



**POLYTECHNIQUE
MONTRÉAL**

UNIVERSITÉ
D'INGÉNIERIE

Plan de cours

ELE4202 - Commande des processus industriels

Département de génie électrique

Automne 2023

3 Crédits

Triplet horaire : 2 - 3 - 4

moodle.polymtl.ca

Dernière mise à jour : 4 août 2023

Coordonnées et disponibilités

Professeur	Richard Gourdeau
Bureau	A-429.7
Téléphone	(514) 340-4711 - Poste 5863
Courriel	richard.gourdeau@polymtl.ca
Disponibilité	Sur rendez (bureau ou Webex)
Horaire de cours	L-3816 : mardi de 8h30 à 11h20

Chargé de laboratoire

Nom	Charles Brosseau
Courriel	charles-2.brosseau@polymtl.ca
Section 1	A-431 : mardi de 12h45 à 15h35
Section 2	A-431 : mardi de 15h45 à 18h35

Description du cours

Familiarisation avec les structures de commande et d'instrumentation : modélisation des processus, stratégie de commande, schéma d'instrumentation, normes et conventions. Automates programmables industriels, fonctionnement, programmation Grafset et Gemma. Systèmes de commande répartie. Identification des paramètres : méthodes fréquentielles et temporelles, algorithmes des moindres carrés. Théorie de la commande optimale pour les systèmes linéaires : régulateur de Kalman, observateur d'ordre complet et d'ordre réduit, filtre de Kalman, théorème de séparation. Résolution de l'équation algébrique de Riccati. Contrôleur linéaire quadratique : réglage et robustesse. Recouvrement des propriétés. Exemples d'applications.



Note : L'inscription et l'abandon de ce cours-projet sont sujets à des restrictions.

COURS PRÉALABLES	COURS COREQUIS	COURS SUBSÉQUENTS
ELE3201		

Qualités du BCAPG

1 Connaissances en génie	2 Analyse de problèmes	3 Investigation	4 Conception	5 Utilisation d'outils d'ing.	6 Travail ind. et en équipe
AP	AP		AP	AP	
7 Communication	8 Professionalisme	9 Impacts soc. et environn.	10 Déontologie et équité	11 Économie et gestion de projets	12 Apprentissage continu

Objectifs d'apprentissage

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 (qualité 2.3) ;
- 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 (qualité 1.2) ;
- 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 (qualités 4.3 et 5.2) ;
- d'utiliser les modes de représentation des systèmes en temps continu et en temps discret (modèle entrée-sortie et modèle d'état) (qualités 1.1 et 1.2) ;
- d'utiliser différentes méthodes d'identification des paramètres d'un système basées sur (qualité 4.2) :
 - 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 (qualité 4.3) :
 - 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) (qualité 4.3) ;

- d'aborder le problème de la synthèse de système de commande par contre-réaction en utilisant les techniques mentionnées précédemment (qualité 4.5) ;
- de concevoir, d'implanter et de mettre au point un système de commande industriel (qualités 2.5, 4.3 et 4.5) ;
- d'utiliser des logiciels interactifs spécialisés pour l'analyse, la synthèse et la simulation de système de commande (MATLAB, Simulink) (qualité 5.2) ;
- de développer des boucles de commande et les implanter en temps réel dans différents langages de programmation (qualité 5.2).

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 (qualités 2.3, 4.3, 4.5 et 5.2).
- 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 (qualités 4.2, 4.3, 4.5 et 5.2).

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.

Méthodes d'enseignement et d'apprentissage

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.

Évaluations

Nature	Nombre	Mode de réalisation (individuel/équipe)	Pondération	Date
Laboratoire : séances 1 à 4	4	équipe	4 x 2%	
Contrôle périodique	1	individuel	20%	3 octobre 8h30
Projet d'automatisme séquentiel	1	équipe	22%	
Laboratoire : séance 5	1	équipe	2%	
Laboratoire : séance 6	1	équipe	1%	
Projet de commande boucle fermée	1	équipe	22%	
Examen final	1	individuel	25%	

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.**

Critères d'évaluation

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. L'utilisation d'une calculatrice non-programmable est permis.

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.

Personnes-ressources

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

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.

Bibliographie

Commande séquentielle :

1. AFCET - ADEPA, Le GRAFCET, 2^{ième} 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. Houpis C.H., Lamont G.B., Digital Control Systems : Theory Hardware, Software., Mc Graw-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.

Calendrier des rencontres

Semaine	Thèmes	TD, Labo, TP	Lectures et exercices préparatoires
Semaine 1 29 août	Introduction / Rappels API / Base LD / Grafcet	Séance no. 1 (3h) : Automate et ladder	Chapitres 1 à 4
Semaine 2 5 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 12 sept.	Suite Grafcet et exemples Labo. 3	Séance no. 3 (3h) : Interface Homme Machine	Chapitres 7 et 8
Semaine 4 19 sept.	Interface / Gemma / Sécurité Labo. 4 et Présentation projet I	Séance no. 4 (3h) : Positionnement semi-autom.	Projet I
Semaine 5 26 sept.	Pas de cours Consultations exercices	Consultation supervision (1h) : Projet I	Chapitre 9
Semaine 6 3 oct.	Contrôle périodique	Consultation supervision (1h) : Projet I	
Semaine 7 17 oct.	Modèle E-S, d'état cont/discret Identification / Moindres carrés	Consultation supervision (1h) : Projet I	Chapitres 10 et 11
Semaine 8 24 oct.	Présentation du projet II Rappels d'asservissements	Démonstration projet I (3h) : Séance no. 5 : Identification	Sections 12.1–12.7
Semaine 9 31 oct.	Commande temps réel Exemples et exercices	Séance no. 6 : (3h) Commande et simulation	
Semaine 10 7 nov.	Commande par retour d'état Méthode LQR	Consultation supervision (1h) Projet II : simulation rég.	Section 12.8
Semaine 11 14 nov.	Observateur Filtre de Kalman	Consultation supervision (1h) Projet II : simul. rég.-filtrage	Sections 12.9–12.12 Chapitre 13
Semaine 12 21 nov.	Pas de cours	Consultation supervision (1h) Projet II : expérim. filtrage	
Semaine 13 28 nov.	Révision examen final	Consultation supervision (1h) Projet II : BF et Démonstration	

Fraude : règlement et sanctions

En tant que futur ingénieur, les étudiantes et les étudiants doivent adopter une attitude professionnelle exemplaire. L'article 8 des règlements des études au baccalauréat présente la position de Polytechnique Montréal à l'égard de la fraude sur la base du principe de tolérance zéro. Voici quelques éléments [tirés du règlement](#) en vigueur.

Par fraude, on entend toute forme de plagiat, de tricherie ou tout autre moyen illicite utilisé par une étudiante ou un étudiant pour obtenir un résultat d'évaluation non mérité ou pour influencer une décision relative à un dossier académique.

À titre d'exemple, constituent une fraude :

- l'utilisation totale ou partielle, littérale ou déguisée, d'une œuvre d'autrui, y compris tout extrait provenant d'un support électronique, en le faisant passer pour sien ou sans indication de référence à l'occasion d'un examen, d'un travail ou de toute autre activité faisant l'objet d'une évaluation ;
- le non respect des consignes lors d'un contrôle, d'un examen, d'un travail ou de toute autre activité faisant l'objet d'une évaluation ;
- la sollicitation, l'offre ou l'échange d'information pendant un contrôle ou un examen ;
- la falsification de résultats d'une évaluation ou de tout document en faisant partie ;
- la possession ou l'utilisation pendant un contrôle ou un examen de tout document, matériel ou équipement non autorisé y compris la copie d'examen d'une autre personne étudiante.

Selon la gravité de l'infraction et l'existence de circonstances atténuantes ou aggravantes, l'étudiante ou l'étudiant peut se voir imposer une sanction correspondant à, entre autres, l'attribution de la cote 0 pour l'examen, le travail ou toute autre activité faisant l'objet d'une évaluation qui est en cause, l'attribution de la note F pour le cours en cause, l'attribution de la note F à tous les cours suivis au trimestre.

Dans le cas d'un travail en équipe, les étudiantes et les étudiants d'une même équipe de travail tel que reconnu par l'enseignant sont solidaires du matériel produit au nom de l'équipe. Si un membre de l'équipe produit et remet un travail au nom de l'équipe et qu'il s'avère que ce travail est frauduleux tous les membres de l'équipe sont susceptibles de recevoir une sanction à moins qu'il soit démontré sans ambiguïté que l'infraction est le fait d'un ou de quelques membres de l'équipe en particulier.

Ressources et services pour les étudiantes et étudiants

Le [Service aux étudiants](#) (SEP) est constitué de professionnels qualifiés et d'une Escouade étudiante, dédiés à favoriser votre bien-être et votre réussite à Polytechnique Montréal, autant sur le plan académique, personnel que social. Que ce soit sous la forme de rencontres individuelles, d'ateliers pratiques ou de programmes tels que le tutorat et le mentorat, les services offerts vous aideront à vous épanouir à votre plein potentiel durant vos études à Polytechnique Montréal. N'hésitez pas à les contacter. Vous avez tout à y gagner !

Le [Bureau d'intervention et de prévention des conflits et de la violence](#) (BIPCV), vous accueille, vous guide et vous soutient en matière de violence à caractère sexuel, harcèlement ou tout enjeu relatif au respect des personnes. Le BIPCV est un bureau indépendant, assurant un service respectant la confidentialité et une écoute sans jugement. Contactez-les : bipcv@polymtl.ca 514 340-4711 Poste 5151.

Qualités requises des diplômé.es par le BCAPG

Ce tableau présente 4 des 12 qualités requises par le BCAPG. Vous trouverez ci-dessous les qualités qui seront développées dans ce cours selon les niveaux suivants : Introduction (IN), Approfondissement (AP) et Contrôle des Acquis (CA).

	Qualité	Déclinaison	IN	AP	CA
1	Connaissances en génie : connaissance, à un niveau universitaire, des mathématiques, des sciences naturelles et des notions fondamentales de l'ingénierie, ainsi qu'une spécialisation en génie propre au programme.	1.1 Démontrer des connaissances de base en mathématiques et en sciences		X	
		1.2 Démontrer des connaissances de base en génie		X	
		1.3 Démontrer des connaissances avancées en génie			
2	Analyse de problèmes : capacité d'utiliser les connaissances et les principes appropriés pour identifier, formuler, analyser et résoudre des problèmes d'ingénierie complexes et en arriver à des conclusions étayées.	2.1 Identifier et formuler un problème			
		2.2 Explorer des approches de résolution et planifier la démarche			
		2.3 Conceptualiser ou modéliser le problème		X	
		2.4 Produire des résultats			
		2.5 Valider ses résultats et recommander		X	
		2.6 Analyser l'incertitude, la sensibilité et les limites des approches			
4	Conception : capacité de concevoir des solutions à des problèmes d'ingénierie complexes et évolutifs et de concevoir des systèmes, des composants ou des processus qui répondent aux besoins spécifiés, tout en tenant compte des risques pour la santé et la sécurité publiques, des aspects législatifs et réglementaires, ainsi que des incidences économiques, environnementales, culturelles et sociales.	4.1 Identifier les besoins, requis et fonctions			
		4.2 Modéliser les éléments à concevoir		X	
		4.3 Procéder à la conception		X	
		4.4 Considérer les relations systémiques internes/externes			
		4.5 Évaluer et itérer		X	
		4.6 Innover dans sa conception			
5	Utilisation d'outils d'ingénierie : capacité de créer et de sélectionner des techniques, des ressources et des outils d'ingénierie modernes et de les appliquer, de les adapter et de les étendre à un éventail d'activités simples ou complexes, tout en comprenant les contraintes connexes.	5.1 Évaluer et sélectionner les outils appropriés			
		5.2 Appliquer un outil d'ingénierie		X	
		5.3 Créer ou adapter un outil			
		5.4 Intégrer des outils			