



Centre de formation en technologie de l'information INF 749 – Conception de systèmes temps réel

Plan d'activité pédagogique

Hiver 2026

Enseignant	Patrice Roy
Courriel :	patrice.roy@usherbrooke.ca
Local :	L1-15741 (Longueuil) ou D4-1010-14 (Sherbrooke)
Téléphone :	
Disponibilités :	Avant le cours, mardi soir, ou par courriel

Site web du cours : <https://h-deb.ca/UdeS/STR/>

Horaire Exposé magistral : Mardi 18 h 30 à 21 h 50 salle L1-6665

Description officielle de l'activité pédagogique¹

Cibles de formation :	Déterminer les problèmes inhérents au développement de systèmes temps réel (STR); appliquer le traitement du temps aux systèmes informatiques; spécifier, concevoir, programmer et vérifier des STR.
Contenu :	Types de systèmes temps réel. Représentation du temps, contraintes de temps, horloge, synchronisation d'horloges. Spécification des STR : machines à états, diagrammes d'état (statecharts), réseaux de Petri, Graftet. Spécification axiomatique de contraintes temporelles. Architecture des STR. Acquisition et traitement de l'information en temps réel. Modèles de conception des STR : modèles basés sur les événements, les graphes, les tâches, les processus. Modélisation du contrôle. Application des concepts dans un projet de développement.
Crédits	3
Organisation	3 heures d'exposé magistral par semaine 6 heures de travail personnel par semaine
Particularités	Aucune

¹<https://www.usherbrooke.ca/admission/fiches-cours/inf749>

1 Présentation

Cette section présente les cibles de formation spécifiques et le contenu détaillé de l'activité pédagogique. Cette section, non modifiable sans l'approbation du comité de programme du Centre de formation en technologie de l'information, constitue la version officielle.

1.1 Mise en contexte

Les systèmes temps réel (STR) constituent un sujet à la fois important et méconnu. Assimilés, souvent à tort, à l'idée de systèmes très rapides, ou à celle d'interface-personne/machine répondant instantanément aux demandes d'un usager, les STR sont perçus par le grand public à travers une loupe floue, inexacte.

Pourtant, un STR n'est pas un jouet : on attend d'un STR à ce qu'il respecte certaines contraintes de « performance », la « performance » étant exprimée en temps d'exécution de tâches précises, et ce même dans le pire cas. Un STR n'est pas tant un système rapide globalement qu'un système en tout temps assez rapide (ou jamais trop lent, ce qui revient au même).

Parfois, la contrainte temps réel (TR) à respecter sera simple à exprimer : une pulsation au pire chaque nième quantum de temps ; une écriture sur disque d'une quantité donnée d'information à chaque seconde dans le pire cas ; au minimum six lectures de touches au clavier par seconde ; un rafraîchissement complet d'écran au moins chaque soixantième de seconde ; etc. Évidemment, exprimer et garantir sont deux verbes de nature bien différente.

La conception des STR constitue un sujet plus complexe qu'il n'y paraît sur les plateformes contemporaines, du fait que la majorité d'entre elles sont multiprogrammées. Il est en général impossible d'offrir des garanties assez fortes pour qu'un système puisse être qualifié de STR sur une plateforme comme Microsoft Windows ou Linux, par exemple, ce qui ne signifie pas que les plateformes ne permettent pas l'écriture de code « performant » dans l'ensemble. Ceci met en relief la distinction entre TR souple, qui rejoint l'idée que se fait la majorité des gens des STR (quelque chose d'instantané en apparence), et TR strict, qui est d'un autre ordre : le non-respect de contraintes TR souples entraîne un désagrément, mais le non-respect de contraintes TR strictes peut entraîner des bris matériels ou des blessures.

Le mode des STR est un monde de praticiens, même chez les théoriciens du domaine. Règle générale, un STR correspond à un besoin réel, défini de manière précise et mesurable. Un STR, surtout s'il est strict, a pour particularité que si ses contraintes ne sont pas rencontrées, le fruit de son travail n'est pas valide. Les résultats de l'exécution d'un STR dépendent autant de la validité de ses calculs que du respect de ses contraintes de temps. C'est d'ailleurs la définition canonique, en quelque sorte, des STR ; nous explorerons aussi d'autres définitions, d'autres visions du sens à accorder au terme STR.

1.2 Cibles de formation spécifiques

À la fin de cette activité pédagogique, l'étudiante ou l'étudiant sera capable :

1. De distinguer un STR d'un système qui ne l'est pas
2. D'expliquer les caractéristiques inhérentes à un STR
3. De définir la spécification de contraintes TR
4. De mesurer le respect de contraintes TR
5. De développer un module d'un STR
6. D'utiliser des primitives d'un système d'exploitation lors de la programmation de STR

Plusieurs objectifs plus contextuels seront rencontrés en chemin : penser un programme dans un contexte de ressources limitées (les systèmes embarqués, par exemple, qui sont sujets à être soumis à des contraintes TR) ; modifier un moteur de collecte d'ordures (typique des STR sur plateforme prise en charge) ; appliquer des techniques d'optimisation locales et systémiques ; développer des systèmes dans une optique de résilience et de tolérance aux pannes ; etc.

1.3 Contenu détaillé

Thème	Contenu	Nbr. d'heures	Objectifs
1	Première approche : Exploration des divers sens de : temps, temps réel Historique, problèmes et définitions Clarification de ce qu'est (ou non) un STR STR et déterminisme STR et sécurité	1	
2	Complexité et mesure : Brève exploration : des conteneurs standards ; des itérateurs ; des algorithmes standards ; des garanties de complexité. Complexité vs temps. Complexité en taille ou en espace Conteneurs maison ; itérateurs maison ; adaptateurs Outils de mesure portables ; outils de mesure non portables ; approches RAI Risques et bénéfices Quoi mesurer	1	
3	Contraintes : Contraintes strictes ou souples Contraintes locales ou systémiques Conséquences d'un non-respect Respect préventif (externe) Respect disciplinaire (interne) Scrutation Interruptions forcées Respect et matériel Respect local vs contraintes d'ensemble	1	
4	Multiprogrammation : Fils d'exécution vs processus (bref) Implémentations Win32 et POSIX std ::thread et ses variantes Fonctions résumables et enjeux TR Synchronisation et prévisibilité Mémoire partagée Algorithmes sans verrous et progression Vision générale ou disciplinaire Systèmes multi cœurs Déterminisme et multiprogrammation	1	
5	Enjeux propres aux SETR : Environnement de développement Outils de synchronisation Mécanismes et métaphores de communication Processus et états Ordonnanceur et commutation Tests d'ordonnancement Gestionnaire d'interruption Variantes : autres SETR ; exécutifs TR ; solutions maison	1	
6	Entrées/ sorties : Contraintes TR et E/S Traitement de signal TR Approches non bloquantes Approches multiprogrammées Impact systémique des E/S E/S très rapides Vitesse locale ou équilibre systémique Équilibre et espace	1	

Table 1 :

Thème	Contenu	Nbr. d'heures	Objectifs
7	Idiomes et schémas de conception : Relation et implémentation d'idiomes et de schémas de conception aux STR : singleton ; observateur ; pImpl ; proxy ; ordonnanceur ; etc	1	
8	Gestion de la mémoire : Allouer ou construire Déclinaisons de new et de delete Surcharge de new et delete Allocation positionnelle Enjeux d'alignement Allocation assistée Arénas Allocateurs	1	
9	Exécutifs : Contexte (disciplinaire) Avantages et risques Concevoir un exécutif Droits et obligations Démonstration détaillée	1	
10	Systèmes pris en charge : Déterminisme « Performance » Java TR Collecte automatique d'ordures État de la recherche	1	
11	Systèmes embarqués	1	

2 Organisation

Cette section propre à l'approche pédagogique de chaque enseignante ou enseignant présente la méthode pédagogique, le calendrier, le barème et la procédure d'évaluation ainsi que l'échéancier des travaux. Cette section doit être cohérente avec le contenu de la section précédente.

2.1 Méthode pédagogique

Pour favoriser l'intégration des nombreux concepts au menu, nous suivrons essentiellement le modèle suivant :

- Exposés magistraux en classe, où les personnes étudiantes sont fortement encouragées à contribuer par leurs questions et commentaires ;
- Travaux pratiques et exercices à teneur formative, qui permettront aux personnes étudiantes de mesurer concrètement leur compréhension de la matière explorée, et qui pourront être corrigés par la personne enseignante ou autocorrigés à l'aide d'une grille de vérification, selon le cas ;
- Travaux pratiques à teneur sommative, évalués par la personne enseignante en fonction des mêmes critères que ceux appliqués dans le cadre des activités formatives. Ces travaux seront soumis à un échéancier de livrables. (voir le document *Consignes quant au projet.*) ;
- Des questions de réflexion (et parfois à saveur technique) sur une base quasi-hebdomadaire ;
- Un contrôle théorique récapitulatif, en toute fin de parcours, vérifiant formellement l'atteinte des objectifs ;

(Certains aspects plus généraux du développement informatique seront abordés au passage : par exemple, nous chercherons non seulement à rédiger des modules réalisant le travail demandé, mais aussi du code à la fois efficace et portable.)

- La portabilité du code peut sembler être un peu « hors champ » pour un cours de STR, mais il faut comprendre que les programmes TR tendent à être déployés sur des plateformes spécialisées. Pour cette raison, maximiser la portabilité et circonscrire ce qui est spécifique à une plateforme ou une autre est un atout.

Les questions et contrôles présumeront que chaque membre d'une équipe a contribué activement à la réalisation de chacun des travaux pratiques et a bien compris les implications philosophiques et techniques de ces travaux.

J'utiliserai le SETR qu'est QNX Neutrino, un système essentiellement conforme à la norme POSIX, pour illustrer certains concepts associés à ces systèmes d'exploitation. Bien que je ne l'aie pas fait installer lors des dernières sessions (les personnes étudiantes ne semblaient pas en avoir envie.), sachez que je peux le faire si vous le souhaitez.

Il se peut que certaines séances soient offertes à distance, de manière exceptionnelle. Notez que vous en serez informés rapidement si tel est le cas.

2.2 Calendrier

Semaine	Commençant le	Thème
1	2026-01-05	1 et 3
2	2026-01-12	2
3	2026-01-19	4
4	2026-01-26	4
5	2026-02-02	8
6	2026-02-09	8
7	2026-02-16	5 et 10
8	2026-02-23	
9	2026-03-02	Relâche
10	2026-03-09	6
11	2026-03-16	7
12	2026-03-23	9
13	2026-03-30	11

Table 2 :

Semaine	Commençant le	Thème
14	2026-04-06	11
15	2026-04-13	
16	2026-04-20	Semaine des examens finals
17	2026-04-27	Semaine des examens finals

2.3 Évaluation

Je passe plusieurs minitests (habituellement dix) et je conserve les huit meilleurs pour chacune des personnes étudiantes. Chaque mini test vaut 5 (cinq) points sur la note finale, pour un total de 40 %. Ça signifie essentiellement un par semaine outre les deux premières (on se connaît à peine) et celle de l'examen final.

Le travail de session est séparé en trois livrables valant respectivement 5 %, 10 % et 15 % de la session, pour un total de 30 %. Il peut se faire individuellement ou par équipe de 2-4 personnes. Les détails sont dans un document annexe.

L'examen final compte pour 30%.

2.3.1 Qualité de la langue et de la présentation

Conformément à l'article 17 du Règlement facultaire d'évaluations des apprentissages² l'enseignante ou l'enseignant peut retourner à l'étudiante ou à l'étudiant tout travail non conforme aux exigences quant à la qualité de la langue et aux normes de présentation.

2.3.2 Plagiat

Le plagiat consiste à utiliser des résultats obtenus par d'autres personnes afin de les faire passer pour sien et dans le dessein de tromper l'enseignante ou l'enseignant. Vous trouverez en annexe un document d'information relatif à l'intégrité intellectuelle qui fait état de l'article 9.4.1 du Règlement des études³. Lors de la correction de tout travail individuel ou de groupe une attention spéciale sera portée au plagiat. Si une preuve de plagiat est attestée, elle sera traitée en conformité, entre autres, avec l'article 9.4.1 du Règlement des études de l'Université de Sherbrooke. L'étudiante ou l'étudiant peut s'exposer à de graves sanctions qui peuvent être soit l'attribution de la note E ou de la note zéro (0) pour un travail, un examen ou une activité évaluée, soit de reprendre un travail, un examen ou une activité pédagogique. Tout travail suspecté de plagiat sera transmis au Secrétaire de la Faculté des sciences. Ceci n'indique pas que vous n'avez pas le droit de coopérer entre deux équipes, tant que la rédaction finale des documents et la création du programme restent le fait de votre équipe. En cas de doute de plagiat, l'enseignante ou l'enseignant peut demander à l'équipe d'expliquer les notions ou le fonctionnement du code qu'elle ou qu'il considère comme étant plagié. En cas d'incertitude, ne pas hésiter à demander conseil et assistance à l'enseignante ou l'enseignant afin d'éviter toute situation délicate par la suite.

²https://www.usherbrooke.ca/sciences/fileadmin/sites/sciences/documents/Etudiants_actuels/Informations_academiques_et_reglements/2017-10-27_Reglement_facultaire_-_evaluation_des_apprentissages.pdf

³<https://www.usherbrooke.ca/registraire/droits-et-responsabilites/reglement-des-etudes/>

2.4 Échéancier des travaux

Les dates de remise des travaux seront indiquées sur les énoncés.

2.5 Utilisation d'appareils électroniques et du courriel

Selon le règlement complémentaire des études, section 4.2.3⁴, l'utilisation d'ordinateurs, de cellulaires ou de tablettes pendant une prestation est interdite à condition que leur usage soit explicitement permise dans le plan de cours.

Dans ce cours, l'usage de téléphones cellulaires, de tablettes ou d'ordinateurs est autorisé. Cette permission peut être retirée en tout temps si leur usage entraîne des abus.

Tel qu'indiqué dans le règlement universitaire des études, section 4.2.3⁵, toute utilisation d'appareils de captation de la voix ou de l'image exige la permission de la personne enseignante.

Note : Je réponds aux questions posées par courriel à l'extérieur des périodes de cours.

Aidez-moi et posez des questions détaillée et surtout : pas de captures d'écran, ce n'est vraiment pas utile :)

3 Matériel nécessaire pour l'activité pédagogique

Avoir un compilateur C++ à jour est une bonne idée si vous souhaitez mettre en pratique les exemples proposés en classe. Cela dit, pour le travail de session, vous aurez de la latitude en ce qui a trait aux choix technologiques.

⁴https://www.usherbrooke.ca/sciences/fileadmin/sites/sciences/documents/Etudiants_actuels/Informations_academiques_et_reglements/Sciences_Reglement_complementaire.pdf

⁵<https://www.usherbrooke.ca/registraire/droits-et-responsabilites/reglement-des-etudes/>

Délits relatifs aux études

Extrait du règlement des études (Règlement 2575-009)

Sont notamment considérés comme un délit relatif aux études les faits suivants :

- a) commettre un plagiat, soit faire passer ou tenter de faire passer pour sien, dans une production évaluée, le travail d'une autre personne, des passages ou idées tirés de l'œuvre d'autrui ou du contenu, de toute forme, généré par un système d'intelligence artificielle (ce qui inclut notamment le fait de ne pas indiquer la source et la référence adéquate);
- b) commettre un autoplagiat, soit soumettre, sans autorisation préalable, une même production, en tout ou en partie, à plus d'une activité pédagogique ou dans une même activité pédagogique (notamment en cas de reprise);
- c) usurper l'identité d'une autre personne ou procéder à une substitution de personne lors d'une production évaluée ou de toute autre prestation obligatoire;
- d) fournir ou obtenir toute forme d'aide non autorisée, qu'elle soit collective ou individuelle (incluant l'assistance provenant d'un système d'intelligence artificielle), pour une production faisant l'objet d'une évaluation;
- e) obtenir par vol ou toute autre manœuvre frauduleuse, posséder ou utiliser du matériel non autorisé de toute forme (incluant le matériel numérique et celui généré par un système d'intelligence artificielle) avant ou pendant une production faisant l'objet d'une évaluation;
- f) copier, contrefaire ou falsifier un document pour l'évaluation d'une activité pédagogique;
- k) posséder ou avoir à sa portée un appareil électronique ou numérique interdit durant une activité d'évaluation;

[...]

Un [guide sur l'intégrité intellectuelle](#) vous est rendu disponible par le service des bibliothèques et des archives de l'Université de Sherbrooke, afin de bien comprendre les différents délits et ainsi éviter d'être aux prises avec un dossier disciplinaire et une ou des sanctions.

Les mesures pouvant être imposées à titre de sanctions disciplinaires sont les suivantes :

- a) la réprimande simple ou sévère consignée au dossier étudiant pour la période fixée par l'autorité disciplinaire ou à défaut, définitivement. En cas de réprimande fixée pour une période déterminée, la décision rendue demeure au dossier de la personne aux seules fins d'attester de l'existence du délit en cas de récidive;
- b) l'obligation de reprendre une production ou une activité pédagogique, dont la note pourra être établie en tenant compte du délit survenu antérieurement;
- c) la diminution de la note ou l'attribution de la note E ou 0;

[...]

Balises d'utilisation des outils d'intelligence artificielle générative

Autorisés ou pas dans les situations d'apprentissage et d'évaluation ?

NIVEAU 0

NIVEAU 1

NIVEAU 2

NIVEAU 3

NIVEAU 4

L'utilisation des outils d'intelligence artificielle générative (IAg) est limitée, voire complètement interdite parce que la personne enseignante considère que l'usage de ces outils nuit au développement de compétences essentielles. Ces compétences peuvent être disciplinaires, comme elles peuvent être d'ordre méthodologique, rédactionnel ou informationnel. Considérant que l'utilisation des IAg requiert un esprit critique, il peut s'agir d'une situation d'apprentissage ou d'évaluation sans IAg qui vise à développer celui-ci.

Dans ces situations, **la personne étudiante produit le travail.**

L'utilisation prononcée des IAg est permise parce que la personne enseignante considère que les personnes étudiantes sont en mesure d'exercer un esprit critique et sont capables de juger de la qualité des contenus produits par les IAg. Ou encore, l'utilisation est encouragée parce que la situation d'apprentissage ou d'évaluation proposée contribue à développer leur esprit critique.

Dans ces situations, l'IAg produit le travail préliminaire, alors que **la personne étudiante s'assure de sa qualité en l'améliorant.**



Utilisation interdite

Le **NIVEAU 0** signifie que l'**utilisation est interdite**.

Ceci signifie que si la personne enseignante a un motif de croire qu'il y a eu l'utilisation d'une IAg dans une situation d'évaluation, elle doit dénoncer les faits auprès de la personne responsable des dossiers disciplinaires universitaires. Il s'agit d'un délit relatif aux études tel que stipulé dans le [Règlement des études](#).



Utilisation limitée

Le **NIVEAU 1 D'UTILISATION** signifie que l'**utilisation est autorisée uniquement pour assister l'apprentissage dans le domaine disciplinaire ou des langues**.

Dans ce contexte, la personne étudiante **est tenue de déclarer l'utilisation qu'elle en a faite** selon les consignes fournies par la personne enseignante sans quoi l'utilisation peut être considérée comme un délit. Par exemple :

Domaine disciplinaire :

- S'inspirer
- Générer des idées
- Explorer un sujet pour mieux le comprendre
- Générer du matériel pour apprendre

Domaine des langues :

- Identifier ses erreurs et se les faire expliquer
- Reformuler un texte
- Générer un plan pour aider à structurer un texte
- Traduire un texte



Utilisation guidée

Le **NIVEAU 2 D'UTILISATION** signifie que l'**utilisation est autorisée pour améliorer un travail produit par la personne étudiante**.

Dans ce contexte, la personne étudiante **est tenue de déclarer l'utilisation qu'elle en a faite** selon les consignes fournies par la personne enseignante sans quoi l'utilisation est considérée comme un délit. Par exemple :

- Analyser des contenus
- Obtenir une rétroaction
- Évaluer la qualité de son travail à partir de critères
- Demander à être confronté relativement à ses idées, à sa démarche
- Diriger les processus de résolution de problèmes



Utilisation balisée

Le **NIVEAU 3 D'UTILISATION** signifie que l'**utilisation est autorisée pour produire un travail qui sera amélioré**.

Dans ce contexte, la personne étudiante **est tenue de citer selon les normes¹ le contenu généré par l'IAg ou de déclarer l'utilisation qu'elle en a faite** selon les consignes fournies par la personne enseignante sans quoi l'utilisation est considérée comme un délit. Par exemple :

- Résumer ou rédiger des parties d'un texte
- Générer un texte ou un modèle d'une production et l'adapter
- Réaliser des calculs mathématiques
- Produire du code informatique
- Résoudre des problèmes complexes
- Répondre à une question
- Générer des images, ou autres contenus multimédias



Utilisation libre

Le **NIVEAU 4 D'UTILISATION** signifie qu'**aucune restriction spécifique n'est imposée**.

Dans ce contexte, la personne étudiante **est tenue de citer selon les normes¹ le contenu généré par l'IAg ou de déclarer l'utilisation qu'elle en a faite** selon les consignes fournies par la personne enseignante sans quoi l'utilisation est considérée comme un délit.

Ce niveau inclut tout ce qui précède, de l'exploration à la production, ainsi que toute autre tâche particulière jugée complexe.

À considérer avant l'utilisation d'outils d'intelligence artificielles génératives

Si, en tant que personne étudiante envisagez d'utiliser un outil d'intelligence artificielle générative (IAG) lorsque l'évaluation autorise les niveaux 1 à 4 d'utilisation mentionnés précédemment.

Dans ce cas, gardez à l'esprit les éléments clés suivants.

- Vous assumez la responsabilité de tout le contenu produit, avec ou sans IAG, et intégré à votre production.
- Les produits des outils d'IAG peuvent très souvent comporter **des erreurs ou des faussetés** (hallucinations) : on doit donc impérativement valider tout contenu généré par ces outils.
- Dans l'état actuel de la Loi sur le droit d'auteur du Canada, les **productions faites par l'IAG sont du domaine public**, puisque les outils d'IAG ne sont pas reconnus comme des auteurs au sens de la Loi et que les contenus générés ne répondent pas aux critères d'une œuvre protégée, notamment aux critères d'originalité.
- L'entreprise qui fournit le service pourrait émettre certaines exigences dans ses conditions d'utilisation. Comme l'algorithme et le code informatique appartiennent à l'entreprise qui les a développés, nous devons tenir compte de ces conditions. Celles-ci pourraient également fournir des précisions relatives à la **réutilisation des données soumises (confidentialité)**.

Comment déclarer l'utilisation d'outils d'intelligence artificielle générative

Dans l'esprit d'une conduite intègre et responsable, vous devez TOUJOURS mentionner de façon explicite toute utilisation de l'intelligence artificielle, conformément au Règlement des études (9.4.1 Délits relatifs aux études). De plus, à des fins pédagogiques, il est recommandé de toujours intégrer à la production les requêtes, de même que les réponses intégrales générées par les outils d'IAG. Celles-ci pourront être intégrées directement dans le corps du texte ou en note de bas de page. Les réponses longues pourraient être insérées en annexe de votre document ou dans des documents supplémentaires, selon les directives de la personne enseignante.

L'utilisation de ces deux documents s'avèrera utile, ils se trouvent sous licence libre, donc vous pouvez utiliser les tableaux et les adapter selon votre besoin:

1. Modèle de citation : Ce formulaire, à remplir par l'enseignant, donne un exemple aux étudiants de citation de l'IAG dans la réalisation d'un travail évalué ou non.
2. Déclaration d'usage : Ce formulaire, à remplir par les étudiants, doit être remis avec une réalisation afin de déclarer l'usage de l'IAG dans la réalisation, qu'elle soit évaluée ou non.

Référence

La Faculté des sciences tient à remercier le SSF pour la production des documents.

- Cabana, M. et Côté, J.-A. (2024). Balises d'utilisation des outils d'intelligence artificielle générative. Service de soutien à la formation, Université de Sherbrooke. Sous licence [CC BY 4.0](#).
- Cabana, M. et Beaudet, M. (2024). Directives de déclaration de l'utilisation de l'intelligence artificielle générative dans une production étudiante. Service de soutien à la formation, Université de Sherbrooke. Sous licence [CC BY 4.0](#).
- Cabana, M. (2024). Formulaire de déclaration de l'utilisation de l'intelligence artificielle générative dans une production étudiante. Service de soutien à la formation, Université de Sherbrooke. Sous licence [CC BY 4.0](#).