

ELE8453: Méthodes d'optimisation et d'apprentissage
pour les réseaux électriques
Génie électrique, Polytechnique Montréal

Plan de cours

Hiver 2023

1 Professeur

Nom :	Prof. Antoine Lesage-Landry
Bureau	A-429.5
Téléphone	514-340-4711, poste 2442
Courriel	antoine.lesage-landry@polymtl.ca
Disponibilité	sur rendez-vous

2 Description du cours

Ce cours fait partie du programme de l'IGEE sous le sigle IGEE419.

Préalable : ≥ 70 crédits.

Co-requis : Aucun.

Introduction aux méthodes d'optimisation et d'apprentissage pour la gestion, l'opération et la planification des réseaux électriques modernes. Optimisation convexe : écoulement de puissance optimal et relaxations convexes. Optimisation en nombres entiers : planification de la production (*unit commitment*), reconfiguration du réseau et planification de l'expansion du réseau de transport. Optimisation stochastique et robuste : écoulement de la puissance et planification de la production en présence d'énergie renouvelable. Apprentissage supervisé. Régression linéaire : formulation, identification de la topologie du réseau et estimation de l'état du réseau. Classification : K plus proche voisins (*K-NN*), régression logistique, machine à vecteur de support (*SVM*) et reconfiguration automatique du réseau. Réseaux neuronaux : formulation, identification des défauts des lignes et des fautes dans le réseau, approximation de fonctions. Apprentissage non supervisé. Méthode de groupement : K-moyenne et identification des profils de consommation. Apprentissage par renforcement : programmation dynamique, *Q-learning*, SARSA, tarification dynamique (temps réel et tarif critique), gestion de la demande avec charge thermostatique, opération d'unité de stockage. À noter qu'une maturité mathématique ainsi qu'une connaissance de base de Python sont requises pour ce cours.

3 Objectifs du cours

À la fin de ce cours, l'étudiant sera en mesure :

- De concevoir des approches basées sur des méthodes d'optimisation et d'apprentissage de pointe pour la gestion, l'opération, la planification et l'analyse des réseaux électriques.
- D'implémenter numériquement les méthodes discutées en classes sur des réseaux électriques réels.
- D'identifier les avantages et les limitations d'une méthode d'optimisation ou d'apprentissage lorsque appliquée à un problème de réseau électrique.
- De justifier son choix de méthode d'optimisation ou d'apprentissage dans le cadre d'un problème de réseau électrique étudié.

4 Évaluations

4.1 Pondération

Évaluation	Nombre	Pondération totale
Devoirs	3	30%
Contrôle périodique	1	30%
Examen final	1	40%

4.2 Devoirs

Le cours comporte trois devoirs. Les devoirs sont composés d'une question d'implémentation nécessitant de la programmation (langage au choix, Python est suggéré) et de plusieurs questions théoriques. Chaque devoir est précédé d'une séance de travaux dirigés où les concepts en lien avec la question d'implémentation numérique sont introduits. Les devoirs devront être remis dans la chute identifiée au sigle du cours devant A-429.10.

4.3 Contrôle périodique

Date : 23 février, 2023

Heure : 9h30 à 12h20

Note : une page (*recto*)

Le contrôle périodique porte sur les sujets couverts de la semaine 1 à 7.

4.4 Examen final

Durée : 2h30

Note : deux pages (*recto et verso*)

L'examen final est pris en charge par le registrariat. L'examen final est récapitulatif et les sujets des semaine 1 à 13 seront inclus. Une attention particulière est cependant donnée au sujet de la semaine 8 à 13.

5 Équipe d'enseignement

Chargés de travaux dirigés

Nom :	Jean-Luc Lupien	Philippe Maisonneuve
Courriel	jean-luc.lupien@polymtl.ca	philippe.maisonneuve@polymtl.ca
Bureau		A-342
Disponibilité		sur rendez-vous

6 Programme du cours

	Date	Sujet	Travaux pratiques & devoirs
1	12 janvier	Notions de base & rappels <ul style="list-style-type: none">— Introduction à l'écoulement de puissance et sa forme linéaire ;— Introduction à l'optimisation convexe et motivation de son utilisation dans le contexte des réseaux électriques.	

2	19 janvier	Écoulement de puissance optimal (EPO, <i>optimal power flow (OPF)</i>) <ul style="list-style-type: none"> — Introduction & applications de l'EPO; — Formulation du problème et linéarisation; — Relaxations convexes et leurs motivations dans le contexte de l'EPO (efficacité & recherche d'une solution optimale). 	TP-1 : Introduction au logiciel d'optimisation <i>cvxpy</i> . Implémentation numérique de l'EPO pour un réseau à 3 nœuds.
3	26 janvier	Écoulement de puissance optimal (suite) <ul style="list-style-type: none"> — Exactitude des relaxations pour topologie radiale; — Écoulement de puissance optimal multi-période : formulation, discussion des différents objectifs et applications; — EPO-multi-période pour l'écrêtage de pointe à l'aide de batterie. 	
4	2 février	Planification des réseaux électriques <ul style="list-style-type: none"> — Introduction à l'optimisation en nombre entiers & motivation pour la gestion des réseaux électriques; — Planification de la production (<i>unit commitment</i>) : formulation du problèmes (objectif, contraintes, contraintes disjonctives, écoulement de puissance) 	TP-2 : Reconfiguration du réseau de distribution & planification de l'expansion du réseau de transport : formulation et implémentation numérique. Devoir-1 : Conception d'un programme de gestion de la demande de puissance <i>time-of-use</i> pour l'écrêtage de pointe.
5	9 février	Intégration des énergies renouvelables et incertitude <ul style="list-style-type: none"> — Incertitude dans les réseaux électriques (énergie renouvelable, charges, gestion de la demande); — Introduction à l'optimisation stochastique, problème à deux étapes et approximation de la moyenne des échantillons. — Application : planification de la production en présence de sources d'énergie renouvelable. 	
6	16 février	Intégration des énergies renouvelables et incertitude (suite) <ul style="list-style-type: none"> — Introduction à l'optimisation stochastique : optimisation sous contraintes probabilistes. — Application : EPO avec énergie renouvelable. 	TP-3 : Positionnement optimal de ressources énergétiques décentralisées (DERs) renouvelables dans le réseau à l'aide de l'optimisation stochastique. Devoir-1 : remise.
7	23 février	Contrôle périodique	
–	2 mars	Semaine de relâche	

8	9 mars	Apprentissage supervisé : régression <ul style="list-style-type: none"> — Introduction aux méthodes d'apprentissage et exemples d'application dans les réseaux électriques; — Régression linéaire : formulation & extensions; — Apprentissage de la topologie du réseau électrique; — Apprentissage de l'état du réseau. 	TP-4 : Introduction aux bibliothèques <code>scikit-learn</code> et <code>TensorFlow</code> . Implémentation d'une méthode basée sur les données pour l'apprentissage de la topologie du réseau.
9	16 mars	Apprentissage supervisé : classification <ul style="list-style-type: none"> — Classification : formulation & motivations; — Méthodes de classifications : K plus proche voisins (K-NN), régression logistique et machine à vecteur de support (SVM); — Application en réseau électrique (réduction de la charge automatique, reconfiguration du système automatique). 	Devoir-2 : Méthode basée sur les données pour la reconfiguration automatique du réseau afin de minimiser les pertes à l'aide de méthodes de classification.
10	23 mars	Apprentissage supervisé : réseaux neuronaux <ul style="list-style-type: none"> — Réseaux de neurones artificiels (NN) & apprentissage profond : introduction, différents types de NN et de fonction d'activation, rétro-propagation du gradient (<i>backpropagation</i>) et décrochage (<i>dropout</i>); 	TP-5 : Introduction à la bibliothèque <code>PyTorch</code> et implémentation d'un réseau de neurones.
11	30 mars	Apprentissage par renforcement (<i>reinforcement learning</i>) <ul style="list-style-type: none"> — Définition du problème d'apprentissage; — Processus de décision markovien (MDP); — Motivation et applications dans le contexte des réseaux électriques (tarification dynamique, tarification critique, gestion de la demande, régulation de renouvelable avec stockage); — Introduction à la programmation dynamique et limitations. 	Devoir-2 : remise.
12	6 avril	Apprentissage par renforcement (suite) <ul style="list-style-type: none"> — Introduction et motivation de l'apprentissage par renforcement (RL); — Méthodes de RL : Q-<i>learning</i> et $SARSA$; — Q-<i>learning</i> pour la gestion de la demande de puissance d'un charge thermostatique. 	TP-6 : Implémentation d'un modèle de Q - <i>learning</i> pour gestion de la demande de charge thermostatique/tarification dynamique. Devoir-3 : Coordination d'un système résidentiel de batterie et panneaux solaires à l'aide de RL .

13	13 avril	Apprentissage non-supervisé <ul style="list-style-type: none"> — Définition, différences supervisé <i>vs.</i> non-supervisé; — Méthode de regroupement (<i>clustering</i>) : <i>K</i>-moyennes (<i>K-means</i>); — Identification de profile de consommation dans le réseau et dénombrement des charges avec panneaux solaires. 	TP-7 : Séance de résolution de problèmes (1 heure) Devoir-3 : remise.
----	----------	---	--

7 Références

La principale source de documentation pour ce cours provient des notes de cours du professeur (notes manuscrites et diapositives). De plus, trois livres de références sont suggérés :

- Joshua Adam TAYLOR. *Convex optimization of power systems*. Cambridge University Press, 2015
- Jerome FRIEDMAN, Trevor HASTIE, Robert TIBSHIRANI et al. *The elements of statistical learning*. T. 1. 10. Springer series in statistics New York, 2001 (disponible en ligne gratuitement)
- Richard S SUTTON et Andrew G BARTO. *Reinforcement learning : An introduction*. MIT press, 2018 (disponible en ligne gratuitement)

Pour chaque séance de cours, des lectures provenant des livres précédents sont suggérées dans le document *Guide de lecture* disponible sur le site du cours.

Les livre de référence suivants sont suggéré en complément, par exemple, pour approfondir ses connaissances en optimisation, en apprentissage ou en réseau électrique :

- Stephen P BOYD et Lieven VANDENBERGHE. *Convex optimization*. Cambridge university press, 2004 (disponible en ligne gratuitement)
- Giuseppe C CALAFIORE et Laurent EL GHAOUI. *Optimization models*. Cambridge university press, 2014
- Roger A HORN et Charles R JOHNSON. *Matrix analysis*. Cambridge university press, 2012
- Jan MACHOWSKI et al. *Power system dynamics and stability*. John Wiley & Sons, 1997