

# EMB7010

## Construction de logiciel en environnement embarqué

### Plan de cours

#### Responsable(s) du cours

##### Coordination :

EL ALAOUI ISMAILI, Zakaria  
PK-4420  
[el\\_alaoui\\_ismaili.zakaria@uqam.ca](mailto:el_alaoui_ismaili.zakaria@uqam.ca)  
[https://professeurs.uqam.ca/professeur/el\\_alaoui\\_ismaili.zakaria/](https://professeurs.uqam.ca/professeur/el_alaoui_ismaili.zakaria/)

##### Enseignement :

EL ALAOUI ISMAILI, Zakaria

#### Description officielle

##### Description

Ce cours vise à permettre aux étudiants d'acquérir les connaissances et les compétences qui permettent de faire le développement et l'intégration d'applications dans des environnements embarqués.

Processeurs (entrée/sortie, mode superviseur et déroulement) ; plateformes de traitement embarquées (bus processeur, mémoire, périphériques d'entrée/sortie, interfaces) ; structures et services des systèmes d'exploitation ; construction de programme (patrons de conception, test) ; compilation ; processus et multi-tâches, changement de contexte ; politiques d'ordonancement temps-réel ; services d'un système d'exploitation temps-réel ; mécanismes de communication entre processus ; réseaux pour systèmes embarqués ; études de cas dans un environnement de développement.

##### Modalité d'enseignement

Cours de 3 heures et un laboratoire de 3 heures/semaine.

##### Préalables académiques

Pour les étudiants du profil électronique du DESS en systèmes embarqués : [INF7331](#) ; [INF7336](#) Pour les étudiants du baccalauréat en systèmes informatiques et électroniques : [MIC5111](#)

---

## Objectif du cours

Ce cours vise à familiariser les étudiants aux différents aspects de la programmation pour l'embarqué. Il vise notamment à comprendre le fort couplage existant entre le logiciel et la plateforme matérielle sur laquelle le logiciel s'exécute afin de produire un code efficace.

Spécifiquement, l'étudiant qui complète le cours avec succès sera capable :

- De comprendre l'omniprésence des systèmes embarqués, leur utilité et leur variété
- D'utiliser les différentes composantes d'une plateforme matérielle via une application logicielle
- De connaître les caractéristiques principales d'un système temps réel
- De coder une application embarqué avec un système d'exploitation embarqué à source libre
- D'utiliser certains périphériques plus évolués pour augmenter la fonctionnalité d'un système embarqué
- De connaître quelques techniques d'optimisation du code pour une plus grande performance
- D'être familier avec le cycle de développement et de vie d'un logiciel embarqué

---

## Contenu du cours

Voici un aperçu des thèmes que seront traités dans ce cours.

### Section 1 : Introduction (1 semaine)

- Présentation du plan de cours
- Définition, historique, enjeux, domaine d'application
  - Exemples de systèmes embarqués
- Survol des langages dans l'embarqué (C/C++, assembleur, etc.)

### Section 2 : Architecture d'un système embarqué et environnement de développement (3 semaines)

- Connaître sa plateforme matérielle et la documentation associée
- Construire son programme (compiler, éditer les liens, localiser)
- Télécharger et déboguer son programme
- Apprendre à gérer certains aspect de la plateforme matérielle :
  - Mémoires et registres
  - Initialisation
  - Interruptions
  - Périphériques simples

### Section 3 : Système d'exploitation embarqué (5 semaines)

- Systèmes d'exploitation (tâches, ordonnanceur, synchronisation des tâches, gestion de interruptions, etc.) et chargeur de démarrage
- Particularités des systèmes temps-réel
- Linux embarqués (Noyau, patch RT, distributions)
- Survol de divers RTOS

#### Section 4 : Cycle de vie d'un logiciel embarqué (1 semaine)

- Validation d'un logiciel embarqué
- Simulation
- Mise à jour du micrologiciel

#### Section 5 : Communiquer avec le monde et l'utilisateur (3 semaines)

- Périphériques avancés (contrôleurs USB, Ethernet et de mémoire externe)
- Protocole USB
- Protocole sans-fil Wifi, Zigbee, BLE
- Interfaces utilisateurs

#### Section 6 : Optimisation d'un système embarqué (1 semaine)

- Techniques d'optimisation pour un code plus rapide, réduire la consommation de puissance et/ou sauver de l'espace mémoire
- Gestion de puissance des CPUs
- Options d'optimisation des compilateurs

(Le nombre de semaine attribué à chaque section pourra varier en cours de session)

### Modalités d'évaluation

| DESCRIPTION                       | DATE                       | PONDÉRATION |
|-----------------------------------|----------------------------|-------------|
| Présentation d'une analyse de cas | -                          | 10 %        |
| Travaux pratiques                 | Spécifiée dans les énoncés | 45 %        |
| Examen final                      | Fin du trimestre           | 45 %        |

## PRÉSENTATION D'UNE ANALYSE DE CAS

Chaque étudiant devra effectuer une analyse détaillée pour un produit nécessitant un système embarqué. Le cas à analyser sera présenté par le professeur. L'analyse devra présenter un choix de plateforme matériel, une architecture logiciel et les justifications requises. Cette étude conduira à une présentation en classe. La présentation sera notée en partie par les pairs.

## TRAVAUX PRATIQUES EN LABORATOIRE

La mise en pratique des concepts vus en classe se fera par la réalisation de travaux pratiques en laboratoire, faisant appel à différents environnements de développement et chaînes d'outils. Ces travaux seront réalisés par équipe de deux étudiants. Le détail de chaque laboratoire sera disponible sur Moodle et présenté en classe.

*REMISE DES RAPPORTS.* Les rapports doivent être rendus électroniquement par l'intermédiaire du site Moodle du cours. Les travaux remis en retard seront pénalisés, à raison de 20 % de la note globale par jour (incluant samedi, dimanche et congés) de retard. Exceptionnellement (par ex., panne de Moodle), une copie pourra être rendue par courriel régulier.

Chaque fichier doit être nommé de façon à ce qu'on puisse identifier les membres de l'équipe (par exemple, par l'utilisation d'initiales), de même que le titre de la manipulation / simulation. Si plusieurs versions d'un même rapport sont remises, un numéro de version significatif doit être inclus dans le nom. Attention : des erreurs de titres pourraient faire que des copies ne soient pas corrigées, ou que des résultats soient confondus par mégarde.

Le format de fichier pour les documents doit absolument être PDF (Portable Document Format), ce qui assure que ce qui est rendu est conforme à la version de l'étudiant et ne risque pas d'être modifié par la suite. Un rapport doit normalement être présenté en un seul fichier, avec annexes, le cas échéant, pour les codes sources, etc. Un guide détaillé disponible sur le site du cours, donne davantage d'informations sur la présentation des rapports de laboratoire.

Les règlements concernant le plagiat seront strictement appliqués. Pour plus de renseignements, veuillez consulter le site suivant : <http://www.sciences.uqam.ca/etudiants/integriteacademique.html>

## EXAMEN FINAL

Une moyenne d'au moins 50 % à l'examen est exigée pour réussir le cours. L'utilisation de documentation personnelle (notes de cours, manuels) à l'examen sera limitée à quelques pages de notes personnelles.

## Calendrier détaillé du cours

Le calendrier détaillé du cours sera accessible sur la page Moodle du cours.

---

## Médiagraphie

---

^(V R) BARR, M. & MASSA, A. - Programming Embedded Systems with C and GNU Development Tools - 2nd edition. 2006.

^(V R) WHITE, E. - Making Embedded Systems - 2011

^(V R) LEWIS, D. W. - Fundamentals of Embedded Software with the ARM Cortex-M3 - 2013

^(V R) LABROSSE, J. J. -  $\mu$ C/OS-III, the Real-Time Kernel - 2009

^(S R) Compaq, HP, Intel, Lucent, Microsoft, NEC, Philips - Universal Serial Bus Specification, Revision 2.0 - 2000

^(V R) LABROSSE, J. J. [ET AL.] - Embedded Software : Know It All - 2008

^(V R) PECKOL, J.K. - Embedded Systems : A Contemporary Design Tool - 1st Edition. 2008

^(V C) GANSSLE, J., BARR, M. - Embedded Systems Dictionary - 2003

^(V C) LIPIANSKY, E. - Embedded Systems Hardware for Software Engineers - 2011

^(V C) GANSSLE, J. - The Art of Designing Embedded Systems - 2008

^(V C) SMITH, W.A. - C Programming for Embedded Microcontrollers - 2008

^(V C) HAMACHER, C., VRANESIC, Z., ZAKY, S., MANJIKIAN, N. - Computer Organization and Embedded Systems - 2012

### AUTRES LECTURES

D'autres documents seront soumis pour lecture durant la session. La liste sera tenue à jour sur le site web du cours.

### Information sur les Services à la vie étudiante

*Services.* Les services à la vie étudiante accompagnent les étudiantes et les étudiants dans la réussite de leur parcours universitaire.

[Ensemble des services offerts](#)

[Gagner du temps et réaliser de meilleurs travaux](#)

[Politiques associées à votre réussites](#)

*Bureau.* Bureau des services-conseils (**soutien psychologique, bien-être aux études, information scolaire et insertion professionnelle, orientation, emploi**) : pour prendre rendez-vous, communiquez au 514 987-3185 ou par courriel à [services-conseil@uqam.ca](mailto:services-conseil@uqam.ca)

*Aide financière.* Bureau de l'**aide financière** : pour prendre rendez-vous, écrivez à [aidefinanciere@uqam.ca](mailto:aidefinanciere@uqam.ca)

*Bourses d'études.* Concernant les **bourses**, pensez à consulter Le Répertoire institutionnel des bourses d'études (RIBÉ) et écrivez à [bourse@uqam.ca](mailto:bourse@uqam.ca) pour toute question.

*Informations générales.* Consultez les informations et l'ensemble des coordonnées et services offerts par les Services à la vie étudiante à l'adresse suivante : [vie-etudiante@uqam.ca](mailto:vie-etudiante@uqam.ca).

### Politique d'absence aux examens

*Reprise d'examen.* L'autorisation de reprendre un examen en cas d'absence est de **caractère exceptionnel**. Pour obtenir un tel privilège, l'étudiant.e doit avoir des motifs sérieux et bien justifiés.

*Conflits d'horaire.* Il est de la responsabilité de l'étudiant.e de ne pas s'inscrire à des cours qui sont en conflit d'horaire, tant en ce qui concerne les séances de cours ou d'exercices que les examens. **De tels conflits d'horaire ne constituent pas un motif justifiant une demande d'examen de reprise.**

*Procédure.* L'étudiant.e absent.e lors d'un examen doit, dans les cinq (5) jours ouvrables suivant la date de l'examen, présenter une demande de reprise en utilisant le formulaire prévu, disponible sur <https://info.uqam.ca/repriseexamen/>.

*Pièces justificatives.* Dans le cas d'une absence de moins de cinq (5) jours pour raison médicale, l'étudiant.e doit joindre une déclaration sur l'honneur. Lors d'une absence de cinq (5) jours et plus, un billet médical est exigé. Les dates d'invalidité doivent être clairement indiquées sur le billet original. L'authenticité du billet pourrait être vérifiée.

Dans le cas d'une absence pour une raison non médicale, l'étudiant.e doit fournir les documents originaux expliquant et justifiant l'absence à l'examen ; par exemple, lettre de la Cour en cas de participation à un jury, copie du certificat de décès en cas de décès d'un proche, etc. Toute demande incomplète sera refusée. Si la direction du programme d'études de l'étudiant.e constate qu'un.e étudiant.e a un comportement récurrent d'absence aux examens, l'étudiant.e peut se voir refuser une reprise d'examen.

*Pour plus d'informations.* Consulter la page <https://info.uqam.ca/repriseexamen/>.

**Règlement no 18 sur les infractions de nature académique. (extraits)**

[Lien vers la page originale de ce contenu](#)

**Tout acte de plagiat, fraude, copiage, tricherie ou falsification de document commis par une étudiante, un étudiant, de même que toute participation à ces actes ou tentative de les commettre, à l'occasion d'un examen ou d'un travail faisant l'objet d'une évaluation ou dans toute autre circonstance, constituent une infraction au sens de ce règlement.**

(R18, art. 2.1, définition d'une infraction)

Liste non limitative des infractions mentionnées dans le R18 :

- la substitution de personnes ou l'usurpation d'identité (art. 2.2 a) ;
- le plagiat : l'utilisation totale ou partielle du texte d'autrui ou de la production d'autrui en le faisant passer pour sien ou sans indication de référence (art. 2.2 b) ;
- le recyclage/la réutilisation de travaux : le dépôt d'un travail aux fins d'évaluation alors que ce travail constitue en tout ou en partie un travail qui a déjà été soumis par la personne étudiante, aux fins d'évaluation académique à l'UQAM ou dans une autre institution d'enseignement, sauf avec l'accord préalable de la personne enseignante à qui ce travail est soumis (art. 2.2 c) ;
- la possession ou l'obtention par vol, manœuvre ou corruption de questions ou de réponses d'examen (art. 2.2 d) ;
- la possession ou l'utilisation de tout document ou matériel non autorisé préalablement, pendant un examen ou lors de la réalisation de travaux, incluant le recours aux outils informatiques ou moyens technologiques (art. 2.2 e) ;
- l'utilisation pendant un examen de la copie d'examen ou de tout autre matériel provenant d'une autre personne (art. 2.2 f) ;
- l'obtention de toute aide non autorisée, qu'elle soit collective ou individuelle (art. 2.2 g), ce qui inclut l'utilisation d'outils d'intelligence artificielle ;
- l'obtention d'une évaluation non méritée notamment par corruption, chantage, intimidation ou toute forme de harcèlement ou la tentative d'obtenir une telle évaluation (art. 2.2 h) ;
- la falsification d'un document ou la création d'un faux document, notamment d'un document transmis à l'Université ou d'un document de l'Université transmis ou non à une tierce personne, quelles que soient les circonstances (art. 2.2 i) ;
- la falsification de données de recherche dans un travail, notamment une thèse, un mémoire, un mémoire- création, un rapport de stage ou un rapport de recherche (art. 2.2 j).

Les sanctions reliées à ces infractions sont précisées aux articles 3 et 5 du [Règlement no 18 sur les infractions de nature académique](#).

Pour éviter de vous exposer à des sanctions :

1. Consultez le site [r18.uqam.ca](http://r18.uqam.ca) pour plus d'information sur l'intégrité académique et le R18 ;
2. Développez les bonnes pratiques en matière de recherche documentaire et de rédaction des travaux via l'outil [Infosphère](#) et les [formations offertes par le Service des bibliothèques](#)

**Politique no 2**

Le droit à la liberté académique universitaire est le droit de toute personne d'exercer librement et sans contrainte doctrinale, idéologique ou morale, telle la censure institutionnelle, une activité par laquelle elle contribue à l'accomplissement de la mission de l'Université.

Ce droit comprend la liberté :

- (a) d'enseignement et de discussion ;
- (b) de recherche, de création et de publication ;
- (c) d'exprimer son opinion sur la société et sur une institution, y compris l'établissement duquel la personne relève, ainsi que sur toute doctrine, tout dogme ou toute opinion ;
- (d) de participer librement aux activités d'organisations professionnelles ou d'organisations académiques.

Il doit s'exercer en conformité avec les normes d'éthique et de rigueur scientifique généralement reconnues par le milieu universitaire et en tenant compte des droits des autres membres de la communauté universitaire.

En reconnaissant, en promouvant et en protégeant la liberté académique universitaire, cette politique soutient la mission de l'Université, laquelle comprend la production et la transmission de connaissances par des activités de recherche, de création et d'enseignement et par des services à la collectivité.

Pour plus d'information, vous pouvez consulter la section [Liberté académique universitaire](#).



**Politique no 16 visant à prévenir et combattre le sexisme et les violences à caractère sexuel**

Les violences à caractère sexuel se définissent comme étant des comportements, propos et attitudes à caractère sexuel non consentis ou non désirés, avec ou sans contact physique, incluant ceux exercés ou exprimés par un moyen technologique, tels les médias sociaux ou autres médias numériques. Les violences à caractère sexuel peuvent se manifester par un geste unique ou s'inscrire dans un continuum de manifestations et peuvent comprendre la manipulation, l'intimidation, le chantage, la menace implicite ou explicite, la contrainte ou l'usage de force.

Les violences à caractère sexuel incluent, notamment :

- la production ou la diffusion d'images ou de vidéos sexuelles explicites et dégradantes, sans motif pédagogique, de recherche, de création ou d'autres fins publiques légitimes ;
- les avances verbales ou propositions insistantes à caractère sexuel non désirées ;
- la manifestation abusive et non désirée d'intérêt amoureux ou sexuel ;
- les commentaires, les allusions, les plaisanteries, les interpellations ou les insultes à caractère sexuel, devant ou en l'absence de la personne visée ;
- les actes de voyeurisme ou d'exhibitionnisme ;
- le (cyber) harcèlement sexuel ;
- la production, la possession ou la diffusion d'images ou de vidéos sexuelles d'une personne sans son consentement ;
- les avances non verbales, telles que les avances physiques, les attouchements, les frôlements, les pincements, les baisers non désirés ;
- l'agression sexuelle ou la menace d'agression sexuelle ;
- l'imposition d'une intimité sexuelle non voulue ;
- les promesses de récompense ou les menaces de représailles, implicites ou explicites, liées à la satisfaction ou à la non-satisfaction d'une demande à caractère sexuel.

*Pour consulter la politique no 16*

[https://instances.uqam.ca/wp-content/uploads/sites/47/2019/04/Politique\\_no\\_16\\_2.pdf](https://instances.uqam.ca/wp-content/uploads/sites/47/2019/04/Politique_no_16_2.pdf)

*Pour obtenir de l'aide, faire une divulgation ou une plainte*

Bureau d'intervention et de prévention en matière de harcèlement  
514-987-3000, poste 0886

*Pour obtenir la liste des services offerts à l'UQAM et à l'extérieur de l'UQAM*

<https://harcèlement.uqam.ca>

*Soutien psychologique (Services à la vie étudiante)*

514-987-3185  
Local DS-2110

*CALACS Trêve pour Elles – point de services UQAM*

514 987-0348  
[calacs@uqam.ca](mailto:calacs@uqam.ca)  
<http://trevepourelles.org>

*Service de la prévention et de la sécurité*

514-987-3131

**Politique no 44 d'accueil et de soutien des étudiant.e.s en situation de handicap**

*Politique.* Par sa politique, l'Université reconnaît, en toute égalité des chances, sans discrimination ni privilège, aux étudiant.e.s en situation de handicap, le droit de bénéficier de l'ensemble des ressources du campus et de la communauté universitaire, afin d'assurer la réussite de leurs projets d'études, et ce, dans les meilleures conditions possibles. L'exercice de ce droit est, par ailleurs, tributaire du cadre réglementaire régissant l'ensemble des activités de l'Université.

*Responsabilité de l'étudiant.e.* Il incombe aux étudiant.e.s en situation de handicap de rencontrer les intervenant.e.s (conseiller.ère.s à l'accueil et à l'intégration du Service d'accueil et de soutien des étudiant.e.s en situation de handicap, professeur.e.s, chargé.e.s de cours, direction de programmes, associations étudiantes concernées, etc.) qui pourront faciliter leur intégration à la communauté universitaire ou les assister et les soutenir dans la résolution de problèmes particuliers en lien avec les limitations entraînées par leur déficience.

*Service d'accueil et de soutien aux étudiant.e.s en situation de handicap.* Le Service d'accueil et de soutien aux étudiant.e.s en situation de handicap (SASESH) offre des mesures d'aménagement dont peuvent bénéficier certains étudiant.e.s. Il est fortement recommandé aux de se prévaloir de ces services afin de réussir ses études, sans discrimination. Pour plus d'information, visiter le site de ce service : <https://services.uqam.ca/services-offerts/soutien-aux-etudiants-en-de-situation-handicap/> et celui de la politique institutionnelle d'accueil et de soutien aux étudiant.e.s en situation de handicap : [https://instances.uqam.ca/wp-content/uploads/sites/47/2018/05/Politique\\_no\\_44.pdf](https://instances.uqam.ca/wp-content/uploads/sites/47/2018/05/Politique_no_44.pdf)

Il est important d'informer le SASESH de votre situation le plus tôt possible :

- En personne : 1290, rue Saint-Denis, Pavillon Saint-Denis, local AB-2300
- Par téléphone : 514 987-3148
- Par courriel : [situation.handicap@uqam.ca](mailto:situation.handicap@uqam.ca)
- En ligne : <https://vie-etudiante.uqam.ca/>

**Politique no 42 sur le harcèlement**

L'Université du Québec à Montréal (ci-après, l'« Université ») reconnaît à toutes les personnes membres de la communauté universitaire le droit d'être traitées avec dignité, équité et respect mutuel.

Toutes, tous sont susceptibles de subir du harcèlement. L'Université reconnaît que le harcèlement est majoritairement dirigé à l'endroit de certains groupes. Il s'agit notamment des femmes, plus particulièrement lorsque leur vécu se situe à l'entrecroisement de plusieurs formes de discrimination, des personnes issues des minorités sexuelles ou de genre, des communautés racisées ou ethniciées, des communautés autochtones, des étudiantes, étudiants internationaux, ainsi que des personnes en situation de handicap. L'Université s'engage donc à tenir compte de leurs besoins spécifiques.

L'Université considère le respect mutuel, l'égalité, l'écoute et l'entraide comme des valeurs importantes qui favorisent l'épanouissement personnel ainsi que l'établissement de rapports harmonieux entre les personnes et entre les groupes, et qui permettent la mise en place d'un milieu sain et propice à la réalisation individuelle ou collective de sa mission universitaire.

L'Université croit que la collaboration de chaque personne et de chaque groupe de la communauté universitaire est essentielle pour favoriser la création d'un tel milieu et, en ce sens, elle compte sur la contribution de chaque personne.

L'Université juge que toute forme de harcèlement porte atteinte à la dignité et à l'intégrité physique ou psychologique d'une personne.

L'Université reconnaît sa responsabilité d'assurer un milieu de travail et d'études exempt de toute forme de harcèlement et veille à ce qu'aucune forme de harcèlement ne soit tolérée, quelle qu'en soit la source.

Pour plus de détails, consultez la politique complète : [https://instances.uqam.ca/wp-content/uploads/sites/47/2018/05/Politique\\_no\\_42.pdf](https://instances.uqam.ca/wp-content/uploads/sites/47/2018/05/Politique_no_42.pdf)

**Monitorat de programme**

Le département d'informatique offre un service gratuit d'aide à la réussite s'adressant plus particulièrement aux étudiant.e.s du baccalauréat et du certificat en informatique. Il concerne principalement les cours de base comme INF1070, INF1120, INF1132, INF2120 et INF2171, mais, selon la connaissance du moniteur ou de la monitrice, un support dans d'autres cours peut également être offert.

*Objectifs.* Permettre aux étudiant.e.s de :

- Bénéficier d'un encadrement par les pairs ;
- Recevoir un suivi personnalisé en cas de difficulté ;
- Profiter d'un soutien supplémentaire à la matière vue en classe ;
- Obtenir un support technique sur les technologies, les outils, les bibliothèques et les cadriciels utilisés dans les cours (installation, configuration, utilisation)

*Informations.*

- Voir <https://info.uqam.ca/aide/> pour la grille horaire et tous les détails
- Le service est généralement disponible à partir de la deuxième semaine
- D'autres plages horaires pourraient être ajoutées en cours de session selon les besoins
- Clavardage en direct : [~aide](#) (Mattermost)