

## PLAN DE COURS

# GIF-3004 : Systèmes embarqués temps réel

NRC 15047 | Hiver 2020

Préalables : GLO 2001

Mode d'enseignement : Présentiel

Temps consacré : 2-4-3

Crédit(s) : 3

Ce cours porte sur l'analyse et la conception de systèmes embarqués avec systèmes d'exploitation standards et temps réel. Il présente le rôle des systèmes d'exploitation dans les systèmes embarqués pour la gestion de l'exécution des programmes, l'encapsulation du matériel, et l'offre de primitives et de services logiciels. Le cours porte également sur les notions conceptuelles et pratiques de systèmes temps réel. Les notions conceptuelles sont mises en pratiques, par le développement d'applications logicielles pour systèmes embarqués avec systèmes d'exploitation. Les travaux sont réalisés en langage de programmation C sur une plateforme matérielle ARM et des systèmes d'exploitation ouverts.

## Plage horaire

Cours en classe			
mardi	13h30 à 15h20	<a href="#">PLT-2765</a>	Du 13 janv. 2020 au 24 avr. 2020
Atelier			
vendredi	09h30 à 11h20	<a href="#">PLT-0105</a>	Du 13 janv. 2020 au 24 avr. 2020

Il se peut que l'horaire du cours ait été modifié depuis la dernière synchronisation avec Capsule. [Vérifier l'horaire dans Capsule](#)

## Site de cours

<https://sitescours.monportail.ulaval.ca/ena/site/accueil?idSite=113810>

## Coordonnées et disponibilités

Christian Gagné

*Enseignant*

PLT-1138-F

<http://vision.gel.ulaval.ca/~cgagne>

[christian.gagne@gel.ulaval.ca](mailto:christian.gagne@gel.ulaval.ca)

Tél. : 418 656-2131 poste 403556

*Disponibilités*

**lundi :**

11h30 à 12h30 - [PLT-1138-F](#) - du 20 janv. 2020 au 27 avr. 2020

## Soutien technique

Pour recevoir du soutien technique relatif à l'utilisation de monPortail, contactez :

**Comptoir LiberT (FSG)**

Pavillon Adrien-Pouliot, Local 3709

[aide@fsg.ulaval.ca](mailto:aide@fsg.ulaval.ca)

418-656-2131 poste 404651

Session d'automne et hiver	
Lundi	08h00 à 18h45
Mardi	08h00 à 18h45
Mercredi	08h00 à 18h45
Jeudi	08h00 à 18h45
Vendredi	08h00 à 16h45

Session d'été	
Lundi	08h00 à 16h00
Mardi	08h00 à 16h00
Mercredi	08h00 à 16h00
Jeudi	08h00 à 16h00
Vendredi	08h00 à 16h45

# Sommaire

---

<b>Description du cours</b> .....	<b>4</b>
Objectifs .....	4
Place du cours dans le programme .....	4
Contenu du cours .....	4
Déroutement du cours .....	4
<b>Contenu et activités</b> .....	<b>5</b>
<b>Évaluations et résultats</b> .....	<b>5</b>
Échelle des cotes .....	5
Modalités d'évaluation .....	6
Informations détaillées sur les évaluations sommatives .....	6
Labo 1 : environnement de développement .....	6
Labo 2 : système de fichiers .....	6
Labo 3 : multiplexeur de vidéos temps réel .....	6
Labo 4 : pilote de périphérique .....	7
Labo 5 : lien sans fil pour guitare électrique .....	7
Examen partiel .....	7
Examen final .....	7
Consignes sur les travaux .....	7
Politique sur les examens .....	7
Politique concernant l'absence à une activité d'évaluation obligatoire .....	8
Politique sur l'utilisation d'appareils électroniques .....	8
Politique sur le plagiat et la fraude académique .....	8
Étudiants ayant un handicap, un trouble d'apprentissage ou un trouble mental .....	8
<b>Matériel didactique</b> .....	<b>8</b>
Matériel obligatoire .....	8
Matériel complémentaire .....	9
Logiciels .....	10
<b>Médiagraphie et annexes</b> .....	<b>10</b>

# Description du cours

---

## Objectifs

À la fin de ce cours, l'étudiant devra être en mesure :

- De démontrer une bonne connaissance générale des systèmes embarqués et temps réel.
- De maîtriser des outils mathématiques pour analyser et modéliser des systèmes embarqués et temps réel.
- De démontrer une connaissance des systèmes d'exploitation et de leur utilisation dans des systèmes embarqués.
- De maîtriser les concepts clés des systèmes temps réel.
- D'acquérir une connaissance pratique du développement logiciel de systèmes embarqués.
- D'appliquer les connaissances acquises dans la réalisation de systèmes embarqués et temps réel.

## Place du cours dans le programme

Le cours est obligatoire dans le programme de baccalauréat en génie informatique et est suivi en troisième ou quatrième année dans les cheminement réguliers.

## Contenu du cours

**Introduction aux systèmes embarqués temps réel (2h)** : vue d'ensemble des systèmes embarqués; historique des systèmes embarqués et temps réel; conceptualisation d'un système temps réel; temps réel doux et dur; différences entre systèmes d'exploitation d'usage général et systèmes d'exploitation temps réel.

**Systèmes d'exploitation et programmation concourante (4h)** : structure des systèmes d'exploitation; processus et thread; communication inter-processus; partage de ressources et exclusion mutuelle; inter-blocage; interruptions; gestion des signaux; API POSIX; ligne de commande.

**Programmes temps réel (4h)** : stratégies d'ordonnancement de base; problème d'inversion de priorité; stratégies d'ordonnancement temps réel statique; stratégies d'ordonnancement temps réel dynamique; source de variabilité de temps d'exécution; gestion des *overruns*; exemples de systèmes d'exploitation temps réel.

**Entrées/sorties et gestion de la mémoire avec temps réel (2h)** : allocation de la mémoire; protection de la mémoire; mémoire virtuelle; interactions avec le noyau; partage de la mémoire.

**Noyau Linux et développement de pilotes (4h)** : micro-noyaux vs noyaux monolithiques; organisation du noyau Linux; développement de pilotes dans Linux.

**Communication et synchronisation (2h)** : modèles client-serveur ; TCP/IP; UDP; Ethernet; Wifi; Bluetooth; bus de communication (ex. CANbus, Firewire); temps global, synchronisation interne et externe.

**Systèmes parallèles (2h)** : types d'architecture; organisation de la mémoire; temps de transmission; parallélisation d'applications séquentielles; métriques de performance.

**Théorie des files d'attente (2h)** : loi exponentielle; modélisation de systèmes à files d'attente; notation A/B/m/K; caractérisation, performance et compromis d'un système à file d'attente; exemples de modèles.

**Fiabilité et tolérance aux fautes (2h)** : problèmes des fautes et approches face à celles-ci; fiabilité, disponibilité, probabilité de défaillance; systèmes dignes de confiance, N-tolérance; analyse de la disponibilité, calcul de la fiabilité; mécanismes de fiabilité; problème des généraux byzantins.

## Déroulement du cours

Une présentation magistrale est effectuée à chaque séance du mardi.

Les ateliers du vendredi comporteront des démonstrations et de l'aide pour la réalisation des travaux pratiques. La présence à ces ateliers est **obligatoire**.

# Contenu et activités

Le tableau ci-dessous présente les semaines d'activités prévues dans le cadre du cours.

Titre	Date
<b>Présentations</b>	
Présentation du cours	14 janv. 2020
Introduction aux systèmes embarqués temps réel	14 janv. 2020
Systèmes d'exploitation et programmation concurrente	21 janv. 2020
Programmes temps réel	4 févr. 2020
Entrées/sorties et gestion de la mémoire avec temps réel	18 févr. 2020
Noyau Linux	10 mars 2020
Développement de pilotes dans Linux	17 mars 2020
Communication et synchronisation	24 mars 2020
Systèmes parallèles	31 mars 2020
Théorie des files d'attente	7 avr. 2020
Fiabilité et tolérance aux fautes	14 avr. 2020
<b>Ateliers</b>	
Développement sur RPi	17 janv. 2020
UNIX et ligne de commande	24 janv. 2020
Labo 2 : système de fichiers	31 janv. 2020
Programmation système en C	7 févr. 2020
Labo 3 : multiplexeur de vidéos temps réel	21 févr. 2020
Labo 3 : implémentation et détails techniques	28 févr. 2020
Labo 4 : pilote de périphérique	20 mars 2020
Labo 5 : lien sans fil pour guitare électrique	3 avr. 2020
<b>Laboratoires</b>	
Énoncé labo 1 : environnement de développement	17 janv. 2020
Énoncé labo 2 : système de fichiers	31 janv. 2020
Énoncé labo 3 : multiplexeur de vidéos temps réel	21 févr. 2020
Énoncé labo 4 : pilote de périphérique	20 mars 2020
Énoncé labo 5 : lien sans fil pour guitare électrique	3 avr. 2020

Note : Veuillez vous référer à la section *Contenu et activités* de votre site de cours pour de plus amples détails.

## Évaluations et résultats

### Échelle des cotes

Cote	% minimum	% maximum
A+	90	100
A	85	89,99

Cote	% minimum	% maximum
C+	64	67,99
C	60	63,99

A-	80	84,99
B+	76	79,99
B	72	75,99
B-	68	71,99

C-	56	59,99
D+	53	55,99
D	50	52,99
E	0	49,99

## Modalités d'évaluation

Sommatives			
Titre	Date	Mode de travail	Pondération
Labo 1 : environnement de développement	Dû le 31 janv. 2020 à 09h30	Individuel	5 %
Labo 2 : système de fichiers	Dû le 21 févr. 2020 à 09h30	En équipe	10 %
Labo 3 : multiplexeur de vidéos temps réel	Dû le 20 mars 2020 à 09h30	En équipe	10 %
Labo 4 : pilote de périphérique	Dû le 17 avr. 2020 à 09h30	En équipe	10 %
Labo 5 : lien sans fil pour guitare électrique	Dû le 1 mai 2020 à 09h30	En équipe	15 %
Examen partiel	Le 25 févr. 2020 de 13h30 à 15h20	Individuel	25 %
Examen final	Le 21 avr. 2020 de 13h30 à 15h20	Individuel	25 %

## Informations détaillées sur les évaluations sommatives

### Labo 1 : environnement de développement

Date de remise :	31 janv. 2020 à 09h30
Mode de travail :	Individuel
Pondération :	5 %
Directives de l'évaluation :	Évaluation faite durant les ateliers du vendredi, par démonstration à un assistant du cours.

### Labo 2 : système de fichiers

Date de remise :	21 févr. 2020 à 09h30
Mode de travail :	En équipe
Pondération :	10 %
Remise de l'évaluation :	<a href="#">Boîte de dépôt</a>
Directives de l'évaluation :	Code remis dans la boîte de dépôt, correction par démonstration à un assistant du cours.

### Labo 3 : multiplexeur de vidéos temps réel

Date de remise :	20 mars 2020 à 09h30
Mode de travail :	En équipe
Pondération :	10 %

Remise de l'évaluation : [Boîte de dépôt](#)  
Directives de l'évaluation : Code remis dans la boîte de dépôt, correction par démonstration à un assistant du cours.

---

### Labo 4 : pilote de périphérique

Date de remise : 17 avr. 2020 à 09h30  
Mode de travail : En équipe  
Pondération : 10 %  
Remise de l'évaluation : [Boîte de dépôt](#)  
Directives de l'évaluation : Code remis dans la boîte de dépôt, correction par démonstration à un assistant du cours.

---

### Labo 5 : lien sans fil pour guitare électrique

Date de remise : 1 mai 2020 à 09h30  
Mode de travail : En équipe  
Pondération : 15 %  
Remise de l'évaluation : [Boîte de dépôt](#)  
Directives de l'évaluation : Code remis dans la boîte de dépôt, correction par démonstration à un assistant du cours.

---

### Examen partiel

Date : Le 25 févr. 2020 de 13h30 à 15h20  
Mode de travail : Individuel  
Pondération : 25 %  
Matériel autorisé : Une feuille aide-mémoire recto-verso manuscrite et calculatrice.

---

### Examen final

Date : Le 21 avr. 2020 de 13h30 à 15h20  
Mode de travail : Individuel  
Pondération : 25 %  
Matériel autorisé : Une feuille aide-mémoire recto-verso manuscrite et calculatrice.

### Consignes sur les travaux

Cinq laboratoires seront effectués en cours de session. Le premier laboratoire est individuel alors que les quatre autres laboratoires sont effectués en équipes de deux étudiants.

Pour les laboratoires 2 à 5, le code source du laboratoire remis dans la boîte de dépôt avant la séance de correction. Pour tous les laboratoires, la correction sera effectuée par démonstration à un assistant du cours. Tous les membres de l'équipe doivent être présents lors de la correction.

La plateforme utilisée est Raspberry Pi Zero W (RPI) avec systèmes d'exploitation Linux, programmé en C.

### Politique sur les examens

## Matériel permis aux examens

- Une feuille aide-mémoire manuscrite recto-verso
- Calculatrice scientifique

## Politique concernant l'absence à une activité d'évaluation obligatoire

Politique départementale concernant l'absence à une activité d'évaluation obligatoire

L'étudiant qui ne se présente pas à une activité d'évaluation obligatoire (examen, laboratoire, test) a 5 jours ouvrables pour remplir une déclaration d'absence (formulaire disponible au secrétariat des études, PLT-3120) en joignant des documents justificatifs. Le conseiller à la gestion des études décidera sur la reprise (ou non) de l'activité selon les modalités acceptées par le professeur responsable du cours. Dans le cas des cours hors département, l'étudiant doit consulter le plan de cours pour connaître la procédure propre du département responsable du cours

## Politique sur l'utilisation d'appareils électroniques

La politique sur l'utilisation d'appareils électroniques de la Faculté des sciences et de génie peut être consultée à l'adresse : [https://www.fsg.ulaval.ca/fileadmin/site\\_facultaire/Espace\\_facultaire/Étudiants/Politiques\\_facultaires/Calculatrices-autorisees-FSG.pdf](https://www.fsg.ulaval.ca/fileadmin/site_facultaire/Espace_facultaire/Étudiants/Politiques_facultaires/Calculatrices-autorisees-FSG.pdf) .

## Politique sur le plagiat et la fraude académique

### Règles disciplinaires

Tout étudiant qui commet une infraction au Règlement disciplinaire à l'intention des étudiants de l'Université Laval dans le cadre du présent cours, notamment en matière de plagiat, est passible des sanctions qui sont prévues dans ce règlement. Il est très important pour tout étudiant de prendre connaissance des articles 23 à 46 du Règlement disciplinaire. Celui-ci peut être consulté à l'adresse suivante:

<http://ulaval.ca/reglement-disciplinaire>

### Plagiat

Tout étudiant est tenu de respecter les règles relatives au plagiat. Constitue notamment du plagiat le fait de:

- i. copier textuellement un ou plusieurs passages provenant d'un ouvrage sous format papier ou électronique sans mettre ces passages entre guillemets et sans en mentionner la source;
- ii. résumer l'idée originale d'un auteur en l'exprimant dans ses propres mots (paraphraser) sans en mentionner la source;
- iii. traduire partiellement ou totalement un texte sans en mentionner la provenance;
- iv. remettre un travail copié d'un autre étudiant (avec ou sans l'accord de cet autre étudiant);
- v. remettre un travail téléchargé d'un site d'achat ou d'échange de travaux scolaires.

L'Université Laval étant abonnée à un service de détection de plagiat, il est possible que l'enseignant soumette vos travaux pour analyse.

## Étudiants ayant un handicap, un trouble d'apprentissage ou un trouble mental

Les étudiants qui ont une lettre d'Attestation d'accommodations scolaires obtenue auprès d'un conseiller du secteur **Accueil et soutien aux étudiants en situation de handicap (ACSESH)** doivent impérativement se conformer à la politique d'Accommodations scolaires aux examens de la Faculté des sciences et de génie qui peut être consultée à l'adresse : [https://www.fsg.ulaval.ca/fileadmin/site\\_facultaire/Espace\\_facultaire/Étudiants/Politiques\\_facultaires/Politique-facultaire-accommodements.pdf](https://www.fsg.ulaval.ca/fileadmin/site_facultaire/Espace_facultaire/Étudiants/Politiques_facultaires/Politique-facultaire-accommodements.pdf) .

Ceux qui ont besoin d'accommodements scolaires, mais qui n'ont pas cette lettre doivent contacter les services en **ACSESH** le plus tôt possible au <https://www.aide.ulaval.ca/situation-de-handicap/prise-de-rendez-vous/>

## Matériel didactique

---

## Matériel obligatoire

## Raspberry Pi Zero W et accessoires

Ensemble Raspberry Pi Zero W, en vente au magasin du service technique du département de génie électrique et de génie informatique (PLT-3112) au coût de 57 \$.

## Matériel complémentaire

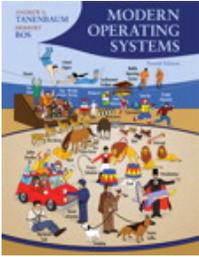


### Real-time systems : design principles for distributed embedded applications ( 2e édition )

Auteur : Kopetz, Hermann, SpringerLink (Service en ligne)

Éditeur : Springer ( New York , 2011 )

ISBN : 144198237X



### Modern operating systems

Auteur : Tanenbaum, Andrew S., 1944- auteur, Bos, Herbert, auteur

Éditeur : Pearson ( Boston , 2015 )

ISBN : 013359162X



### Advanced Programming in the UNIX® Environment, Third Edition

Auteur : Stevens, W, Rago, Stephen, Safari, an O'Reilly Media Company

Éditeur : Addison-Wesley Professional ( 2013 )

ISBN : 9780321638014

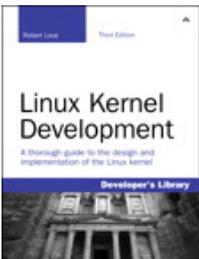


### Real-time systems

Auteur : Jane W. S. Liu

Éditeur : Prentice-Hall ( Upper Saddle River, NJ , 2000 )

ISBN : 0130996513



### Linux kernel development

Auteur : Robert Love

Éditeur : Addison-Wesley ( Upper Saddle River, NJ , 2010 )

ISBN : 0672329468



### Art of Unix Programming, The

Auteur : Raymond, Eric, Safari, an O'Reilly Media Company

Éditeur : Addison-Wesley Professional ( 2003 )

ISBN : 9780131429017

Disponible en-ligne : <http://www.catb.org/esr/writings/taoup/html/>



### Linux Device Drivers, 3rd Edition ( 3e édition )

Auteur : Corbet, Jonathan, Rubini, Alessandro, Kroah-Hartman, Greg, Safari, an O'Reilly Media Company

Éditeur : O'Reilly Media, Inc ( 2005 )

ISBN : 0596005903

Disponible en-ligne à <http://www.makelinux.net/ldd3> et <http://www.oreilly.com/openbook/linuxdrive3/book/>



### **Distributed Systems ( 3e édition )**

Auteur : Maarten van Steen et Andrew S. Tanenbaum ( 2017 )

ISBN : 9781543057386

Disponible en-ligne à <https://www.distributed-systems.net/index.php/books/distributed-systems-3rd-edition-2017>



### **Parallel programming : for multicore and cluster systems**

Auteur : Rauber, Thomas, Runger, Gudula, SpringerLink (Service en ligne)

Éditeur : Springer-Verlag ( Berlin , 2010 )

ISBN : 9783642048180



### **Introduction to discrete event systems**

Auteur : Cassandras, Christos G, Lafortune, Stéphane, 1958-, SpringerLink (Service en ligne)

Éditeur : Springer ( New York , 2007 )

ISBN : 9780387686127



### **Applied reliability**

Auteur : Paul A. Tobias, David C. Trindade

Éditeur : CRC/Taylor & Francis ( Boca Raton, FL , 2012 )

ISBN : 1584884665

## Logiciels

Les laboratoires sont effectués en langage C, dans l'environnement Visual Studio Code.

## Médiagraphie et annexes

---

Cette section ne contient aucune information.