

PLAN DE COURS

ELE4202 — Commande des processus industriels

Automne 2022

Département de génie électrique
École Polytechnique de Montréal

Dernière mise à jour: 28 août 2022

1 Cours préalable

L'étudiant inscrit à ce cours devrait préalablement avoir réussi le cours suivant (ou l'équivalent) :
ELE3201 - Asservissements.

2 Objectifs du cours

Le cours ELE4202, *Commande des processus industriels*, vise à familiariser l'étudiant avec les systèmes de commande industriels utilisant des automatismes séquentiels et asservis. Au terme de ce cours, l'étudiant devrait être capable :

- d'intégrer et d'utiliser les composantes d'un système de commande industriel : capteurs, actionneurs, micro-ordinateurs, automates programmables et contrôleurs numériques dédiés ;
- de décrire les caractéristiques opérationnelles et la structure informatique d'un système de commande industriel : acquisition de données et consigne, interface, affichage, lien de communication, réseau, aspects programmation en temps réel ;
- de développer un système de commande séquentielle pouvant être implanté sur un API (automate programmable industriel) : utiliser le GRAFCET, le GEMMA, les langages de programmation de type booléen, littéral ou utilisant les diagrammes à relais ;
- d'utiliser les modes de représentation des systèmes en temps continu et en temps discret (modèle entrée-sortie et modèle d'état) ;
- d'utiliser différentes méthodes d'identification des paramètres d'un système basées sur :
 - la réponse temporelle et fréquentielle ou
 - l'algorithme des moindres carrés ;
- d'utiliser les méthodes classiques de design de compensateur pour les systèmes en contre-réaction et les méthodes modernes de commande par retour d'état :
 - positionnement de pôles,
 - théorie de la commande linéaire quadratique (régulateur, observateur) ;
- de déployer les outils de traitement de signal nécessaires pour obtenir une mesure adéquate et utilisable pour contrôler un système (filtre numérique, observateur d'état, filtre de Kalman) ;

- d’aborder le problème de la synthèse de système de commande par contre-réaction en utilisant les techniques mentionnées précédemment ;
- de concevoir, d’implanter et de mettre au point un système de commande industriel ;
- d’utiliser des logiciels interactifs spécialisés pour l’analyse, la synthèse et la simulation de système de commande (MATLAB, Simulink) ;
- de développer des boucles de commande et les implanter en temps réel dans différents langages de programmation.

Le cours (**3 crédits ; triplet horaire : 2 - 3 - 4**) est donné selon une formule pédagogique par projet. Les cours magistraux sont donnés à un rythme de 3 heures par semaines, pendant 10 semaines et les séances de laboratoires hebdomadaires sont consacrées à l’apprentissage des équipements et des concepts qui permettront la réalisation de deux projets.

3 Objectifs des laboratoires

Réaliser deux projets différents portant sur la conception d’un système de commande de type industriel.

- Le premier projet porte sur la réalisation à partir d’un cahier des charges d’une fonction de commande séquentielle et son implantation sur un automate industriel.
- Le deuxième projet porte sur la conception et la réalisation d’une loi de commande en boucle fermée pour automatiser un procédé. La conception, la simulation et l’implantation en temps réel est réalisée à partir du logiciel MATLAB/Simulink sur des microordinateurs.

Depuis le trimestre d’hiver 2005, une méthode pédagogique axée sur des projets est utilisée dans le cours. L’objectif de cette méthode est de favoriser l’apprentissage des étudiants à travers la réalisation d’un projet. Les heures de cours sont moins nombreuses et le nombre d’heures consacrées aux laboratoires et à la réalisation des projets de cours est augmenté pour favoriser la réalisation de projets d’équipe de bonne envergure. Des heures d’encadrement sont également prévues.

4 Qualités requises par le BCAPG

	Qualité	Introd.	Approfondissement	Contrôle des acquis évalués
1	Connaissances en génie		X	
2	Analyse de problèmes		X	
4	Conception		X	
5	Utilisation d’outils d’ingénierie		X	

5 Horaire des cours théoriques et des laboratoires

Cours	Richard Gourdeau Disponibilité : sur rendez-vous au A-429.7 email : richard.gourdeau@polymtl.ca	Mardi 8h30, 9h30 et 10h30 L-3816
Lab – section 1	Charles Brosseau Disponibilité : sur rendez-vous	Mardi 12h45, 13h45 et 14h45 A-431/A-429.4
Lab – section 2	Charles Brosseau Disponibilité : sur rendez-vous	Mardi 15h45, 16h45 et 17h45 A-431/A-429.4

En support aux laboratoires, les techniciens(nes) pourront vous assister en cas de problèmes avec le matériel ou les logiciels :

- Support informatique du département (logiciels), dge.informatique@polymtl.ca
- Technicien (matériel) : local A-429.2, téléphone 4890

6 Évaluations et autres modalités

Les apprentissages et le travail des étudiants seront évalués par un contrôle périodique, un examen final, des laboratoires (au nombre de six) et des projets (au nombre de deux).

Le contrôle périodique d'une durée de 2 heures 30 minutes et l'examen final d'une durée de 2 heures 30 minutes sont des évaluations individuelles. Un aide-mémoire est fourni pour le contrôle périodique et pour l'examen final.

Le contrôle périodique aura lieu à la date suivante : **mardi 18 octobre 2022 (9h00)**.

Tout étudiant(e) dont l'absence au contrôle périodique ou à l'examen final est motivée (motif accepté par le registraire) devra se soumettre à un examen différé oral. L'examen oral aura lieu en présence d'un tiers.

Le détail de la pondération des évaluations est donné par les tableaux suivants :

Partie I : automatisme séquentiel	Pondération	Modalités
Contrôle périodique	20%	Aucune documentation : Feuilles de synthèse fournies Pas de calculatrice
Séance 1	2%	
Séance 2	2%	
Séance 3	2%	
Séance 4	2%	
Projet d'automatisme séquentiel	22%	
Total	50%	

Partie II : commande boucle fermée	Pondération	Modalités
Examen final	25%	Aucune documentation : Feuilles de synthèse fournies Calculatrice non programmable
Séance 5	2%	
Séance 6	1%	
Projet de commande en boucle fermée	22%	
Total	50%	

La réalisation des projets est précédée de séances de laboratoires qui ont pour but de familiariser l'étudiant avec les montages et les systèmes de commande. **Les laboratoires débutent dès la première semaine.**

Les étudiants travailleront en **équipe de deux (maximum) étudiants** de la même section. Chaque séance de laboratoire fait l'objet d'une démonstration souvent à la fin de la séance et d'un rapport concis. Les projets font l'objet d'une démonstration élaborée et d'un rapport écrit complet.

Une partie du travail de laboratoire est évaluée durant les séances (préparation, déroulement et validation des résultats). **La préparation des séances et la présence au laboratoire sont donc obligatoires pour tous les membres de l'équipe.**

7 Horaire détaillé

Semaine	Cours	Laboratoire	Lectures
Semaine 1 30 août	Introduction / Rappels API / Base LD / Grafcet	Séance no. 1 (3h) : Automate et ladder	Chapitres 1 à 4
Semaine 2 6 sept.	Fonctions de base LD / Grafcet Labo. 2 et Compteurs	Séance no. 2 (3h) Grafcet / Écran d'exploitation	Chapitres 5 et 6 section 8.1
Semaine 3 13 sept.	Suite Grafcet et exemples Labo. 3	Séance no. 3 (3h) : Interface Homme Machine	Chapitres 7 et 8
Semaine 4 20 sept.	Interface / Gemma / Sécurité Labo. 4 et Présentation projet I	Séance no. 4 (3h) : Positionnement semi-autom.	Projet I
Semaine 5 27 sept.	Pas de cours Consultations exercices	Consultation supervision (1h) Projet I	Chapitre 9
4 oct.	Pas de cours Élections provinciales		
Semaine 6 18 oct.	Contrôle périodique	Consultation supervision (1h) Projet I	
Semaine 7 25 oct.	Modèle E-S, d'état cont/discret Identification / Moindres carrés	Consultation supervision (1h) Projet I	Chapitres 10 et 11
Semaine 8 1 ^{er} nov.	Présentation du projet II Rappels d'asservissements	Démonstration projet I (3h) Séance no. 5 : Identification	Sections 12.1–12.7
Semaine 9 8 nov.	Commande temps réel Exemples et exercices	Séance no. 6 : (3h) Commande et simulation	
Semaine 10 15 nov.	Commande par retour d'état Méthode LQR	Consultation supervision (1h) Projet II : simulation rég.	Section 12.8
Semaine 11 22 nov.	Observateur Filtre de Kalman	Consultation supervision (1h) Projet II : simul. rég.-filtrage	Sections 12.9–12.12 Chapitre 13
Semaine 12 29 nov.	Pas de cours	Consultation supervision (1h) Projet II : expérim. filtrage	
Semaine 13 7 déc.	Révision examen final Mercredi	Consultation supervision (1h) Projet II : BF et Démo	

8 Textes et références

Documentation obligatoire

- Notes de cours en vente à la coopérative étudiante.
- Un cahier des laboratoires disponibles sur le WEB.
- Les énoncés des projets seront publiés sur le site web du cours.

Documentation facultative

Commande séquentielle :

1. AFCET - ADEPA, Le GRAFCET, 2^{ème} édition, Cépaduès-Éditions, Toulouse 1992-95.
2. Moreno S., Peulot E., Le Grafcet : Conception — Implantation dans les Automates Programmables Industriels, Éditions Casteilla 1996.
3. Michel G., Laurgeai C., Espiau B., Les automates programmables industriels, Dunod technique, Paris, 1979.
4. Blanchard M., Comprendre, Maîtriser et appliquer le GRAFCET, Cepadues-éditions, Toulouse, 1979.
5. GREPA, Blanchard M., Le GRAFCET de nouveaux concepts, Cepadues-éditions, Toulouse 1985.
6. David R., Alla. H., Du GRAFCET aux réseaux de Pétri, Hermès, Paris, 1989.
7. Warnock I.G., Programmable Controllers : Operation and Application, Prentice Hall, 1988.
8. Jones C.T., Bryan L.A., Programmable controllers : concept and applications, IPC/ASTEC Publication, 1983.
9. Bouteille D. et coll., Les automates programmables, Cepadues-éditions, Toulouse, 1987.

Commande de procédés :

1. Kuo B.C., Automatic Control Systems, Prentice-Hall.
2. Dorf R.C., Modern Control Systems, Addison-Wesley, [7 ed.].
3. Friedland B., Control System Design : An Introduction to State-Space Methods, McGraw-Hill, 1986.
4. Bélanger P.R., Control Engineering : A Modern Approach, Saunders College Pub., 1995.
5. Brogan W.L., Modern Control Theory, Quantum Publishers, New-York, 1974.
6. Hsia T.C., System Identification, Lexington Books, Toronto, 1977.
7. Franklin G.F., Powell D.J., Digital Control of Dynamics, Systems, Addison-Wesley, 1981.
8. Ljung L., System Identification : Theory for the User, Prentice-Hall, 1987.
9. Astrom K.J., Wittenmark B., Computer Controlled Systems : Theory and Design, Prentice-Hall, 1984.
10. Houppis C.H., Lamont G.B., Digital Control Systems : Theory Hardware, Software., McGraw-Hill, 1992.
11. Juang J.-N., Applied System Identification, Prentice-Hall, 1994.
12. Borne P., Dauphin-Tanguay G., Richard J.P., Rotella F., Zambettakis I., Modélisation et identification des processus, Tome 1 et 2, Éditions Technip, 1992.