

## Méthodologies de dimensionnement et de supervision énergétique d'un smart-grid ferroviaire

Contact : Stéphane Brisset, [stephane.brisset@centralelille.fr](mailto:stephane.brisset@centralelille.fr)

### Contexte :

Le réseau ferré français doit faire face à l'augmentation du trafic et de la puissance des engins ferroviaires alors que 40% des lignes électrifiées sont des caténaires 1500VDC non-réversibles, de forte section et limitées en puissance. Une nouvelle architecture du système électrique du réseau ferré national pourrait intégrer un MVDC intelligent comprenant une production renouvelable décentralisée avec des panneaux photovoltaïques et des stockeurs d'énergie pour rendre des services aux réseaux ferroviaire (soutien de tension, optimisation des coûts) et de transport (maintien de fréquence, effacement). Cette évolution à moyen-long terme serait anticipée par la mise en place d'un feeder MVDC interne SNCF sans changer le niveau actuel de tension de la caténaire.

L'ambition du projet se place sur des aspects liés à la transition énergétique, l'exploitation des réseaux et scientifiques. Il contribuera à la transition énergétique en facilitant le déploiement des systèmes de production d'énergie renouvelable grâce à une intégration intelligente (autoconsommation) et une utilisation optimale du réseau électrique ferroviaire, en diminuant l'empreinte écologique de l'électricité (du puits à la roue) par une utilisation réduite des centrales de pointe polluantes, en favorisant la consommation locale de l'électricité produite par les panneaux photovoltaïques et la récupération de l'énergie de matériels roulants, et en réduisant les besoins en cuivre de l'infrastructure à courant continu. Pour l'exploitation, il s'agit d'anticiper et limiter les perturbations électriques (délestage, pannes) en développant de nouvelles stratégies de gestion énergétique et de garantir la stabilité à la fois pour le Réseau Public de Transport et pour le réseau ferré, dans un contexte de remplacement de la production des générateurs synchrones par de la production intermittente sans inertie (photovoltaïque, éolien).

La thèse proposée adresse plus particulièrement un aspect scientifique par le développement de méthodologies de dimensionnement et de supervision énergétique de systèmes complexes tels que les smart-grids électriques, interconnectant, par définition, des acteurs de natures différentes, aux objectifs et contraintes parfois distants (techniques, économiques, réglementaires, ...). Le dimensionnement visera à réduire la variabilité des performances vis-à-vis des incertitudes sur la production des énergies renouvelables, la puissance consommée par les engins roulants et les caractéristiques des composants du système.

### Verrous techniques

Les énergies renouvelables et plus particulièrement l'électricité photovoltaïque sont, de par leur nature, intermittentes et incertaines. L'ensoleillement est caractérisé par des variations journalières et saisonnières ainsi qu'une couverture nuageuse difficilement prévisible. Un stockage d'énergie peut réduire ces inconvénients mais le dimensionnement d'un système complexe comportant des énergies renouvelables, des systèmes de stockage, des consommations et une connexion au réseau d'électricité

nécessite d'optimiser simultanément les dimensions des composants et leur contrôle sur un large horizon temporel, typiquement une année voire plus. Dans une phase de dimensionnement préliminaire sans a priori sur la commande, ceci conduit à de très nombreuses variables de décision et un problème d'optimisation de grande taille dont la résolution se heurte à la « malédiction de la dimensionnalité ».

Deux approches peuvent être utilisées pour la conception par optimisation d'un tel système. La première consiste à linéariser les modèles des composants du système et à trouver, en une seule étape, les dimensions des composants et leur contrôle par une programmation linéaire mixte comprenant des variables continues et booléennes (MILP). Cependant, le tarif d'utilisation des réseaux d'électricité (TURPE), la chute de tension, et les lois constitutives des composants sont des fonctions non-linéaires aussi une MILP conduit fatalement à une solution approchée.

La seconde approche procède par décomposition du problème complet en sous-problèmes de tailles réduites et donc plus simples à résoudre en présence de non-linéarité. Parmi les méthodes de décomposition, on trouve par exemple les techniques d'optimisation collaborative à deux niveaux (un niveau pour la gestion d'énergie et un niveau pour le dimensionnement). La difficulté de ces méthodes se situe dans la coordination des sous-optimisations et leur convergence vers l'optimum du problème complet.

#### Objectifs :

L'objectif est de développer un outil pour le dimensionnement du système complet avec la gestion énergétique. Cet outil devra être flexible pour permettre un changement rapide de l'architecture de connexion. L'architecture doit être couplée à la gestion énergétique du système pour obtenir un dimensionnement optimisé.

Plusieurs approches seront menées. La première consistera en la réalisation d'un modèle linéaire d'optimisation qui permettra d'optimiser simultanément les dimensions des composants du systèmes et la gestion d'énergie. Cette première approche conduira à une solution approchée dont les performances seront confrontées à celles obtenues avec un outil de simulation ferroviaire.

La seconde approche s'appuiera sur des modèles d'optimisation plus fins intégrant les non-linéarités qui apparaissent naturellement dans les objectifs d'optimisation, les contraintes fonctionnelles et les lois de comportement des organes du système. Plusieurs schémas d'optimisation seront testés en commençant par une optimisation imbriquée (l'optimisation de la gestion d'énergie est refaite à chaque modification d'un composant) qui est la plus robuste.

Enfin, on cherchera à quantifier la variabilité des performances du système vis-à-vis des incertitudes sur la production des énergies renouvelables et la puissance consommée par les engins roulants par exemple au moyen d'un grand nombre de profils mesurés ou générés. Un modèle de cette variabilité en fonction des caractéristiques des composants du système sera intégré à l'optimisation afin de réduire la probabilité de défaillance.

#### Profil du candidat :

Diplôme d'ingénieur ou master en génie électrique ou mathématiques appliquées avec des connaissances en modélisation des systèmes électriques, optimisation et programmation avec Matlab.

Des capacités de travail en équipe et de communication seront nécessaires, car de nombreux échanges et réunions se feront avec les partenaires nationaux du projet.