical Engineering

**Supervisor:** BERTRAND CORNÉLUSSE

Academic year 2020-2021

---

Nowadays, renewable energy sources take a larger share in energy production. The power systems encounter a significant turn because of the growth of renewable energy sources, which brings more power electronics into the grid. For instance, modern wind farms are equipped with full converter wind turbines to ensure a higher energy yield. Furthermore, HVDC links, equipped with power electronic converters, have become popular because of their controllability and are installed in various power systems. The power electronic converters replace the synchronous machines, and instabilities at higher frequencies may now occur. It thus has led to a reshape in the classification of power system stability.

Wind turbines are placed where the wind potential is the highest. They are grouped in wind parks which concentrate large amount of active power production. Variations in wind speeds thus lead to rapid changes in the loading of the system, which may jeopardize its stability.

This thesis aims at assessing the stability of a system mainly composed of power electronic converters. A fictitious network is tested under various scenarios, and solutions are proposed to ensure a secure system for the different tests realized. The simulation tool used applies the phasor approximation method, therefore, the fast interactions that may occur between the converters and the network are not analyzed here.

The thesis is divided into five parts. The first part introduces the stability issues encountered in a power system mainly composed of power electronics. It also describes the classification of wind events and their intensity. The second part illustrates the network studied and the modeling of the converters. It highlights their different control modes. The third part focuses on wind events and their impact on the stability of the system. The evolution of the voltages is studied for two different wind events: the *Ramping event* and the *Storm event*. Those events are combined with operations on HVDC links. Their active power productions are changed according to the rules of the energy market. Solutions are proposed to mitigate the impact of those events on the network voltages. The fourth part focuses on transmission outages. Solutions are proposed to ensure a secure system after the incident occurred. Finally, the last part describes the necessity of having grid forming converters in the system. It shows the evolution of voltage phasors for the system with and without a grid forming converter. Finally, an overall conclusion is drawn.

# Stabilité d'un système largement peuplé de convertisseurs électroniques de puissance : impacts d'évènements de vent et de défaillances dans le réseau de transmission

COLOT ANTONIN

Travail de fin d'études réalisé en vue de l'obtention du grade de master 'Ingénieur Civil en Electromécanique'

Promoteur : BERTRAND CORNÉLUSSE

Année académique 2020-2021

---

De nos jours, les énergies renouvelables prennent une part plus importante dans la production d'énergie. Les réseaux électriques subissent d'importants changements en raison de leurs croissances. Ces dernières contribuent à amener plus d'électroniques de puissance dans les réseaux. Par exemple, les parcs éoliens modernes sont équipés d'électroniques de puissance pour garantir le meilleur rendement énergétique. De plus, les liaisons HVDC, équipées de convertisseurs électroniques de puissance, sont devenues populaires grâce à leur contrôlabilité et sont à présent installées dans plusieurs réseaux électriques. Les convertisseurs électroniques de puissance remplacent les machines synchrones, et des instabilités à plus hautes fréquences peuvent désormais apparaître. Cela a conduit à une reclassification des instabilités dans les réseaux électriques. Les éoliennes sont installées aux endroits avec le meilleur potentiel de vent. Elles sont souvent regroupées en parcs, ce qui concentre ainsi une grande partie de la production de puissance active. Les variations dans les vitesses de vent provoquent des changements rapides dans le chargement du réseau, ce qui peut compromettre sa stabilité.

Ce mémoire évalue la stabilité d'un système composé principalement de convertisseurs électroniques de puissance. Un réseau fictif est testé sous différents scénarios et des solutions sont proposées pour assurer l'opération sécurisée du réseau pour les différents tests réalisés. L'outil de simulation utilisé applique l'approximation phaseur, dès lors, les interactions rapides pouvant survenir entre les convertisseurs et le réseau ne sont pas analysées ici.

Le mémoire est divisé en cinq parties. La première partie présente les problèmes de stabilité rencontrés dans un système de puissance majoritairement composé d'électroniques de puissance. Elle décrit également la classification des événements de vent et leur intensité. La deuxième partie discute du réseau étudié et de la modélisation des convertisseurs. Elle met en évidence leurs différents modes de contrôle. La troisième partie se concentre sur les événements de vent et leur impact sur la stabilité du système. L'évolution des tensions du réseau est étudiée pour deux événements de vent différents : le *Ramping event* et le *Storm event*. Ces événements sont combinés avec des opérations sur les liaisons HVDC. L'injection de puissance active des liens HVDC est modifiée selon les règles du marché de l'énergie. Des solutions sont proposées pour atténuer l'impact de ces événements sur les tensions du réseau. La quatrième partie porte sur les incidents dans le réseau électrique. Le système est perturbé par l'événement de vent et est donc opéré loin de son point de fonctionnement optimal. Des solutions sont proposées pour assurer un système opérable après l'incident. Enfin, la dernière partie décrit la nécessité d'avoir des convertisseurs *grid forming* dans le système. Elle montre l'évolution des phaseurs de tension pour le système avec et sans convertisseur *grid forming*. Enfin, une conclusion générale est dressée.

# Illustrations taken from the thesis

## The studied network

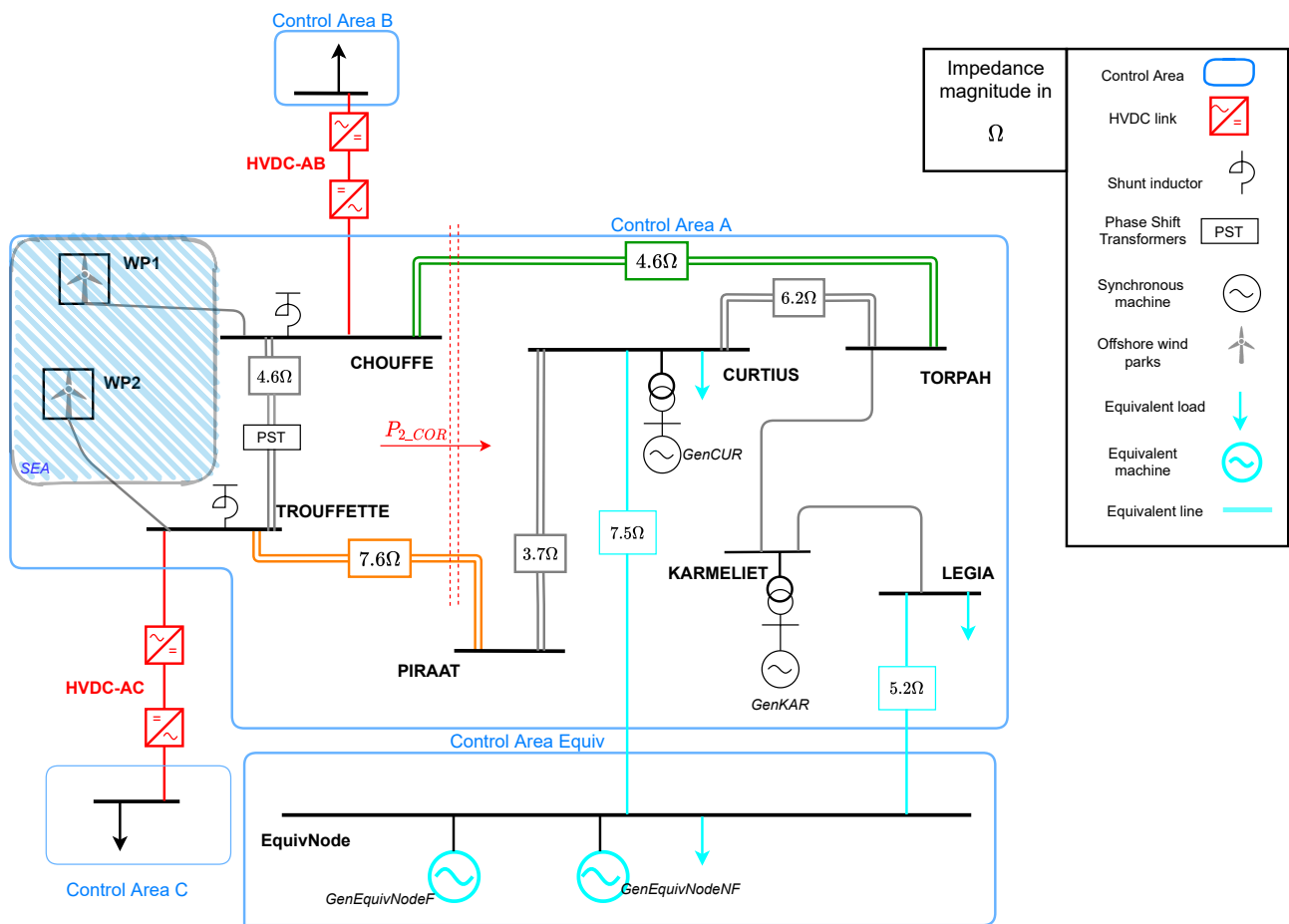


Figure 1: Scheme of the network studied.

## Models of the converters

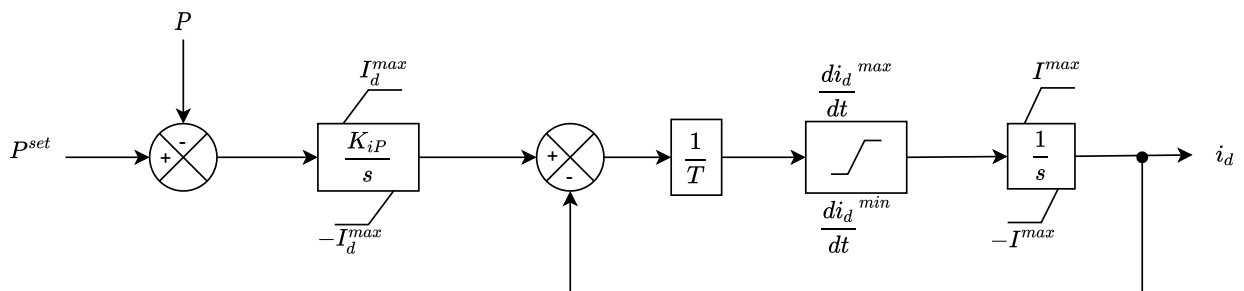


Figure 2: Grid following converter: Block diagram of the active power control loop.

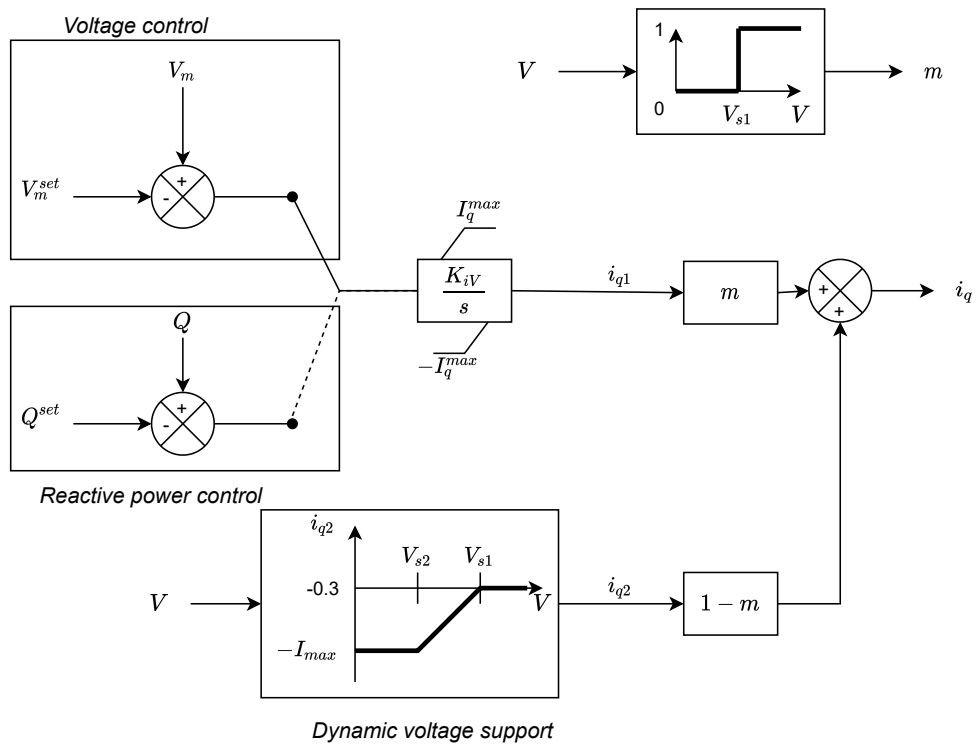


Figure 3: *Grid following converter*: Block diagram of the reactive power control loop.

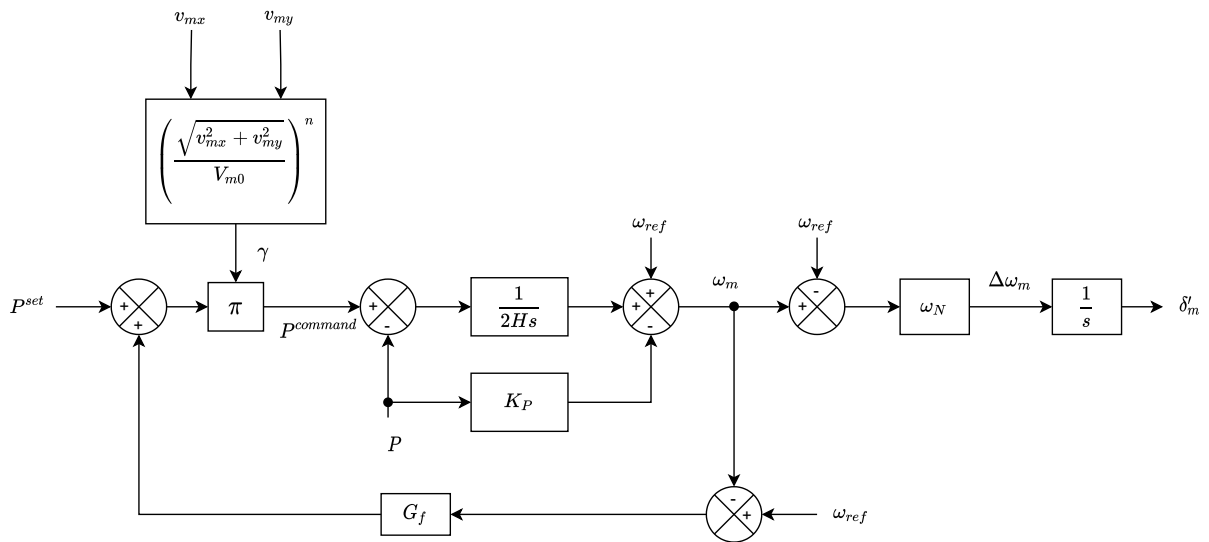


Figure 4: *Grid forming converter*: Bloc diagram of the active power control loop.

## Voltage profiles for the *Ramping event*

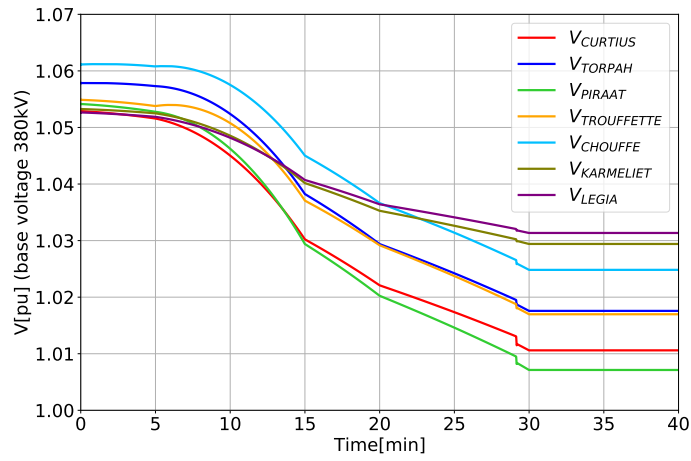


Figure 5: *Configuration V*: Voltages at various 380kV buses.

### Voltage profiles for the *Storm event*

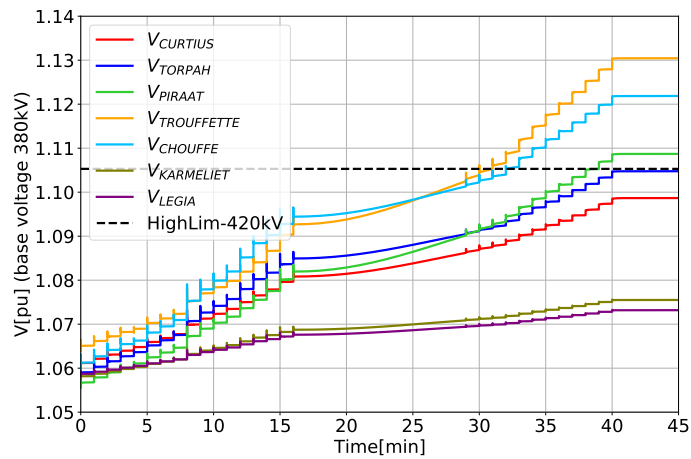


Figure 6: *Configuration AllTripped*: Voltages at various 380kV buses.

### Voltage profiles after a transmission outage

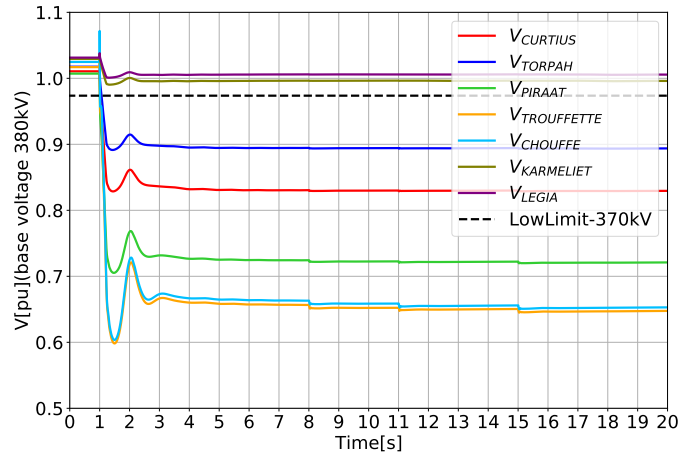


Figure 7: Scenario 1 without post-fault corrective controls: Voltages at various 380kV buses

### Comparison between grid forming and grid following converters

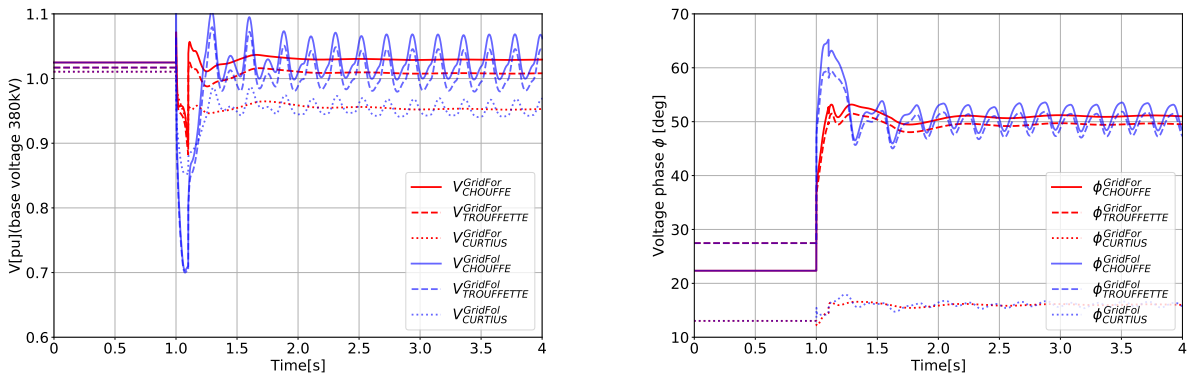


Figure 8: Scenario  $\gamma$ -Comparison between HVDC-AC in grid following mode (GridFol) and grid forming mode (GridFor): Voltage phasors at various buses. On the left, the voltage magnitudes. On the right, the phase angles.