

Sigle : GEN1743 Gr. 01**Titre : Commande numérique****Session : Hiver 2026 Horaire et local****Professeur : Bennai, Mustapha****1. Description du cours paraissant à l'annuaire :****Objectifs**

Au terme de cette activité, l'étudiant(e) sera en mesure d'analyser les différents blocs fonctionnels d'une chaîne d'acquisition de données, de connaître l'utilisation des capteurs et de l'instrumentation industrielle, de concevoir les éléments d'un système de contrôle numérique et d'en analyser les performances.

Contenu

Spécificités et exemples de systèmes numériques. Architecture d'un système d'acquisition de données : échantillonneurs/bloqueurs, convertisseurs A/N et N/A, multiplexeurs, interfaces séries et parallèles, bus industriels, mise en mémoire, filtrage, linéarité. Isolation des circuits de puissance. Cartes et logiciels d'acquisition de données. Méthodes et algorithmes de traitement de données numériques. Cartes DSP. Représentation et interprétation des signaux. Filtrage du bruit. Contrôle numérique. Correcteurs numériques. Performances des systèmes numériques de commande automatique. Commande moderne (multivariable, adaptative, prédictive). Projet de conception d'un système d'acquisition et de contrôle numérique.

Descriptif – Annuaire

2. Objectifs spécifiques du cours :**2.1 Objectifs généraux :** Le cours vise à :

1. Fournir des outils d'analyse et de conception pour l'ensemble d'une chaîne d'acquisition de données et de commande numérique, du capteur jusqu'à l'actionneur.
2. Permettre aux étudiant(e)s de poser et de résoudre des problèmes concrets de commande numérique tels qu'on les rencontre dans l'industrie (échantillonnage, filtrage, commande, implantation temps réel).
3. Développer la capacité d'analyse critique des performances d'un système numérique de contrôle (stabilité, précision, rapidité, robustesse) et la capacité de proposer des améliorations.
4. Renforcer les habiletés de recherche, de travail en équipe et de communication, notamment à travers un projet intégrateur de conception et de démonstration d'un prototype.

2.2 Objectifs spécifiques : À la fin du cours, l'étudiant(e) devrait être en mesure de :

1. Situer les systèmes d'acquisition et de commande numérique dans un contexte industriel réel et identifier leurs principaux blocs fonctionnels (capteurs, conditionnement, conversion, traitement, actionneur).
2. Expliquer et appliquer les principes d'échantillonnage en temps réel, de blocage et de conversion A/N et N/A.
3. Décrire l'architecture d'une chaîne d'acquisition de données (multiplexeurs, interfaces, mémoires, filtrage, isolement) et en analyser les limites (bruit, linéarité, bande passante).
4. Analyser la stabilité et les performances d'un système échantillonné (temps de réponse, dépassement, erreur statique) en domaine temporel et fréquentiel.
5. Concevoir et régler des correcteurs numériques classiques (notamment PID) à partir d'un modèle discret, et en évaluer les performances.
6. Utiliser et interpréter le lieu d'Evans numérique comme outil graphique de synthèse et d'analyse de la robustesse.
7. Utiliser l'outil de transformée (transformée z , transformée W ou équivalent) pour passer d'un modèle continu à un modèle discret et mettre en relation les pôles/zéros dans les deux domaines.
8. Expliquer la structure polynomiale RST (polynômes R, S, T), son lien avec le PID et ses avantages dans la commande numérique.
9. Mettre en œuvre, sur des exemples simples, la synthèse et l'utilisation d'un régulateur RST à partir d'un modèle discret du procédé.
10. Identifier les enjeux liés à l'implantation temps réel : période d'échantillonnage, quantification, délais de calcul, saturation, erreurs numériques.

11. Adapter une loi de commande (PID ou RST) pour tenir compte de ces contraintes et en analyser l'impact sur les performances.
12. Décrire le fonctionnement et les caractéristiques des convertisseurs A/N et N/A utilisés pour interfacer les systèmes numériques avec le monde physique.
13. Intégrer ces convertisseurs dans une chaîne complète d'acquisition et de commande, en tenant compte des limitations matérielles.
14. Concevoir, implémenter et expérimenter un prototype de système d'acquisition et de commande numérique, en mobilisant les notions vues dans le cours.
15. Présenter et documenter de façon structurée la démarche de conception, les choix techniques et l'analyse des résultats obtenus.

Ce cours couvre 5 des 12 qualités requises des diplômé(e)s telles que définies dans les normes d'agrément des programmes de génie au Canada. **Cependant, seulement les qualités 3, 4 et 5 sont mesurées pour fins de rétroaction** (<http://www.engineerscanada.ca/fr/ressources-en-matiere-dagrement>) :

1. Qualité 1 : Connaissance en génie
2. Qualité 2 : Analyse de problème
3. **Qualité 3 : Investigation**
4. **Qualité 4 : Conception**
5. **Qualité 5 : Utilisation d'outils d'ingénierie**

Objectifs spécifiques	Qualité	Indicateurs	Introduit	Développé	Appliqué
Capacité à trouver l'information nécessaire à la conception et à la réalisation de projets. Capacité à évaluer le degré de succès du projet et à identifier les possibles améliorations si nécessaire.	3	2. Mettre en œuvre des investigations documentaires, des expériences et/ou des prototypes.			X
		3. Faire une analyse critique des résultats pour parvenir à des conclusions et en évaluer la validité.			X
La conception en ingénierie est un processus consistant à prendre des décisions éclairées pour concevoir de façon créative un produit, un système, un composant ou un procédé devant répondre à des besoins précisés, en tirant parti de l'analyse et du jugement de l'ingénierie. Ce processus est souvent caractérisé comme étant complexe, évolutif, itératif et multidisciplinaire. Les solutions qui en sont issues font appel aux sciences naturelles, aux mathématiques et aux sciences du génie, ainsi qu'à des pratiques systématiques et exemplaires actuelles afin de satisfaire à des objectifs définis, dans le respect des exigences, des normes et des contraintes établies. Parmi les contraintes à prendre en considération, citons la santé et la sécurité, la durabilité,	4	1. déterminer les besoins des clients et établir les exigences, les normes et les contraintes comme la santé et la sécurité, la durabilité, l'environnement, l'éthique, la sûreté, l'économie, les facteurs esthétiques et humains, la faisabilité et la conformité aux aspects réglementaires, de même que des enjeux universels en matière de conception, comme les aspects sociaux, culturels et de diversification.			x
		2. Produire et comparer différentes solutions possibles afin de sélectionner le meilleur concept.			X

l'environnement, l'éthique, la sûreté, l'économie, les facteurs esthétiques et humains, la faisabilité et la conformité aux aspects réglementaires, de même que des enjeux universels en matière de conception, comme les aspects sociaux, culturels et de diversification.					
Être capable de mettre en exergue les limites des outils utilisés et surtout de les prendre en compte dans l'analyse des résultats obtenus.	5	3. Analyser les limites liées aux outils, techniques de mesure, modèles ou simulations en regard des résultats obtenus.			X

3. Stratégies pédagogiques :

A. Les formules pédagogiques suivantes seront utilisées :

- Le contenu du programme sera principalement présenté sous forme d'exposés magistraux (45 h) dont:
 - Trois (3) séances de cours en non-présentiel par vidéoconférence via Zoom : 10 février, 17 mars et 07 avril**
- Les séances de laboratoire obligatoires (4) :
Ces séances compléteront les exposés magistraux et permettront aux étudiant(e)s de mettre en pratique les concepts étudiés dans le cours didactique.
 - Des travaux de pré-laboratoire **individuels, notés**, doivent être préparés par l'étudiant(e) et remis juste avant le début de la séance.
 - Concevoir et simuler des systèmes d'asservissement numériques appliqués à l'aide du logiciel MATLAB-SIMULINK et valider les résultats sur le module SRV2 de QUANSER.
 - Un rapport final **individuel** est à remettre une semaine après la séance de laboratoire.

NB : La présence à l'heure indiquée au laboratoire est obligatoire. Une pénalité de 20% par jour sera retenue pour tout travail non remis dans les délais prescrits.

N° TP	Description
1	Conversion AN, NA et Théorème d'échantillonnage – Filtrage et Modélisation des tests « <i>Bump</i> »
2	Contrôle proportionnel – Dérivé (PD) Introduction au contrôle numérique
3	Discretisation utilisant la méthode appariée Pôle-Zéro
4	Conception dans le domaine discret

- Un projet de conception en ingénierie avec réalisation pratique portant sur une étude de commande numérique sera présenté aux étudiant(e)s qui devront y travailler en équipe. Un rapport final **individuel** sera remis par les étudiants(e)s à la fin de la session.

Cette étude comprendra :

i.	Élaboration d'un plan de travail
ii.	Production d'un cahier de charge et d'un document des exigences
iii.	Rédaction d'un rapport d'avancement
iv.	Implémentation de la solution
v.	Rédaction d'un rapport final
vi.	Test et présentation du projet en classe

- Examen de mi-session
- Examen final

B. Préalable(s) : GEN1173 et GEN1223

C. Communications : Une page Web sera créée pour ce cours et comportera toute la documentation nécessaire (acétates, articles sélectionnés, exercices proposés, étude de projet, etc.) et servira, avec le forum aux questions, de principal moyen de communication entre l'enseignant et les étudiant(e)s. La consultation régulière de la page est de la responsabilité de l'étudiant(e).

Liens et guides utiles :

- 1- Guide d'utilisation de Zoom à l'intention des étudiants
- 2- Modalités de tenue des séances de travaux pratiques (TP) et de projets dans les laboratoires de génie

4. Heures de disponibilité ou modalités pour rendez-vous :

Sur rendez-vous : mustapha.bennai@uqo.ca.

5. Plan détaillé du cours sur 15 semaines :

Semaine	Thèmes	Dates
1	<ul style="list-style-type: none"> Présentation du cours Description du projet / Choix de groupes Chapitre 1 : Introduction 	13 janv. 2026
2	<ul style="list-style-type: none"> Chapitre 1 : Introduction (suite) 	20 janv. 2026
3	<ul style="list-style-type: none"> Chapitre 2-1 : Fondements et principes de la commande numérique 	27 janv. 2026
4	<ul style="list-style-type: none"> Chapitre 2-2 : Architecture de systèmes d'acquisition de données <p>TP1 : Groupe A (5 février)</p>	03 févr. 2026
5	<p>SÉANCE EN MODE NON-PRÉSENTIEL</p> <ul style="list-style-type: none"> Chapitre 3-1 : Stabilité et performance des systèmes échantillonnés <p>TP1 : Groupe B (12 février)</p>	10 févr. 2026
6	<ul style="list-style-type: none"> Chapitre 3-2 : Les correcteurs dans les systèmes échantillonnés & Construction du lieu d'Evans pour systèmes numériques <p>TP2 : Groupe A (19 février)</p>	17 févr. 2026
7	<ul style="list-style-type: none"> Chapitre 3-2 : Les correcteurs dans les systèmes échantillonnés & Construction du lieu d'Evans pour systèmes numériques <p>TP2 : Groupe B (26 février)</p>	24 févr. 2026
8	<ul style="list-style-type: none"> Semaine d'études 	02-06 mars 2026
9	<ul style="list-style-type: none"> Examen de mi-session en mode présentiel 	10 mars 2026
10	<p>SÉANCE EN MODE NON-PRÉSENTIEL</p> <ul style="list-style-type: none"> Chapitre 4 : Introduction à la transformée W <p>TP3 : Groupe A (19 mars)</p>	17 mars 2026
11	<ul style="list-style-type: none"> Chapitre 5 : Commande numérique par régulateur RST <p>TP3 : Groupe B (26 mars)</p>	24 mars 2026

12	<ul style="list-style-type: none"> Chapitre 6 : Aspects théoriques de l'implémentation numérique TP4 : Groupe A (2 avril)	31 mars 2026
13	SÉANCE EN MODE NON-PRÉSENTIEL <ul style="list-style-type: none"> Chapitre 7 : Les convertisseurs NA et AN GEN1743 TP4 : Groupe B (9 avril)	07 avril 2026
14	<ul style="list-style-type: none"> Présentation du projet final Démonstration du prototype 	14 avril 2026
15	<ul style="list-style-type: none"> Examen final en mode présentiel 	21 avril 2026

6. Évaluation du cours :

Outils d'évaluation	Pondération	Indicateurs évalués
Travaux pratiques	20 %	5.3 et 3.3
Projet de conception en ingénierie	20 %	3.2 et 4.2 et 4.1
Examen de mi-session	25 %	
Examen final	35 %	

Par **indicateur mesuré**, on entend qu'à la fin du cours, un niveau de performance (0, 1, 2, 3) est donné pour chaque indicateur et pour chaque étudiant(e) selon la grille ci-dessous :

Indicateurs	Niveau 0	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3
3.2 – Mettre en œuvre des investigations documentaires, des expériences et/ou des prototypes.	Moins de 52 %	Entre 52 % et 63 %	Entre 64 % et 83 %	Plus de 84 %
3.3 – Faire une analyse critique des résultats pour parvenir à des conclusions et en évaluer la validité.	Choix du modèle et analyse inadéquates.	Choix du modèle acceptable, mais analyse partielle.	Choix du modèle et analyse adéquats.	Choix du modèle et analyse remarquables.
4.1 - Déterminer les besoins des clients et établir les exigences, les normes et les contraintes comme la santé et la sécurité, la durabilité, l'environnement, l'éthique, la sûreté, l'économie, les facteurs esthétiques et humains, la faisabilité et la conformité aux aspects réglementaires, de même que des enjeux universels en matière de conception, comme les aspects sociaux, culturels et de diversification.	Identification inadéquate des besoins et des contraintes	Identification des besoins acceptable, mais détermination des contraintes insuffisante	Identification acceptable des besoins et des contraintes	Identification exhaustive des besoins et des contraintes
4.2 – Produire et comparer différentes solutions possibles afin de sélectionner le meilleur concept.	Utilisation inadéquate ou inexistante.	Utilisation partielle.	Utilisation adéquate.	Utilisation remarquable.

5.3 – Analyser les limites liées aux outils, techniques de mesure, modèles ou simulations en regard des résultats obtenus.

Incapable de faire le travail individuel sans assistance.

Fait le travail individuel avec peu d'assistance.

Fait le travail individuel sans assistance.

Fait le travail individuel de façon remarquable sans assistance.

7. Politiques départementales et institutionnelles :

- Politique du département d'informatique et d'ingénierie relative à la tenue des examens
- Note sur le plagiat et sur la fraude
- Politique relative à la qualité de l'expression française écrite chez les étudiants et les étudiantes de premier cycle à l'UQO
- Absence aux examens : cadre de gestion, demande de reprise d'examen (formulaire)

Tolérance **ZÉRO** en matière de violence à caractère sexuel.

Le Bureau d'intervention et de prévention en matière de harcèlement (BIPH) a pour mission d'accueillir, soutenir et guider toute personne vivant une situation de harcèlement, de discrimination ou de violence à caractère sexuel. Le BIPH oriente ses actions afin de prévenir les violences à caractère sexuel pour que nous puissions étudier, travailler et s'épanouir dans un milieu sain et sécuritaire.

Vous vivez ou êtes une personne témoin d'une situation de violence à caractère sexuel ? Vous êtes une personne membre de la communauté étudiante ou une personne membre du personnel, autant à Gatineau qu'à Ripon et St-Jérôme, l'équipe du BIPH est là pour vous, sans jugement et en toute confidentialité.

Ensemble, participons à une culture de respect.

Pour de plus amples renseignements consultez UQO.ca/biph ou écrivez-nous au Biph@uqo.ca

8. Principales références :

1. Phillips, C. L., Nagle, H. T., & Chakraborty, A. (2015). *Digital control system analysis and design* (4th Edition). Pearson Education Inc.
2. Arthur G.O. Mutambara, *Design and Analysis of Control Systems*, Kindle éd. 2017 (first published in 1999).
3. Richard C. Dorf, Robert H. Bishop, *Modern Control Systems, 12th Edition*, Prentice Hall, 2011.
4. Katshuhiko Ogata, *Modern Control Engineering, EE*, Prentice Hall, 2010.
5. B. C. Kuo, *Digital Control Systems*, Oxford University Press, 2012.
6. F. Cottet, *Traitement des signaux et acquisition de données*, Dunod, 4^e éd. 2015.
7. G. Asch et collaborateurs, *Les capteurs en instrumentation industrielle, 8^e éd.*, Dunod, 2017.
8. Georges Asch, Patrick Renard, Pierre Desgoutte, Zoubir Mammeri, Éric Chambérod et al., *Acquisition de données – Du capteur à l'ordinateur, 3^e éd.*, Dunod, 2011.

9. Page Web du cours :

<https://moodle.uqo.ca>