

**Sigle : GEN1743 Gr. 01****Titre : Commande numérique****Session : Hiver 2022 Horaire et local****Professeur : Rahmani, Naim Mohammed****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 :**

**Généraux:** Le cours vise à:

1. Fournir des outils d'analyse d'une chaîne d'acquisition de données et de commande numérique;
2. Permettre aux étudiant(e)s de résoudre des problèmes ayant un lien avec la commande numérique telle que fréquemment rencontrée dans la conception et l'exploitation de ces systèmes dans l'industrie;
3. Développer la capacité d'analyse et de résolution de problèmes dans le domaine de l'acquisition, du contrôle et de la commande numérique dans le cadre d'un projet;
4. Développer des habiletés à la recherche et à la communication des connaissances et des résultats de leurs travaux.

**Spécifiques :**

1. Étudier le mécanisme d'échantillonnage en temps réel en s'appuyant sur les concepts fondamentaux ainsi que sur les principes électroniques de la conversion des signaux.
2. Modélisation et commande d'un système électronique depuis le capteur, les techniques de limitation des perturbations, la numérisation du signal, puis les techniques et méthodes de commande numérique, et la transmission vers un actionneur.
3. Introduction à la commande numérique des systèmes et analyse de performances et des techniques d'amélioration d'un système de contrôle numérique.
4. Présentation des langages et outils informatiques les plus répandus dans l'industrie du contrôle et leur adaptation au contrôle en temps réel.
5. Introduction à la commande moderne et introduction à la sûreté de fonctionnement des systèmes de commandes modernes.
6. Préparation de l'étudiant(e) à l'application de méthodes étudiées et à la synthèse des systèmes de contrôle numérique.

## Les exigences du BCAPG

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-dagrément>):

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
Capacité à générer de multiples solutions basées sur des approches conceptuelles différentes. Identifier le concept le plus approprié qui répond aux critères de conception préétablis.	4	2. Produire et comparer différentes solutions possibles afin de sélectionner le meilleur concept.			X
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:

### 1. Séances de cours

Elles seront dispensées en mode présentiel, de 3h/semaine comprenant une ou plusieurs stratégies pédagogiques :

- Cours magistral en mode présentiel.  
Pour chaque sujet du programme, le professeur présentera la problématique, la partie théorique ainsi que les objectifs spécifiques. À la fin de chaque sujet, quelques problèmes seront proposés aux étudiant(e)s sous forme d'exercices.
- Forums de discussion disponibles sur Moodle.

### 2. TP en mode présentiel :

- Séances de laboratoire: **Durée/TP** : 3h, **nombre de TP** : 5, **dates** : Voir plan du cours ci-dessous.
- Les logiciels et matériels requis seront disponibles au laboratoire pour la partie pratique.
- Les logiciels Matlab et Simulink sont recommandés pour la partie simulation.
- Les séances de laboratoires compléteront les exposés magistraux et permettront aux étudiant(e)s de mettre en pratique les concepts étudiés dans le cours didactique et de rehausser ainsi la compréhension du comportement d'une chaîne complète d'acquisition, de traitement de données et de commande numérique.

- Une préparation du TP par l'étudiant(e), pour lui permettre d'entamer les séances de TP dans de bonnes conditions, est recommandée.
- Une conception et une simulation des systèmes d'asservissement numériques appliqués à l'aide du logiciel MATLAB-SIMULINK et une validation des résultats sur le module SRV2 de QUANSER.
- Un rapport préliminaire doit comporter les résultats et sera, obligatoirement, remis à la fin de la séance de laboratoire.
- Un rapport final est à remettre une semaine après la séance de TP.

**NB** : Le responsable de laboratoire fournira de l'aide uniquement pour l'utilisation des outils. La présence à l'heure indiquée au laboratoire est obligatoire. Pour un travail remis en retard, une pénalité de 10% par jour de retard (week-end inclus) sera appliquée.

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	Discrétisation utilisant la méthode appariée Pôle-Zéro
4	Conception du contrôle dans le domaine discret
5	Quantification et débordement de tampon ( <i>buffer</i> )

### 3. Travail personnel :

Des travaux (10 à 12 h/semaine) non notés permettront de comprendre les différents concepts; ils exigeront la connaissance des notions théoriques, une certaine capacité de travail et d'analyse critique.

4. **Un projet de conception individuel en ingénierie avec réalisation pratique** portant sur une étude de commande numérique sera présenté aux étudiant(e)s. Un rapport final individuel sera remis par les étudiant(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.	Implémentation de la solution
iv.	Rédaction d'un rapport final
v.	Test et présentation du projet

5. Examen de mi-session

6. Examen final

7. À noter que l'avant-dernière séance de cours, avant l'examen final, sera consacrée à la présentation et à la démonstration du projet.

B. Préalable(s) : GEN1173 et GEN1223

C. Communications : Une page Moodle sera créée pour ce cours et comportera toute la documentation nécessaire (acétates, articles sélectionnés, exercices proposés, étude de projet, etc.) et servira, avec le courrier électronique, 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).

Lien : [COVID-19 : Modalités de tenue des séances de TP et de projets de session en laboratoire](#)

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

La communication privilégiée entre l'enseignant et les étudiant(e)s en dehors des heures de cours se fera par courriel (naimmohamed.rahmani@uqo.ca). Dans le cas où une rencontre s'avère nécessaire, il sera alors fortement suggéré de prendre rendez-vous pour une rencontre en vidéoconférence ou en face à face.

## 5. Plan détaillé du cours sur 15 semaines :

Semaine	Thèmes	Dates
---------	--------	-------

1	<p><b>Chapitre 1 : Introduction</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Introduction aux systèmes de commande</li> <li>• Aperçu d'une chaîne d'acquisition et de traitement numérique</li> <li>• Structure des systèmes automatisés</li> <li>• Contrôle analogique versus contrôle numérique</li> </ul>	11 janv. 2021
2	<p><b>Chapitre 1 : Introduction (suite)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Petits rappels sur les signaux et systèmes</li> <li>• Systèmes linéaires continus et invariants</li> <li>• Approche moderne des systèmes : Variables d'état</li> <li>• Observabilité et commandabilité</li> </ul> <p><b>Choix de groupes</b> <b>Description du projet</b></p>	18 janv. 2022
3	<p><b>Chapitre 2 : Architecture de systèmes d'acquisition de données</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les échanges d'entrée-sortie dans les systèmes à base de microprocesseurs et microcontrôleurs</li> <li>• Système d'acquisition de données</li> <li>• Le théorème de l'échantillonnage</li> <li>• CAN-CNA</li> </ul> <p><b>Travaux pratiques 1 – Groupe A</b> (26 janvier2022) <b>Travaux pratiques 1 – Groupe B</b> (28 janvier2022)</p>	25 janv. 2022
4	<p><b>Chapitre 2 : Architecture de systèmes d'acquisition de données (suite)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Capteurs, transmetteurs et actionneurs</li> <li>• Capteurs intelligents</li> <li>• Communication avec le monde de la puissance</li> <li>• Représentation et interprétation des signaux de mesure.</li> </ul>	01 févr.2022
5	<p><b>Chapitre 3 : Commande numérique</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Représentation des systèmes échantillonnés</li> <li>• Stabilité et performance des systèmes échantillonnés</li> <li>• Synthèse de systèmes de contrôle numérique</li> </ul>	08 févr. 2022
6	<p><b>Chapitre 4 : Commande numérique(suite)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les correcteurs dans les systèmes échantillonnés</li> <li>• Construction du lieu d'Evans pour systèmes numériques</li> <li>• Exemples de conceptions pratiques</li> <li>• Autre critère de stabilité de systèmes numériques</li> </ul> <p><b>Travaux pratiques 2 – Groupe A</b> (16 février 2022) <b>Travaux pratiques 2 – Groupe B</b> (18 février 2022)</p>	15 févr. 2022
7	<p><b>Chapitre 5 : Conception à base de modèle dans les systèmes de contrôle modernes</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Applications synchrones : Langages et programmation</li> <li>• Modélisation</li> </ul>	22 févr. 2022

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Simulation</li> <li>• Conception à base de modèle MBD (<i>Model Based Development</i>)</li> </ul> <p><b>Travaux pratiques 3 – Groupe A</b> (23 février 2022)  <b>Travaux pratiques 3 – Groupe B</b> (25 février 2022)</p>	
8	<b>Semaine d'études</b>	01 mars 2022
9	<b>Examen de mi-session</b>	08 mars 2022
10	<p><b>Chapitre 6 : Conception de systèmes de commande numérique en temps réel – Vivacité, sécurité, fiabilité et tolérance aux fautes</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Introduction à la conception des systèmes en temps réel</li> <li>• Introduction à la dynamique des systèmes</li> <li>• Introduction générale aux notions de sécurité et de vivacité</li> <li>• Fiabilité et tolérance aux fautes</li> <li>• Étude de cas</li> <li>• Travail personnel</li> </ul>	15 mars 2022
11	<p><b>Chapitre 7 : Programmation des systèmes de contrôle numérique tolérants aux fautes</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Notion de programmation défensive</li> <li>• Comment assurer la sûreté de fonctionnement?</li> <li>• Les étapes de la tolérance aux fautes</li> </ul> <p><b>Travaux pratiques 4 – Groupe A</b> (23 mars 2022)  <b>Travaux pratiques 4 – Groupe B</b> (25 mars 2022)</p>	22 mars 2022
12	<p><b>Chapitre 7 : Programmation des systèmes de contrôle numérique tolérants aux fautes</b> (suite)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La redondance</li> <li>• Traitement des erreurs</li> <li>• Techniques logicielles statiques de tolérance aux fautes</li> <li>• Exemples réels</li> </ul>	29 mars 2022
13	<p><b>Chapitre 8 : Introduction au contrôle adaptatif et au contrôle à distance</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Introduction à l'internet des objets IdO (IoT)</li> <li>• Architecture typique de l'IdO</li> <li>• Introduction au contrôle adaptatif.</li> <li>• Étude de cas</li> </ul> <p><b>Travaux pratiques 5 – Groupe A</b> (06 avril 2022)  <b>Travaux pratiques 5 – Groupe B</b> (08 avril 2022)</p>	05 avril 2022
14	<p><b>Présentation du projet final</b></p> <p><b>Remise du Rapport de projet final sur Moodle</b> (15 avril 2022)</p>	12 avril 2022
15	<b>Examen final</b>	19 avril 2022

## 6. Évaluation du cours :

Une note (minimale) de 50 % aux examens est REQUISE pour réussir le cours.

Outils d'évaluation	Pondération	Indicateurs évalués
Travaux pratiques	25 %	5.3 et 3.3
Projet de conception en ingénierie	25 %	3.2 et 4.2
Examen de mi-session	20 %	
Examen final	30 %	

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 inacceptables.	Choix du modèle acceptable, mais analyse partielle.	Choix du modèle et analyse adéquats.	Choix du modèle et analyse remarquables.
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'UOQ
- Absence aux examens : cadre de gestion, demande de reprise d'examen (formulaire)

À l'UQO, **les violences à caractère sexuel, c'est tolérance zéro!**

La communauté universitaire s'engage à lutter contre les inconduites, le harcèlement et les violences à caractère sexuel : parce que **le respect, c'est l'affaire de tout le monde!**

N'oubliez pas de faire la formation obligatoire :

[uqo.ca/bimi/formation-obligatoire](https://uqo.ca/bimi/formation-obligatoire)

Pour de plus amples renseignements :

[bimi@uqo.ca](mailto:bimi@uqo.ca)



## 8. Principales références :

1. Arthur G.O. Mutambara, *Design and Analysis of Control Systems*, Kindle éd. 2017 (first published in 1999).
2. Richard C. Dorf, Robert H. Bishop, *Modern Control Systems, 12<sup>th</sup> Edition*, Prentice Hall, 2011.
3. Katshuhiko Ogata, *Modern Control Engineering, EE*, Prentice Hall, 2010.
4. B. C. Kuo, *Digital Control Systems*, Oxford University Press, 2012.
5. F. Cottet, *Traitement des signaux et acquisition de données*, Dunod, 4<sup>e</sup> éd. 2015.
6. G. Asch et collaborateurs, *Les capteurs en instrumentation industrielle, 8<sup>e</sup> éd.*, Dunod, 2017.
7. Georges Asch, Patrick Renard, Pierre Desgoutte, Zoubir Mammeri, Éric Chambérod et al., *Acquisition de données – Du capteur à l'ordinateur, 3<sup>e</sup> éd.*, Dunod, 2011.

## 9. Page Web du cours :

<https://moodle.uqo.ca>