

Mini-projet Réseaux électriques

Yverdon-les-Bains, 2024-10

Professeur : Mokhtar Bozorg
Assistant : Thierry Fracheboud

Mini projet de semestre : Modélisation d'un réseau BT – *Trey*

1. Description du laboratoire

Le but principal de ce laboratoire/mini projet est de modéliser un réseau basse tension, à partir de la carte d'un réseau existant du village *Trey*. Il faudra construire un réseau basse tension avec des hypothèses de production et consommation. Afin de simuler et développer ce réseau électrique, il sera nécessaire d'utiliser la librairie Python **pandapower** utilisée lors des premiers tutoriels.

Le groupe d'étudiants devra être capable d'analyser le réseau en place en appliquant différentes théories vues en cours [1], [2].

2. Donnée

Les étudiants devront réaliser le travail indiqué dans la section suivante.

Le nœud bilan (réseau externe) a les caractéristiques suivantes : Puissance court-circuit $S_k = 150$ MVA.

L'impédance de ligne au nœud bilan est exprimée comme suit : $Z_{(1)} = c \cdot U^2 / S_k$ et $Z_{(0)} = 1 - 3 \cdot Z_{(1)}$.

La tension du réseau est de 400 V au départ du transformateur moyenne tension : 18 kV. La puissance du transformateur MT/BT est de 400 kVA (voir *datasheet* pour plus d'informations).

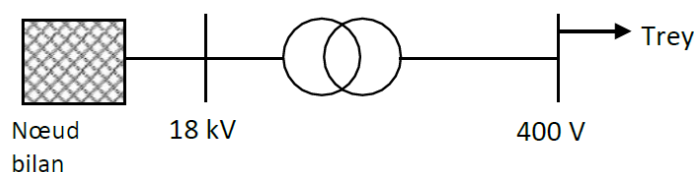


Figure 1 – Illustration simplifiée du départ MT/BT, réseau Trey.

La Figure 1 rappelle le modèle simplifié pour la poste de transformateur MT/BT qui alimente le réseau basse tension du village Trey.

Les étudiants devront suivre les étapes suivantes :

1. Modélisation du réseau Trey
2. Simulation du Load Flow avec les courbes de charge déterminées précédemment
3. Etude de méthodes permettant de limiter la surtension et les surcharges pour une production solaire locale dimensionnée
4. Simulation du loadflow avec le développement PV futur (Bonus)
5. Simulation de courts-circuits (Bonus)
6. Rédiger un rapport de synthèse

Ces points sont détaillés dans les chapitres suivants.

2.1 Modélisation du réseau Trey

Pour démarrer ce mini projet, il faudra créer un *Jupyter Notebook* et y développer le code (avec commentaires). L'analyse et le raisonnement seront intégrés au rapport. Le groupe devra transmettre son *Notebook* en annexe du rapport.

2.1.1 Modélisation du réseau électrique

- Dessiner le réseau à l'aide de la librairie Python **pandapower** et des deux cartes fournies en annexe¹.
- Identifier les paramètres de lignes à l'aide des *datasheets* en annexe.
- Vérifier si la configuration du réseau est correcte avec une simulation de *Load Flow* rapide. Pour cette partie, il faut assigner des charges fixes avec **pandapower** (et le fichier excel fourni) qui seront ensuite modifiées dans les sections suivantes.

2.1.2 Identification et modélisation des courbes de charge des différents consommateurs

- En utilisant le fichier .x/sx transmis, recenser les consommateurs connectés à chaque cabinet.
- Estimer la consommation annuelle de chaque bâtiment selon leur surface au sol. S'inspirer des consommations annuelles moyennes disponibles sur l'OFS², le rapport suisseenergie [3], la norme SIA 2024, ainsi que toutes autres sources pertinentes pour cette identification³.
- Définir deux scénarios différents représentant des jours typiques de charge du réseau.
- Selon chaque type de bâtiments et leur consommation énergétique, pondérer les charges qu'ils représentent. Utiliser le dossier de courbes de charge qui a été transmis. Regrouper ces courbes de charge pour chaque nœud (armoire BT) en indiquant les hypothèses de simplification nécessaires.

2.1.3 Identification et modélisation des différents producteurs locaux

- Établir des hypothèses sur la production locale pour les nœuds N1 et 60437.
- S'aider d'un outil de cartographie en ligne⁴ ainsi que d'un outil d'étude de production solaire photovoltaïque (PVsyst, Toit solaire ou les données d'ensoleillement UE⁵) pour générer les courbes.
- Intégrer ces nouvelles informations dans **pandapower** à l'aide des fonctions Python disponibles.

2.2 Simulation du *Load Flow* avec les courbes de charge déterminées précédemment

En s'inspirant du tutoriel vu en cours, analyser l'état du réseau comme suit :

- Vérifier l'évolution des tensions dans les nœuds. Expliquer et détailler les observations.
- Vérifier l'évolution des charges sur les lignes. Expliquer et détailler les observations.

2.3 Etude de méthodes permettant de limiter la surtension et les surcharges pour une production solaire locale dimensionnée

Sur le réseau réalisé à l'aide de **pandapower** :

- Ajouter une installation solaire de 200 kW connectée au cabinet N1.
- Identifier quels sont les problèmes associés à cette installation.
- Calculer la puissance maximale que l'installation pourrait injecter dans la ligne. Déduire les pertes énergétiques et économiques sur la base des prix actuels du marché⁶.

Déterminer la cohérence, la faisabilité et l'impact économique pour les mesures suivantes :

- Bridé la production de puissance active de l'installation PV.
- Modifier le facteur de puissance ($F_p = \cos \varphi$ – sans harmonique) en variant la puissance réactive Q_{ch} et l'installation photovoltaïque.
- Effectuer un remplacement de la ligne et calculer le coût potentiel (voir cours [1], [4]).
- Effectuer une modification de la valeur du gradin du transformateur MT/BT par $\pm 5\%$.

¹ C'est l'occasion de mettre en pratique ce que vous avez appris durant le tutoriel Python-**pandapower** (<https://github.com/heig-vd-iese/rht>)

² [Office fédéral de la statistique – Domaine énergétique | Système de chauffage et source d'énergie](https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiken/energie/energie-und-waerme/energie-und-waerme-statistik.html).

³ Attention à bien choisir des données « publiques » ou « privée » si c'est votre consommation personnelle par exemple.

⁴ Par exemple : <https://map.geo.admin.ch> et <https://www.google.ch/maps>.

⁵ <https://www.uvek-gis.admin.ch/BFE/sonnendach/?lang=fr> ou https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html.

⁶ <https://www.prix-electricite.elcom.admin.ch/?priceComponent=total&view=collapsed>.

- Ajouter une unité de stockage d'énergie avec la technologie de la Table 1.

Batterie	Coût [CHF/kWh]	Rendement	Nombre de cycles
Lithium-Ion	1'000	90 %	10'000

Table 1 – Type de technologies pour les mesures d'amélioration.

Note : Pour l'ensemble des points, veuillez à correctement analyser l'impact énergétique sur l'installation ainsi que son rendement économique. Expliquer votre raisonnement de manière détaillée et argumentée. Pour le premier point.

2.4 Simulation du loadflow avec le développement PV futur (Bonus)

Déterminer l'évolution de la production sur le réseau en développant les points suivants sur le réseau précédemment réalisé à l'aide de **pandapower** :

- Établir des hypothèses sur la production locale en admettant que 80% des habitations de la commune sont équipées de moyen de production.
 - Considérer que la surface au sol est égale à la surface de toit.
- Utiliser les données d'irradiation fournie par l'outil PVGIS donnant les données d'ensoleillement de l'UE⁷ pour générer les courbes.
 - Déterminer et justifier une orientation pour l'ensemble des modules.
- Intégrer ces nouvelles informations dans **pandapower** à l'aide des fonctions Python disponibles.

2.4.1 Renforcement du réseau pour réduire les problèmes de surcharge et surtension

- Proposer des solutions de renforcement du réseau, p.ex. en variant les paramètres du transformateur et des câbles (utiliser les datasheets de câbles en annexe)

2.4.2 Flexibilité de la production et utilisation du stockage

Déterminer la cohérence, la faisabilité et l'impact économique des mesures suivantes pour renforcer le réseau :

- Brider la production de puissance active de l'installation PV.
- Installer des systèmes de stockages

2.5 Simulation de courts-circuits (Bonus)

En s'inspirant du tutoriel vu en cours :

- Générer un court-circuit triphasé sur chaque zone du réseau modélisé.
- Générer un court-circuit phase-terre sur chaque zone du réseau modélisé.

Analyser les résultats et déterminer théoriquement les caractéristiques physiques suivantes :

- Le courant de court-circuit max et min.
- L'impédance de court-circuit.

⁷ https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html

2.6 Rédiger un rapport de synthèse

Ce rapport vise à présenter et à justifier vos choix pour résoudre le problème posé du laboratoire. Il faudra donc détailler les étapes de votre démarche, les méthodes et la théorie utilisées avec une discussion des résultats obtenus. L'objectif est de vérifier la pertinence des résultats obtenus en fonction des hypothèses, les résultats numériques ne sont pas fondamentalement importants.

Ce rapport doit être concis (pas plus de 20 pages, sans compter la page de couverture et les annexes), le but est simplement d'éviter les digressions et/ou redondances.

Références

- [1] M. Bozorg et M. Pellerin, « Réseaux électriques et haute tension (Cours RHT) », Yverdon-les-Bains, 2022.
- [2] M. Pellerin, « Énergie et réseaux électriques (Cours EnResEI) », 2022.
- [3] suisseenergie.ch, « Consommation électrique d'un ménage », août 2021.
- [4] M. Pellerin, « Énergie et réseaux électriques (Cours EnResEI) », 2022.