

**Sigle : GEN1483 Gr. 01**  
**Titre : Systèmes en temps réel**  
**Session : Automne 2024 Horaire et local**  
**Professeur.e : Bennai, Mustapha**

**1. Description du cours paraissant à l'annuaire :**

**Objectifs**

Au terme de cette activité, l'étudiant(e) sera en mesure d'analyser et de concevoir des systèmes informatiques en temps réel.

**Contenu**

Caractéristiques des systèmes en temps réel. Contraintes temporelles : temps réel dur, souple, ferme. Gestion des événements. Interruptions. Schémas d'architecture et d'interface. Analyse de la performance temporelle. Fiabilité et tolérance aux fautes. Modélisation. Réseaux de Petri. Langages de spécifications temporelles. Modèles temporels. Systèmes d'exploitation temps réel. Exécution concurrente, synchronisation. Méthodes de conception. Conception à base de modèles. Applications de systèmes temps réel : systèmes de contrôle de procédé, pilotage embarqué (avions, satellites), systèmes bancaires, traitement et acheminement de l'information (vidéo, réalité virtuelle, etc.).

Descriptif – Annuaire

**2. Objectifs spécifiques du cours :**

Le 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 (<http://www.engineerscanada.ca/fr/ressources-en-matiere-dagrément>) :

- a. Qualité 1 : Connaissances en génie**
- b. Qualité 2 : Analyse de problèmes**
- c. Qualité 4 : Conception**
- d. Qualité 5 : Utilisation d'outils d'ingénierie**
- e. Qualité 6 : Travail individuel et en équipe**

Toutes les qualités énumérées ci-dessus sont mesurées dans ce cours pour fins de rétroaction.

| Objectifs spécifiques  | Qualité | Indicateurs  | Introduit | Développé | Appliqué |
|--|---------|--|-----------|-----------|----------|
| Apprendre à identifier ce que c'est qu'un système à temps réel et comprendre les défis de conception et les domaines d'applications.   | 1       | 4. Comprendre et appliquer les concepts de l'ingénierie propres au programme.  |           | x         |          |
| Analyser et concevoir des systèmes en temps réel en se basant sur des choix logiciels et matériels disponibles selon l'application.  | 2       | 3. Choisir un modèle et appliquer l'analyse appropriée pour résoudre un problème.  |           | x         |          |
| Capacité à effectuer une conception en ingénierie dans le domaine des systèmes en temps réel. Ce processus doit prendre en compte des contraintes telles que la santé et la sécurité, la durabilité, l'éthique et la | 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 |           | x         |          |

|  |   |  |  |   |  |
|--|---|--|--|---|--|
| conformité réglementaire tout en garantissant la réactivité et la fiabilité du système dans des environnements dynamiques et sensibles au temps. |   | 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.<br>4. Vérifier la conformité de la conception par rapport au cahier des charges |  |   |  |
| Apprendre à utiliser les outils logiciels adaptés temps réel et les appliquer à un matériel avec des caractéristiques temps réel.                | 5 | 2. Utiliser les outils techniques de mesure, modèles ou simulations appropriés.  |  | x |  |
| Adopter une approche individuelle dans le cadre d'une recherche poussée sur les composantes logicielles et matérielles existantes.               | 6 | 1. Travailler de manière autonome.   |  | x |  |

### 3. Stratégies pédagogiques :

#### 1. Respect Mutuel et Comportement en Classe

Il est impératif que le respect total soit observé pendant toutes les séances de cours et dans toutes les interactions entre le personnel enseignant et les élèves. Tout manquement à ces principes de respect sera traité sérieusement afin de maintenir une atmosphère propice à l'apprentissage et au développement personnel de chacun

#### 2. Utilisation des Outils Informatiques en Classe

Pour favoriser la concentration et l'interaction directe pendant les séances de cours, l'utilisation d'outils informatiques PERSONNELS (ordinateurs portables, tablettes, smartphones) ne sera pas permise, sauf indication contraire du professeur. Cette mesure vise à créer un environnement d'apprentissage optimal et à encourager des méthodes de prise de notes et de participation plus traditionnelles. Des exceptions peuvent être faites pour des activités spécifiques où les outils numériques sont nécessaires.

#### 3. Plagiat

- Il est impératif de respecter les normes académiques en matière d'originalité et d'intégrité. Toute forme de plagiat est strictement interdite. Si du contenu, des idées, ou des codes provenant de sources externes sont utilisés, les étudiants doivent toujours fournir des références appropriées. Le non-respect de cette règle peut entraîner des sanctions académiques sévères. Soyez vigilants et créditez toutes les sources utilisées.
- Les Politiques départementales et institutionnelles en section 7 seront scrupuleusement appliquées

#### 4. Approche générale

- Interactive. Conçue en vue d'impliquer l'étudiant(e) dans la construction et l'utilisation des savoirs.
- Mode d'enseignement hybride en présentiel/non présentiel (voir plan détaillé du cours en section 5)
- L'exposé interactif
- La méthode des cas
- L'apprentissage par situations/exemples
- L'apprentissage coopératif
- La discussion et les exercices pratiques
- Les travaux pratiques et un projet de conception

#### 5. Séances de cours

- Elles seront dispensées en mode hybride (présentiel et non présentiel), de 3 h/semaine.
- **Les séances du 18 septembre, 9 octobre et 13 novembre seront dispensées en mode non présentiel par vidéo conférence.** Les liens des séances seront partagés ultérieurement.
- Stratégies pédagogiques :

- Cours magistral.
- Pour chaque sujet du programme, le professeur présentera la problématique, la partie théorique ainsi que les objectifs spécifiques. Des problèmes seront proposés aux étudiant(e)s sous forme d'exercices d'applications.
- Forum de discussion disponible sur Moodle et sur Teams.
- Interactions prof-étudiant (en classe)

## 6. Travaux pratiques :

- Le même binôme, 2 étudiant(e)s, pour les séances de travaux pratiques et pour le projet.
  - SÉANCES DE LABORATOIRE OBLIGATOIRES EN MODE PRÉSENTIEL: (**Durée/TP** : 3 h, **nombre de TP** : 5, **dates** : 17 septembre, 01 octobre, 29 octobre, 5 novembre et 19 novembre 2023)
  - Les logiciels et matériels requis seront disponibles au laboratoire pour la partie pratique.
  - Les séances de laboratoires consolideront les exposés magistraux et permettront aux étudiant(e)s de mettre en pratique les concepts étudiés dans le cours et rehausser ainsi la compréhension du comportement d'un système en temps réel.
    - Un rapport final est à remettre une semaine après la séance de travaux pratiques. Chaque jour de retard dans la soumission entraînera une pénalité de 20 % sur la note.
- NB** : Le responsable de laboratoire fournira de l'aide uniquement pour la mise à disposition et l'utilisation du matériel. La présence à l'heure indiquée au laboratoire est obligatoire.

### **Absence aux travaux pratiques :**

- Absence au TP : La note zéro (0) sera accordée.
- 5 jours de délai après la séance, l'étudiant(e) peut, pour des motifs acceptables et sur présentation de pièces justificatives, demander une reprise du TP (remplir le formulaire concerné au secrétariat du DII).
- Un retard de plus de quinze (15) minutes équivaut à une absence. Par conséquent l'accès au laboratoire sera refusé aux étudiant(e)s retardataires en raison d'importantes instructions de sécurité dispensées au début de la séance.

## 7. Travail personnel :

Pour renforcer votre compréhension de la matière, il est recommandé d'investir entre 10 et 12 heures supplémentaires de votre temps chaque semaine. Ce temps doit être consacré à la révision du cours, aux exercices pratiques, à la recherche et lecture de matériel complémentaire.

## 8. Projet de conception:

- Le même binôme, 2 étudiant(e)s, pour les séances de travaux dirigés et pour le projet
- Un projet de conception en temps réel sera proposé aux étudiant(e)s. Chaque étudiant, INDIVIDUELLEMENT, devra remettre une étude qui comprendra :

|       |  |
|-------|--|
| i.    | Élaboration d'un plan de travail   |
| ii.   | Production d'un cahier de charge et d'un document des exigences basée sur l'énoncé |
| iii.  | Approche de conception basée sur les notions vues dans le cours                    |
| iv.   | Conception et Implémentation de la solution  |
| v.    | Analyse des performances et validation des résultats                               |
| vi.   | Vérification de la conformité de la conception par rapport au cahier des charges   |
| vii.  | Rédaction d'un rapport final   |
| viii. | Présentation PowerPoint du projet en mode présentiel                               |

- Un rapport final est à remettre à la date prévue. Chaque jour de retard dans la soumission entraînera une pénalité de 20 % sur la note.

## 9. Examen de mi-session et examen final en mode présentiel

A. Préalable(s) : INF3723

B. Communications : Une page Moodle sera créée pour ce cours et comportera toute la documentation nécessaire (acétates, articles sélectionnés, exercices proposés, étude de projet, etc.). La consultation régulière de la page est de la responsabilité de l'étudiant(e).

Lien : [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 principale professeur - étudiant(e)s, en dehors des heures de cours, se fera via le forum de discussion sur Moodle. Si nécessaire, des rencontres sur rendez-vous pourront être programmées.**
- Assistant à l'enseignement : Karim Rekik ([rekk02@uqo.ca](mailto:rekk02@uqo.ca))
- Responsable des laboratoires : Abdallah Guire Ali ([alixab01@uqo.ca](mailto:alixab01@uqo.ca))
- Technicien de laboratoire : Abdelkrim Chebihi ([abdelkrim.chebihi@uqo.ca](mailto:abdelkrim.chebihi@uqo.ca))

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

| Semaine | Thèmes   | Dates         |
|---------|--|---------------|
| 1       | <p><b>Présentation du plan de cours</b></p> <p><b>Ch. 1 Principes de base des systèmes en temps réel (STR)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Place des systèmes temps réel dans le monde de l'ingénierie, concepts et définitions.</li> <li>• Architecture typique d'un système temps réel.</li> <li>• Classification des systèmes temps réel, prévisibilité et déterminisme.</li> <li>• Caractéristiques des systèmes temps réel.</li> <li>• Types de contraintes dans les systèmes temps réel.</li> </ul> <p><b>Formation de binômes pour les travaux pratiques et Projet et publication de l'énoncé pour le travail de session</b></p> | 04 sept. 2023 |
| 2       | <p><b>Ch. 1 Principes de base des STR</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Type d'architectures des systèmes temps réel.</li> <li>• Notion d'ordonnancement.</li> <li>• Divers exemples de systèmes temps réel.</li> <li>• Introduction à la culture de la sûreté de fonctionnement et de sécurité.</li> </ul>   | 11 sept. 2023 |
| 3       | <p><b>Ch. 2 Matériel pour les STR</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Architecture des processeurs de base</li> <li>• Interruptions</li> <li>• Technologie de mémoires</li> <li>• Avancées architecturales</li> </ul> <p><b>Travaux pratiques 1 (17 sept. 2023)</b><br/> <i>Partie a : OS en assembleur – Traitement de texte dans le langage assembleur</i><br/> <i>Partie b: OS Les tâches</i></p>  | 18 sept. 2023 |
| 4       | <p><b>Ch. 2 Matériel pour les STR</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Interfaçage périphérique</li> <li>• Microprocesseur versus microcontrôleur</li> <li>• Architectures distribuées en temps réel</li> </ul>  | 25 sept. 2023 |
| 5       | <p><b>Ch. 3 Les systèmes d'exploitation en temps réel</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Définition et évolution</li> <li>• Les fondements théoriques de l'ordonnancement (Boucle d'interrogation, code cyclique, état phase et coroutines, à interruption uniquement, hybrides, avant-plan et arrière-plan, BCT, à priorité fixe, à priorité dynamique).</li> <li>• Les services du système pour les programmes d'application</li> </ul> <p><b>Travaux pratiques 2 (01 oct. 2023)</b><br/> <i>OS : Les MUTEX</i></p>  | 02 oct. 2023  |

|    |  |                              |
|----|--|------------------------------|
| 6  | <b>Ch. 3 Les systèmes d'exploitation en temps réel</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Mécanismes de synchronisation et problèmes d'impasse et de famine</li> <li>Problèmes de gestion de mémoire</li> </ul>  | 9 oct. 2023                  |
| 7  | <b>Semaine d'études</b>  | 14 oct. 2023<br>18 oct. 2023 |
| 8  | <b>Examen mi-session</b>   | 23 oct. 2023                 |
| 9  | <b>Ch. 4 Langages de programmation pour les STR</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Aptitude des langages de programmation pour les applications en temps réel</li> <li>Normes de codage pour logiciels en temps réel</li> <li>Langage orienté objet versus langage procédural dans les STR</li> </ul> <i>*Travaux pratiques 3 (29 oct. 2023)</i>       | 30 oct. 2023                 |
| 10 | <b>Ch. 4 Langages de programmation pour les STR</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Langages en temps réel spéciaux</li> <li>Génération automatique de code</li> <li>Techniques d'optimisation du compilateur de code pour les STR</li> </ul> <i>*Travaux pratiques 4 (05 nov. 2023)</i>  | 06 nov. 2023                 |
| 11 | <b>Ch. 5 Outils de spécification et de validation des systèmes en temps réel</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Outils et techniques d'analyse: définition abstraite des STR.</li> <li>Modèles formels pour analyser et concevoir un STR.</li> </ul>   | 13 nov. 2023                 |
| 12 | <b>Ch. 5 Outils de spécification et de validation des systèmes en temps réel</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Diagrammes d'états, réseaux de Petri, GRAFCET.</li> </ul> <i>*Travaux pratiques 5 (19 nov. 2023)</i>   | 20 nov. 2023                 |
| 13 | <b>Ch. 6 Communication, synchronisation et Techniques d'analyse de performance</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Services et mécanismes de synchronisation</li> <li>Analyse de performance en temps réel</li> <li>Applications de la théorie des files d'attente</li> <li>Performance Input/Output</li> <li>Analyse des besoins en mémoire</li> </ul> | 27 nov. 2023                 |
| 14 | <b>Présentation PowerPoint et démonstration pratique du projet</b>   | 04 déc. 2023                 |
| 15 | <b>Examen final</b><br><i>*Remise (sur Moodle) du rapport final du projet (16 déc. 2024 à 23h59)</i>   | 11 déc. 2023                 |

## 6. Évaluation du cours :

L'attribution de la note finale se fera selon la répartition suivante :

| Outils d'évaluation | Pondération | Indicateurs mesurés |
|---------------------|-------------|---------------------|
|---------------------|-------------|---------------------|

|   |      |                      |
|---|------|----------------------|
| <b>Travaux pratiques (5 séances)</b>                  | 20 % | 5.2                  |
| <b>Projet de conception avec réalisation pratique</b> | 20 % | 1.4, 2.3, 4.1 et 4.4 |
| <b>Examen de mi-session</b>                           | 20 % | 6.1                  |
| <b>Examen final</b>                                   | 40 % | 6.1                  |

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.

| <b>Indicateurs</b>   | <b>Niveau 0</b>   | <b>Niveau 1</b>  | <b>Niveau 2</b>  | <b>Niveau 3</b>  |
|--|---|--|--|--|
| 1.4 – Comprendre et appliquer les concepts de l'ingénierie propres au programme.   | Moins de 52 %   | Entre 52 % et 63 %   | Entre 64 % et 83 %                                       | Plus de 84 %   |
| 2.3 – Choisir un modèle et appliquer l'analyse appropriée pour résoudre un problème.   | Choix du modèle et analyse inacceptables.                 | Choix du modèle acceptable, mais analyse partielle.                                    | Choix du modèle acceptable et analyse adéquate.          | 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         |
| 4.4 - Vérifier la conformité de la conception par rapport au cahier des charges  | Vérification inadéquate ou inexistante                    | Vérification partielle   | Vérification acceptable                                  | Vérification exhaustive  |
| 5.2 – Utiliser les outils, techniques de mesure, modèles ou simulations appropriés.  | Utilisation inadéquate ou inexistante.                    | Utilisation partielle.   | Utilisation adéquate.                                    | Utilisation remarquable.   |
| 6.1 – Travailler de façon autonome.  | 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 :

- Politiques relatives à la tenue des examens
- Note sur le plagiat et les fraudes
- 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](https://uqo.ca/biph) ou écrivez-nous au [Biph@uqo.ca](mailto:Biph@uqo.ca)

## 8. Principales références :

1. Notes de cours
2. Alan Burns and Andy Wellings. *Real-Time Systems and Programming Languages*, Addison-Wesley, 4rd edition, 2009
3. Philip A. Laplante, *Real-Time Systems Design and Analysis, An Engineer's Handbook*, 3<sup>rd</sup> edition, IEEE Press, 2004.
4. Alan C. Shaw, *Real-Time Systems and Software*, John Willey & Sons, Inc., 2001.
5. Chowdary Venkateswara Penumuchu, *Simple Real-time Operating System: A Kernel Inside View for a Beginner*, Trafford Publishing, 2007.
6. Jane W.S. Liu, *Real-Time Systems*, Prentice Hall, 2000.

## 9. Page Web du cours :

<https://moodle.uqo.ca>