

Part 4 : Smart grid technologies

TEA Bureau d'Etude

Goal:

Each group of 3 or 4 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.

Livable

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 Etudiée:

- 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.

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 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

DlgSILENT PowerFactory Application Guide Python Tutorial : DlgSILENT Technical Documentation.

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

Référent Bruno FRANCOIS

BE 5 : Méthode déterministe de planification des réseaux futurs

Les installations de production électrique à base d'énergies renouvelables sont majoritairement intermittentes et raccordées aux réseaux de distribution. L'insertion de cette production peut requérir des développements sur les réseaux de distribution afin de respecter les capacités des matériels et les exigences de sécurité et de qualité auprès des utilisateurs du réseau. Ces adaptations du réseau consistent en des renforcements et/ou créations d'ouvrages et sont déterminées lors de la planification des réseaux de distribution. Les méthodes de planification traditionnelles aboutissent généralement à des travaux d'adaptation du réseau potentiellement coûteux et longs à mettre en oeuvre. Ce recours fréquent au renforcement de réseau provient en grande partie de l'approche déterministe utilisée pour dimensionner le réseau en planification. Cette approche consiste à systématiquement adapter le réseau pour résoudre 100 % des contraintes détectées sur des cas pessimistes de consommation et de production, même si le risque de contrainte causé par la production intermittente est faible en pratique.

Fonction/Technologie Smart Grid étudiée

Intégration des énergies renouvelables dans les réseaux électriques

Outil d'aide à la décision sur les choix technologiques et économiques pour les réseaux.

Etude bibliographique et technique

Dans un premier temps, une recherche bibliographique sur les règles de planification actuelle des réseaux de distribution sera menée avec une attention particulière portée aux études de raccordement de la production décentralisée et aux leviers traditionnellement mis en oeuvre pour dégager de la capacité d'accueil supplémentaire dans les réseaux existants. Dans un second temps, ces règles seront formalisées sous la forme d'un algorithme dont l'objectif est d'apporter un aide à les décisions à prendre sur les choix des matériels (cables, ...).

Simulation

Le codage d'un algorithme sous Matlab et son test sur des cas d'étude sont demandés.

Livrable

La présentation orale et un rapport écrit fournissant les informations nécessaires à la compréhension des travaux de planification actuels, de l'algorithme proposé (décomposé en fonctions élémentaires qui seront détaillées). Le programme et un rapport sur les résultats obtenus seront fournis également.

Références

"Evaluation de l'impact du Smart grid sur les pratiques de planification en cas d'insertion de production décentralisée et de charges flexibles", Victor GOUIN, **Université de Grenoble**, spécialité : Génie Electrique, 2016, <https://tel.archivesouvertes.fr/tel-01256209/document>

Methodes 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

Egor GLADKIKH, "Optimisation de l'architecture des réseaux de distribution de l'énergie électrique", Université de Grenoble, spécialité : Génie Electrique, 2015, <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01219327/document>

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 : Conception d'un jeu collaboratif sur la gestion d'énergie électrique

La conception et l'utilisation du jeu est un outil pédagogique utile pour comprendre le fonctionnement des réseaux électriques. Dans ce projet, vous allez devoir concevoir un jeu collaboratif sur la gestion de l'électricité au sein d'un réseau. La conception du jeu devra s'appuyer librement sur le jeu existant Galèrapagos.

Fonction Smart Grid étudiée

Gestion en commun d'un réseau sous contraintes environnementales

Intégration des énergies renouvelables dans les réseaux électriques

Etude bibliographique

Dans un premier temps, vous ferez une étude bibliographique sur les jeux déjà développés sur la gestion de l'électricité au sein des réseaux. Dans un second temps, vous identifierez les notions apprises dans l'électif Smart Grids pouvant être utilisées pour adapter le jeu Galèrapagos.

Mise en place

Le jeu doit répondre au cahier des charges suivant :

Critère	Valeur
Type de jeu	Collaboratif
Durée du jeu	30 minutes
Notions pédagogiques de la conception du jeu	Proposer une situation réaliste de gestion d'un réseau Intégrer les contraintes environnementales dans ce réseau
Notions pédagogiques de l'utilisation du jeu	Comparer les différents types de production, de stockage et de consommation pour équilibrer un réseau électrique sous contraintes environnementales
Nombres de joueurs	Minimum 4 personnes
Éléments à définir	Titre et contexte du jeu

Livrable

Le rapport final décrit le fonctionnement du jeu, les étapes de conception du jeu, les choix faits lors de la conception, les difficultés rencontrées et les améliorations possibles du jeu. Lors de la présentation orale, vous ferez une démonstration du jeu et vous détaillerez les éléments clés du rapport. Le jeu doit également être fourni à la fin du projet.

Références

« TenneT power flow simulator »,

https://netztransparenz.tennet.eu/fileadmin/user_upload/Our_Key_Tasks/Innovations/loadflow/index.html

« Need 4 Grid | Jeux Numériques », <https://jeuxnumeriques.ac-montpellier.fr/need-4-grid>

« Eco-SESA - Serious games », <https://ecosesa.univ-grenoble-alpes.fr/scientific-production/serious-game>

« Galèrapagos Le jeu coopératif... mais pas trop ! » <https://www.gigamic-adds.com/game/gal%C3%A8rapagos>

Laurent Aldon : Innovation pédagogique <https://laurentaldon.wordpress.com/>

Référent : Ferréol BINOT

BE 8 : Maximisation dynamique de la capacité maximale des câbles des réseaux de distribution

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

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 (Simscape power systems) ou Python (Pandapower). 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, « Prédiction 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 : Reconstitution des réseaux de distribution à partir de données publiques

L'utilisation de cas d'étude est essentielle pour développer et tester des fonctions avancées de gestion dans les réseaux électriques. Les gestionnaires de réseau utilisent souvent des réseaux types pour tester de nouvelles fonctions. Pour diverses raisons (techniques, économiques, juridiques), les gestionnaires ne souhaitent pas partager leurs données réseaux avec des tiers. Cependant, les gestionnaires sont obligés de rendre public certaines données de leurs réseaux. L'objectif de ce projet est de voir s'il est possible de reconstituer les réseaux de distribution à partir des données publiques d'Enedis.

Fonction/Technologie Smart Grid étudiée :

Outil de modélisation des réseaux de distribution

Données essentielles pour la gestion avancée des réseaux électriques.

Etude bibliographique :

Dans un premier temps, une étude bibliographique sur les méthodes de reconstitution des réseaux sera à faire (données d'entrée, données de sortie, algorithmes utilisés, précision). Ensuite, vous comparerez les données publiques fournies par Enedis (Enedis Open Data) sur un réseau simple avec celles données sur des réseaux test d'IEEE (IEEE Test Feeders). Vous mettrez alors en avant les données nécessaires pour réaliser une simulation de réseau. Enfin, vous prendrez en main l'algorithme de reconstitution de réseau.

Simulation :

Votre premier travail sera de détailler le fonctionnement du code et d'en proposer un mode d'emploi facilement utilisable pour de futurs projets. Votre second travail sera de reconstruire un réseau HTA et de déterminer son plan de tension. Il vous sera demandé d'ajouter des charges/productions pour mettre en avant une contrainte en tension et/ou en courant sur ce réseau via un calcul de flux de puissance.

Livrable :

Le rapport détaillera les différentes étapes du projet (bibliographie, mode d'emploi du code et mise en avant d'une contrainte sur un réseau). La soutenance détaillera les éléments clés de votre rapport.

Références :

Algorithme de reconstitution de reseau

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

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

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

Référent : Ferréol BINOT