2EL6150 - Commande prédictive

Responsables : **Romain BOURDAIS**

Langues d'enseignement : **ANGLAIS**

Type de cours : **Electif 2A**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE RENNES**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **60**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **30**

Année académique : **2024-2025**

Catégorie d'électif : **Sciences de l'ingénieur**

Niveau avancé : **oui**

Présentation, objectifs généraux du cours :

La commande prédictive, de l'anglais **Model Predictive Control (MPC)**, est la technique de commande avancée la plus utilisée dans l'industrie. Son utilisation industrielle est en plein essor, car elle permet d'optimiser le fonctionnement d'un process industriel, son efficacité énergétique tout en intégrant des contraintes de fonctionnement. Pour autant, elle fait encore l'objet d'un grand nombre de publications scientifiques, même si les dernières préoccupations de la communauté scientifique restent très théoriques.

Cet électif présente les grands principes de la commande prédictive dans un formalisme mathématique clair, lisible et intuitif et qui n'est pas réservé aux ingénieurs automaticiens - La commande prédictive sera traitée en profondeur et sous tous les aspects de l'automatique dans la mention de 3ème année « Control Engineering » - Après une introduction aux concepts de base du MPC, l'électif est construit autour de nombreux cas d'étude, où ils seront appliqués tant en simulation qu'en pratique pour différents processus industriels. Il est donc question dans cet électif d'apporter des outils de décisions et de commande qui exploitent un modèle du système afin d'en améliorer son efficacité. Les attentes en termes d'efficacité sont traduites en un multicritère mathématique qu'il faut chercher à minimiser. Le modèle peut être issu d'une représentation mathématique du système considéré, auquel cas des méthodes classiques (déterministe, programmation linéaire par exemple, ou résolution explicite) d'optimisation peuvent être utilisées. Le process d'optimisation peut aussi exploiter un simulateur du système étudié, celui-ci doit alors utiliser des techniques heuristiques.

Les applications seront focalisées autour du pilotage sous contrainte énergétique (puissance limitée, demande d'effacement, ...) et sur l'exploitation de telles techniques pour le dimensionnement de systèmes de production ou de stockage de l'énergie.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence) :

SG8

Prérequis :

Cours de commande des systèmes dynamiques
Cours d'Optimisation

Plan détaillé du cours (contenu) :

- **Introduction à la commande prédictive (15h de Cours dirigés, 9h de TP)**
- Concepts de base
 - Modèle de prédiction
 - Principe d'horizon glissant
 - Cahier des charges et formalisation d'objectifs en optimisation multicritère
 - Résolution d'un problème d'optimisation en boucle ouverte et implémentation en boucle fermée
 - Paramètres de réglage
 - Résolution explicites et implicites
- Commande prédictive à critère économique
- Intégration des contraintes de fonctionnement et leur relaxation
- Intégration d'incertitudes et optimisation par co-simulation et algorithmes métaheuristiques

Challenge : Comment améliorer l'efficacité énergétique d'un bâtiment : combinaison rénovation et pilotage actif (6h réservées à l'emploi du temps, +12 heures de travail en autonomie). Ce cas d'étude intègre une dimension économique doublée d'une prise de risque quant à la gestion des incertitudes.

- Analyses de données et analyse bibliographique
- Intégration de l'incertitude (phénomènes météorologiques, consommations aléatoires)
- Recherche de compromis : investissement dans l'infrastructure et capacité de pilotage actif performant
- Calcul de retour sur investissement
- Evaluation des confort (satisfaction des demande)
- Analyse de risques
- Challenge inter équipe - Exposé et évaluation par les pairs

Déroulement, organisation du cours :

- Ce module est construit sur très peu de cours théoriques et mise en apprentissage par la pratique, combinant à la fois des expérimentations sur maquette (soufflerie industrielle) et des études technico-économiques où les contenus théoriques servent de support à la prise de décision.

Organisation de l'évaluation :

- Contrôle des connaissances : 30%
- Rapport de TP : 30%
- Présentation du challenge : 40%

Moyens :

- Equipe enseignante (noms des enseignants des cours magistraux) : Romain Bourdais
- Taille des TD (par défaut 35 élèves) : 25 élèves
- Outils logiciels et nombre de licence nécessaire : Matlab/Simulink/Optimization Toolbox
- Salles de TP (département et capacité d'accueil) : 25 élèves, Maquette Soufflerie (disponible sur le campus de Rennes)

Acquis d'apprentissage visés dans le cours :

A la fin de cet enseignement, l'élève sera capable de

- Spécifier les enjeux technico-économiques du problème de contrôle-commande sous un formalisme de commande prédictive :
 - Faire le choix d'un critère d'optimisation
 - Intégrer les contraintes de fonctionnement et d'usage
- Choisir et utiliser un outil d'optimisation pour la résolution du problème de commande prédictive considéré.
- Choisir les paramètres de réglage adaptés à la situation et d'argumenter quant à ces choix, par le biais de simulation.
- Maîtriser la communication scientifique et technique (lors des compte-rendu ou lors des exposés).

Description des compétences acquises à l'issue du cours

:

- "Specifying the stakes of the control-command problem under a predictive command formalism" is part of **C1.1 "Examine a problem in full breadth and depth, within and beyond its immediate parameters, thus understanding it as a whole. This whole weaves the scientific, economic and social dimensions of the problem."**
- "Choosing and using a suitable optimization tool for solving the predictive control problem under consideration" is part of **C1.2 "Select, use and develop modelling scales, allowing for appropriate simplifying hypotheses to be formulated and applied towards tackling a problem"**.
- Select and use an optimization tool to solve the predictive control problem under consideration" is part of **C2.3 "Independently identify and acquire new knowledge and skills needed"**

Bibliographie :

- Model-based Predictive Control – A practical approach, J.A. Rossiter, CRC Press, 2003
- Model Predictive Control: Theory and Design, J. Rawlings and D. Mayne, Nob Hill Pub, 2009
- Model Predictive Control, E. Camacho and A. Bordons, Springer-Verlag London, 2007