

Part 4 : Smart grid technologies

TEA Bureau d'Etude

Goal:

Each group of 2 students will study a smart grid technology or solution. It is including a scientific analysis and the understanding of an accomplished implementation through a laboratory project or a demonstrator

BE-1 : Moyens de contrôle du plan de tension

La production électrique était réalisée principalement par de gros générateurs raccordés au réseau de transport, elle est aussi réalisée par de petits générateurs connectés au réseau de transport ou de distribution, on les appelle des **générateurs décentralisés** (principalement à base d'énergie renouvelable). Dans cette étude, nous allons nous intéresser aux générateurs décentralisés connectés au réseau de distribution HTA. Ces générateurs et leurs puissances réactives apparaissent comme un nouveau moyen de contrôle de la tension des réseaux de distribution.

Fonction/Technologie Smart Grid étudiée

Intégration des énergies renouvelables dans les réseaux électriques

Participation de la production distribuée au réglage de la puissance réactive.

Etude bibliographique

Dans un premier temps, vous pourriez faire une recherche bibliographique pour comprendre précisément comment l'utilisation de la puissance réactive des générateurs décentralisés permet de contrôler les tensions d'un réseau de distribution. En particulier, vous vous concentrerez sur les contrôles en $\tan(\phi)$ et $Q=f(U)$ des générateurs. Pendant cette partie, vous pourrez étudier analytiquement l'impact de ces contrôles sur le plan de tension.

Simulation

La seconde grande partie du travail consiste à appliquer cette procédure à un cas pratique. Le Réseau de Milan vous sera fourni (il sera étudié sous power factory lors des séances « skills »). Une étude sur quelques points (sur power factory) vous permettra de comprendre comment un générateur ou un ensemble de générateurs pourra travailler pour contrôler les tensions d'un réseau.

Livrable

La présentation et le rapport devront mettre en avant plusieurs points importants : la compréhension des lois de contrôle des générateurs et les simulations sur un cas pratique de contrôle de plan de tension. L'accent devra être mis sur l'interprétation personnelle des résultats.

Références

"Modalités du contrôle de performances des installations de production raccordées en haute tension (HTA) au réseau public de distribution géré par Enedis," https://www.enedis.fr/sites/default/files/Enedis-PRORES_64E.pdf

"Étude de l'impact sur la tenue thermique, la tension et le comptage dans les Postes Sources pour le raccordement d'une production décentralisée en HTA, " https://www.enedis.fr/sites/default/files/Enedis-PRORES_06E.pdf

"Principe et conditions de mise en oeuvre d'une régulation locale de puissance réactive pour les Installations de Production raccordées au Réseau Public de Distribution HTA, " https://www.enedis.fr/sites/default/files/Enedis-NOI-RES_60E.pdf

Référent: Xavier GUILLAUD

BE-2 : Procédure de raccordement d'un générateur décentralisé

La production électrique était réalisée principalement par des gros générateurs raccordés au Réseau de transport, elle est aussi réalisée par des petits générateurs connectés au réseau de transport ou de distribution, on les appelle des **générateurs décentralisés**. Dans cette étude, nous allons nous intéresser aux générateurs décentralisés connectés au réseau de distribution HTA.

Fonction/Technologie Smart Grid étudiée

Intégration des énergies renouvelables dans les réseaux électriques

Utilisation de la production distribuée pour éviter un renforcement matériel du réseau

Etude bibliographique

Dans un premier temps, vous pourriez faire une recherche bibliographique pour définir précisément les générateurs décentralisés connectés au réseau de distribution HTA (puissance, tension...). Le raccordement de ces générateurs est étudié par le gestionnaire de réseau de distribution et suit une procédure décrite dans la documentation technique de référence. Une deuxième partie du travail de bibliographie consiste à lire et comprendre cette procédure, vous pourriez vous concentrer sur celle qui considère que la puissance réactive produite par le générateur est contrôlée par une loi en $\tan(\phi)$ constante.

Simulation

La seconde grande partie du travail consiste à appliquer cette procédure à un cas pratique. Le Réseau de Milan vous sera fourni (il sera étudié sous power factory lors des séances « skills »), initialement celui-ci ne possède pas de générateur décentralisé. Il vous sera demandé d'appliquer la procédure de raccordement à plusieurs générateurs qui souhaitent se raccorder au réseau électrique. Une étude sur quelques points (sur power factory ou matlab) ou sur des mesures annuelles (sur matlab) pourront permettre de comparer différentes solutions de raccordement (des solutions de raccordement non suffisantes ou surdimensionnées). Des codes matlab pourront vous être fournis.

Livrabale

La présentation et le rapport devront mettre en avant plusieurs points importants : la compréhension des documents et les simulations sur le cas pratique de raccordement.

Références

"Arrêté du 23 avril 2008 relatif aux prescriptions techniques de conception et de fonctionnement pour le raccordement à un réseau public de distribution d'électricité en basse tension ou en moyenne tension d'une installation de production d'énergie électrique,"

<https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000018698004>

"Raccordement de la production décentralisée aux réseaux de distribution- Conditions d'intégration, "

<https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/energies-th4/reseaux-electriques-de-distributionpublique-42264210/raccordement-de-la-production-decentralisee-aux-reseaux-de-distribution-d4241/>

"Étude de l'impact sur la tenue thermique, la tension et le comptage dans les Postes Sources pour le raccordement d'une production décentralisée en HTA, " https://www.enedis.fr/sites/default/files/Enedis-PRORES_06E.pdf

Référent: Xavier GUILLAUD

BE-3: Moyens de Contrôle du Plan de Tension sous PowerFactory & Python

La production électrique est réalisée principalement par de gros générateurs raccordés au réseau de transport, elle est aussi réalisée par de petits générateurs connectés au réseau de transport ou de distribution, appelés des générateurs décentralisés (principalement à base d'énergie renouvelable). Dans cette étude, nous allons nous intéresser aux générateurs décentralisés connectés au réseau de distribution HTA. Ces générateurs et leurs puissances réactives apparaissent comme un nouveau moyen de contrôle de la tension des réseaux de distribution.

Fonction/Technologie Smart Grid Étudiée:

- Intégration des énergies renouvelables dans les réseaux électriques
- Participation de la production distribuée au réglage de la tension du réseau de distribution à travers les puissances réactives des générateurs.

Etude Bibliographique et Technique:

Dans un premier temps, vous pourriez faire une recherche bibliographique pour comprendre précisément comment l'utilisation de la puissance réactive des générateurs décentralisés permet de contrôler les tensions d'un réseau de distribution en se focalisant sur les contrôles en $\tan(\phi)$ et $Q=f(U)$ des générateurs. Un deuxième volet sera dédié à la montée en compétences sur l'interfaçage du logiciel PowerFactory avec de la programmation en Python dans la génération et la gestion des données.

Calcul et Simulation:

La seconde partie du travail consiste à appliquer cette procédure pour le cas du réseau de Milan.

Etude en statique : Une première étude en statique sur quelques points en utilisant PowerFactory pour la compréhension et la mise en œuvre de contrôle de plan de tension et illustrer comment un générateur ou un ensemble de générateurs sont capables de contrôler les tensions d'un réseau. Validation de la loi de régulation locale de puissance réactive $Q=f(U)$ sous PowerFactory.

Etude en dynamique : En utilisant Python, l'objectif est d'extraire l'ensemble des tensions des différents nœuds, les transits de puissance dans le transformateur et les puissances des générateurs. Tracer l'évolution de la tension le long des départs ainsi que les différentes puissances dans le domaine temporel. Analysez les résultats. Comparez les résultats en utilisant la fonction « Time-Sweep » sous PowerFactory.

Livable :

La présentation et le rapport devront mettre en avant plusieurs points importants : la compréhension des lois de contrôle des générateurs et les simulations sur un cas pratique de contrôle de plan de tension. L'accent devra être mis sur l'interprétation personnelle des résultats.

Références Bibliographiques :

“Modalités du contrôle de performances des installations de production raccordées en haute tension (HTA) au réseau public de distribution géré par Enedis,” https://www.enedis.fr/sites/default/files/Enedis-PRORES_64E.pdf

“Principe et conditions de mise en œuvre d'une régulation locale de puissance réactive pour les Installations de Production raccordées au Réseau Public de Distribution HTA, “ https://www.enedis.fr/sites/default/files/Enedis-NOI-RES_60E.pdf

DigSILENT PowerFactory Application Guide Python Tutorial : DigSILENT Technical Documentation.

https://www.academia.edu/35045732/DigSILENT_PowerFactory_Application_Guide_Python_Tutorial_DigSILENT_Technical_Documentation

Référent: Xavier GUILLAUD

BE 4 : Evaluation des contraintes additionnelles liées au raccordement d'infrastructures de recharge pour véhicules

Le raccordement d'une « forte » charge telle que les ensembles de bornes de recharge pour véhicules électriques est soumis à l'apparition de contraintes de faible tension et de fort courant, notamment dans les zones rurales et semi-urbaines où des raccordements de puissance élevée (> 1 MW) sont demandés. Avant tout raccordement, les contraintes d'un départ de type rural ou semi-urbain peuvent donc être estimées à partir d'un modèle analytique du plan de tension d'un départ unifilaire à grandeurs supposées uniformément réparties.

Fonction/Technologie Smart Grid étudiée

Permettre le développement des véhicules électriques

Coordination et supervision de bornes de recharge électriques selon les contraintes du Réseau

Etude bibliographique et technique

Dans un premier temps, une recherche bibliographique sur les besoins de raccordement de ces nouvelles charges ainsi que sur les scénarii prospectifs d'émergence de ce besoin sera réalisée. Ensuite, le but de cette étude sera de déterminer une expression analytique des contraintes (sur critère de courant et de tension) à une certaine distance du poste électrique, c'est-à-dire la consommation maximale pouvant être demandée sans causer de contraintes de tension basse et de sur-intensité sur ce départ.

Calcul/Simulation

La seconde grande partie du travail consistera à appliquer cette procédure à un cas pratique soit sous Power Factory, soit sous Matlab en prenant en compte la présence de charges déjà raccordées. Quelques solutions pour décaler dans le temps les actions de recharge des véhicules seront proposées, testées et comparées par rapport aux performances obtenues de réglage du réseau.

Livrable : La présentation orale et un rapport écrit sur cette étude

Références

Couplage des systèmes photovoltaïques et des véhicules électriques au réseau : problèmes et solutions, Van-Linh Nguyen, 2014, Université de Grenoble, Chap. 4,

<https://tel.archivesouvertes.fr/tel-01304703/document>

Contribution au pilotage de la charge pour accroître la flexibilité du système électrique, Nathalie Saker, 2013, Ecole doctorale Sciences et Technologies de l'Information, des Télécommunications et des Systèmes (Orsay, Essonne), <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00812674/document>

Méthodes pour la planification pluriannuelle des réseaux de distribution Application à l'analyse technico-économique des solutions d'intégration des énergies renouvelables intermittentes, Heloise DUTRIEUX, 2015, école centrale lille, voir les annexes,

http://l2ep.univ-lille1.fr/fileupload/file/theses/These_Heloise_Dutrieux.pdf

Algorithme de reconstitution de réseau

<https://github.com/fgonzalezvenegas/GridReconstruction>

« Explore — Enedis Open Data ». <https://data.enedis.fr/explore/?sort=modified>

IEEE Test Feeders, <https://cmte.ieee.org/pes-testfeeders/resources/>

Référent Bruno FRANCOIS

BE 6 : Contribution du Stockage à la Gestion Avancée des Systèmes Électriques

Le stockage d'énergie est une technologie utilisable pour apporter des services aux différents acteurs du réseau électrique. En raison des fluctuations de consommation et de production, la tension peut varier significativement et dépasser les limites tolérables. On propose d'étudier l'utilisation possible du stockage pour apporter un soutien au réglage de la tension sur un départ.

Fonction/Technologie Smart Grid étudiée

Gestion avancée des réseaux électriques

Utilisation du stockage pour contrôler les échanges de puissance réactive

Etude bibliographique et technique

Dans un premier temps, une recherche bibliographique sur les solutions à base de stockage pour contrôler les transits de puissance réactive ou/et la tension sera à réaliser. Ensuite, la modélisation d'un système de stockage participant à ce service/réglage sera à développer en incluant la gestion du niveau énergétique.

Simulation

Le modèle du stockage sous Simulink Matlab et un cas test de participation à ce réglage seront à développer.

Livrable

La présentation orale et un rapport écrit détaillant les modèles développer et les résultats sur le cas d'étude.

Références

Contribution du Stockage à la Gestion Avancée des Systèmes Électriques, Approches Organisationnelles et Technico-économiques dans les Réseaux de Distribution

Gauthier DELILLE, école centrale de Lille, partie 2.3.2.2. SD2 -Réglage local fin et dynamique de la tension et Chap.3 Modèle général du stockage distribué

Méthodes pour la planification pluriannuelle des reseaux de distribution Application a l'analyse technico-economique des solutions d'integration des energies renouvelables intermittentes, Heloise DUTRIEUX, 2015, ecole centrale Lille, voir les annexes, http://l2ep.univ-lille1.fr/fileupload/file/theses/These_Heloise_Dutrieux.pdf

Référent Bruno FRANCOIS

BE 7 : Dimensionnement et gestion d'énergie d'un micro-réseau

Pour s'adapter et atténuer les futures crises climatiques, sociétales et/ou politiques, la mise en place de micro-réseaux dans le cadre de communautés énergétiques se développe. Les micro-réseaux (connectés ou non au réseau de distribution) sont des réseaux électriques de petite taille, conçus pour fournir un approvisionnement électrique fiable à un petit nombre de consommateurs. Avant de construire un micro-réseau, il est nécessaire d'optimiser son dimensionnement et sa gestion.

Fonction Smart Grid étudiée

Dimensionnement et gestion avancée des réseaux électriques

Optimisation sous-contrainte des réseaux électriques

Etude bibliographique

Dans un premier temps, vous effectuerez une recherche bibliographique sur le fonctionnement et le dimensionnement des micro-réseaux. Vous identifiez les objectifs et les contraintes appliquées habituellement à un micro-réseau. Le choix d'un cas d'étude sera la dernière étape de l'étude bibliographique.

Simulation

La seconde partie du travail consiste à réaliser le dimensionnement et la gestion du micro-réseau choisi. Pour réaliser le travail, vous pourrez utiliser la librairie lms2 développée sous python. Les étapes de la simulation seront les suivantes : construire les blocs du micro-réseau, déterminer l'objectif de l'optimisation (économique, environnemental ou autre), charger les données temporelles et obtenir les résultats.

Livrable

Le rapport détaillera les différentes étapes du projet (bibliographie, présentation du cas d'étude, données d'entrée de la simulation, analyse critique des résultats). La soutenance détaillera les éléments clés de votre rapport.

Références

« Les microgrids », <https://www.smartgrids-cre.fr/encyclopedie/les-microgrids>

« Exemple d'utilisation de la librairie python lms2 »,

https://reinboldv.github.io/lms2/docs/build/html/examples/microgrid_1.html

Rigo-Mariani, Rémy. Méthodes de conception intégrée "dimensionnement-gestion" par optimisation d'un micro-réseau avec stockage. PhD, Institut National Polytechnique de Toulouse, 2014 <http://ethesis.inp-toulouse.fr/archive/00002989/> (chapitre I)

« HOMER Case Studies », <https://microgridnews.com/category/case-studies/>

Référent : Ferréol BINOT

BE 8 : Maximisation de la capacité des câbles des réseaux électriques

Lors de la construction de nouveaux tronçons de réseau, le gestionnaire de réseau détermine la section optimale du câble en veillant à respecter les limites en tension et en courant. Dans les réseaux de distribution, les limites en courant sont déterminées pour une température d'âme de 90°C (température limite pour le XLPE) en régime thermique permanent. Cependant, les courants électriques dans un câble ne sont pas constants pendant toute la durée d'établissement du régime permanent thermique. L'utilisation d'une limite dynamique thermique (comme dans les réseaux de transport) semble pertinente. Elle permettra, notamment, de retarder des renforcements et/ou de prendre en compte l'impact du changement climatique sur les câbles.

Fonction/Technologie Smart Grid étudiée :

Outil de modélisation des réseaux de distribution

Utilisation des composants du réseau à leur capacité maximale pour limiter les renforcements

Etude bibliographique :

Dans un premier temps, une étude bibliographique sur la limite dynamique du courant dans les câbles électriques (*Dynamic Line Rating*, en anglais) sera faite. Ensuite, vous comprendrez et prendrez en main le modèle COMSOL développé dans la thèse de F. Binot.

Simulation :

Le code à développer déterminera le courant maximal admissible par un câble basse tension sur une période d'une semaine dans deux situations : un courant constant et un courant plus réaliste. Le réseau considéré sera un réseau basse tension avec une source et une charge. Vos simulations et votre code seront à faire sous Matlab/Simulink (Simscape power systems) ou PowerFactory. Ce code pourra s'appuyer sur le modèle COMSOL mentionné dans la partie bibliographique.

Livrable :

Le rapport détaillera les différentes étapes du projet (bibliographie, mode d'emploi du code, les résultats de simulation et les améliorations possibles du code). La soutenance détaillera les éléments clés de votre rapport.

Références :

J. Van de Vyver, T. Vandoorn, et P. Lauwers, « Measurement, modelling and real-time calculation of medium voltage cable temperatures », in CIREN Madrid 2019, juin 2019. <https://www.cired-repository.org/handle/20.500.12455/151>

F. Binot, « Modélisation et estimation de paramètres des réseaux de distribution basse tension », phdthesis, Université Paris-Saclay, 2020 (Section 3.5.2). <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-03012586>

R. Dupin, « Prévion du Dynamic Line Rating et impact sur la gestion du système électrique », phdthesis, Université Paris sciences et lettres, 2018 (Section 1) <https://pastel.archives-ouvertes.fr/tel-02149342>

Référent : Ferréol BINOT

BE 9 : Déséquilibre dans les réseaux basse tension

Les réseaux électriques basse tension (BT) sont composés de 3 phases et d'un neutre. Le raccordement de nouveaux usages (production ou consommation) sur ce réseau se fait soit en monophasé soit en triphasé. Les usages monophasés engendrent, par nature, des déséquilibres sur les réseaux. Ces déséquilibres conduisent à des surchauffes des lignes et à une réduction de leur durée de vie. Le choix de la phase de raccordement de chaque usage doit donc être réfléchi.

Fonction/Technologie Smart Grid étudiée :

Intégration des énergies renouvelables dans les réseaux électriques

Outil d'aide au développement des réseaux

Etude bibliographique :

Dans un premier temps, vous recherchez les méthodes de raccordement au réseau de distribution basse tension (puissance de raccordement, puissance souscrite, production/consommation, monophasé/triphasé). Ensuite, vous identifierez le déséquilibre admis dans les réseaux et les méthodes pour réduire ces déséquilibres.

Simulation :

Dans un second temps, vous simulerez quelques points de fonctionnement d'un réseau BT déséquilibré sous Power Factory. Vous mettrez en avant les contraintes engendrées par le déséquilibre des usages. Enfin, vous proposez une méthode de rééquilibrage du réseau.

Livrable :

Le rapport détaillera les différentes étapes du projet (bibliographie, simulations du réseau et méthode d'équilibrage). La soutenance détaillera les éléments clés de votre rapport.

Références :

« Analyses probabilistes pour l'étude des réseaux électriques de distribution », Fallilou Diop, thèse de doctorat, <https://theses.hal.science/tel-01936560>

« Réseaux et branchements basse tension souterrains en lotissement », Fiche SéQuélec n°3, <https://www.enedis.fr/media/2237/download>

F. Binot, T. D. Le, M. Petit. Modélisation de l'impédance des câbles : Étude de sensibilité et impact sur le réseau BT. <https://centralesupelec.hal.science/hal-01807472>

Enedis. Principes d'étude et de développement du réseau pour le raccordement des clients consommateurs et producteurs BT, <https://www.enedis.fr/media/2168/download>

Référent : Ferréol BINOT

BE 5 : Gestion intelligente distribuée d'une « poche » de distribution par apprentissage

Context

The integration of distributed energy resources (DER) as Photovoltaics and wind generators into electrical systems also requires more intelligent and adaptive controls to connect these intermittent and uncertain power sources. At the same time, the increase in computing power has enabled the development of learning techniques, which improve control algorithms for electrical networks. Distributed learning techniques offer the advantage of being able to control electrical networks more resiliently than current centralized techniques.

Goal

Frequency control within microgrids was historically managed through power reserves. These reserves were provided by synchronous machines. The significant penetration of DERs, connected to networks by power electronics, tends to reduce the number of synchronous machines on the network. Power reserves must therefore be partly provided by these DERs, which are more difficult to control than synchronous machines. This is because DER power is intermittent, and highly dependent on external conditions (wind, sun, etc.). The impact of these external factors on power output and frequency control is not easy to model. By using data from measurements and prediction tools, the use of learning algorithms overcomes this problem.

The case study is an electrical microgrid, which includes only element of each DER (one battery, one PV, one synchronous generator based diesel plant).. However, a microgrid or a distribution network can include several DER elements. Hence, the development of a distributed learning algorithm to control the frequency in the microgrid is the topic of this project.

Fonction/Technologie Smart Grid étudiée :

Equilibre local entre production et consommation

Gestion distribuée de flexibilités

Intégration des techniques adaptatives par apprentissage

Etude bibliographique :

Dans un premier temps, vous lirez et synthétiserez des documents scientifiques et techniques sur ce sujet. Ensuite, vous caractériserez le cas d'étude afin de mettre en évidence les déséquilibres.

Simulation :

Dans un second temps, vous simulerez quelques points de fonctionnement de ce réseau. Vous mettrez en avant les contraintes engendrées par le déséquilibre des usages. Enfin, selon le temps restant, vous proposez une méthode de rééquilibrage du réseau par une gestion distribuée auto apprenante.

Livrable :

Le rapport détaillera les différentes étapes du projet (bibliographie, simulations du réseau et méthode d'équilibrage). La soutenance détaillera les éléments clés de votre rapport.

Références :

- [1] N. Gholizadeh and P. Musilek, "Distributed Learning Applications in Power Systems: A Review of Methods, Gaps, and Challenges," *Energies*, vol. 14, no. 12, Art. no. 12, Jan. 2021, doi: 10.3390/en14123654.
- [2] R. Trivedi and S. Khadem, "Implementation of artificial intelligence techniques in microgrid control environment: Current progress and future scopes," *Energy and AI*, vol. 8, p. 100147, May 2022, doi: 10.1016/j.egyai.2022.100147.
- [3] X. Qiu *et al.*, "A First Look into the Carbon Footprint of Federated Learning," *Journal of Machine Learning Research*, vol. 24, no. 129, pp. 1–23, 2023.

- [4] X.-K. Liu, H. Jiang, Y.-W. Wang, and H. He, “A Distributed Iterative Learning Framework for DC Microgrids: Current Sharing and Voltage Regulation,” *IEEE Trans. Emerg. Top. Comput. Intell.*, vol. 4, no. 2, pp. 119–129, Apr. 2020, doi: 10.1109/TETCI.2018.2863747.
- [5] T. B. Lopez-Garcia, A. Coronado-Mendoza, and J. A. Domínguez-Navarro, “Artificial neural networks in microgrids: A review,” *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 95, p. 103894, Oct. 2020, doi: 10.1016/j.engappai.2020.103894.
- [6] X. Cheng, C. Li, and X. Liu, “A Review of Federated Learning in Energy Systems,” in *2022 IEEE/IAS Industrial and Commercial Power System Asia (I&CPS Asia)*, Jul. 2022, pp. 2089–2095. doi: 10.1109/ICPSAsia55496.2022.9949863.
- [7] G. K. Venayagamoorthy, R. K. Sharma, P. K. Gautam, and A. Ahmadi, “Dynamic Energy Management System for a Smart Microgrid,” *IEEE Trans. Neural Netw. Learning Syst.*, vol. 27, no. 8, pp. 1643–1656, Aug. 2016, doi: 10.1109/TNNLS.2016.2514358.
- [8] P. Delanoë, D. Tchente, and G. Colin, “Method and evaluations of the effective gain of artificial intelligence models for reducing CO2 emissions,” *Journal of Environmental Management*, vol. 331, p. 117261, Apr. 2023, doi: 10.1016/j.jenvman.2023.117261.
- [9] Antonella Tannous, Ferréol Binot, Bruno Francois. A review of self-learning and adaptive techniques for grid balancing. *Symposium de génie électrique (SGE 2023)*, Jul 2023, Lille, France.

Référent : Bruno FRANCOIS ou Ferréol BINOT