



Département d'informatique
IGL 501 / IGL 710 – Méthodes formelles en génie logiciel
Plan d'activité pédagogique
Automne 2025

| | |
|-------------------|--|
| Enseignant | Marc Frappier |
| Courriel : | marc.frappier@usherbrooke.ca |
| Local : | D4-1010-08 |
| Téléphone : | +1 819 821-8000 x62096 |
| Disponibilités : | Disponible sur rendez-vous par courriel |

Site web du cours : <https://info.usherbrooke.ca/mfrappier/igl501>

| | | | | |
|----------------|--------------------|-------|---------------|---------------|
| Horaire | Exposé magistral : | Jeudi | 14h30 à 16h20 | salle D3-2029 |
| | | Jeudi | 16h30 à 17h20 | salle D4-0023 |

Description officielle de l'activité pédagogique¹

| | |
|-----------------------|--|
| Cibles de formation : | Connaître et utiliser les méthodes formelles de spécification, de validation et de vérification. |
| Contenu : | Rappels mathématiques. Spécification à base de modèles. Algèbre de processus. Techniques de vérification : analyse formelle des spécifications, correction et preuve de spécifications, preuve de correction d'une implémentation, vérification par exploration de l'espace d'états (model checking). Techniques de validation : exécution de spécifications formelles, prototypage. |
| Crédits | 3 |
| Organisation | 3 heures d'exposé magistral par semaine 6 heures de travail personnel par semaine |
| Préalable | MAT115 et IFT159 |
| Particularités | Aucune |

¹<https://www.usherbrooke.ca/admission/fiches-cours/igl501>

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 Département d'informatique, constitue la version officielle.

1.1 Mise en contexte

La construction de systèmes de qualité tout en respectant les contraintes de temps et de budget représente toujours un formidable défi. Dans les domaines où la sécurité des personnes et des biens est en cause, ce défi est encore plus grand. Une des approches proposées pour résoudre ce problème consiste à utiliser des outils mathématiques pour spécifier, valider et vérifier les systèmes informatiques. On désigne communément ces approches basées sur les mathématiques comme des méthodes formelles.

Le choix des mathématiques s'explique par le besoin de rigueur et de précision dans la description du comportement de systèmes complexes et par la nécessité de disposer de mécanismes d'abstraction pour juguler la complexité. Les méthodes formelles permettent également de pallier les faiblesses des méthodes traditionnelles de tests qui ne peuvent traiter de manière exhaustive tous les cas possibles d'utilisation d'un système.

On distingue deux approches pour vérifier la cohérence d'un système par rapport à sa spécification : la preuve et la vérification. La preuve consiste à démontrer de manière systématique, en utilisant les règles d'inférence d'une logique, une propriété d'un logiciel. La vérification (*model checking*) consiste à vérifier, de manière exhaustive en parcourant les états du système, que la propriété est satisfaite. Ces deux approches seront abordées dans le cadre du cours en utilisant des outils logiciels appropriés.

Après plus de trois décennies de recherche, la communauté scientifique a proposé plusieurs méthodes formelles de construction de systèmes. Certaines d'entre elles sont maintenant utilisées pour concevoir des systèmes critiques en milieu industriel comme le transport, les télécommunications, l'énergie nucléaire, les circuits intégrés et les appareils médicaux. Toutefois, l'utilisation de méthodes formelles demeure peu répandue et leur utilisation à grande échelle nécessitera encore plusieurs investissements pour la recherche, mais également pour la formation en informatique.

1.2 Cibles de formation spécifiques

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

1. de traduire les exigences d'un cahier des charges (analyse des besoins) en une spécification formelle ;
2. de raffiner une spécification ;
3. d'implémenter une spécification ;
4. de comprendre les principes de base de la preuve ;
5. de comprendre les principes de base de la vérification ;
6. de spécifier des propriétés en logique temporelle ;
7. de comprendre l'apport des méthodes formelles pour la production de logiciel de qualité ;
8. d'identifier les situations où l'utilisation de méthodes formelles est souhaitable.

1.3 Contenu détaillé

| Thème | Contenu | Nbr. d'heures | Objectifs | Lectures ¹ |
|-------|--|---------------|-----------|---|
| 1 | Mathématiques discrètes pour la spécification : logique, ensemble, relation, fonction, séquence. | 3 | 1 à 8 | [1] , chap. 1 à 3 [5] , chap. 1 et 2 [10] , chap. 2 à 5, 7 et 8 |

Table 1:

| Thème | Contenu | Nbr. d'heures | Objectifs | Lectures ¹ |
|-------|--|---------------|--------------------|---|
| 2 | Spécification à base de modèle et vérification : exemples (B, Event-B, Z, ASM, TLA+, VDM, ...). | 6 | 1, 4, 7 et 8 | [1] , chap. 4, 5 et 8 |
| 3 | Raffinement de spécification : exemples (Raffinement algorithmique, de données et de systèmes d'actions ; illustration avec B et/ou <i>Event-B</i> , ou l'équivalent). | 6 | 1, 2, 3, 4, 7 et 8 | [1] , chap. 11 [2] , chap. 5 |
| 4 | Preuve de correction d'un logiciel : exemples (WP-calcul, calcul de raffinement). | 6 | 3, 4, 7 et 8 | [1] , chap. 12 [8] , chap. 1, 4 et 5 |
| 5 | Modélisation et vérification avec des approches purement logique : exemples (Alloy, Coq, PVS, HOL, solveur SMT). | 6 | 4, 5, 7 et 8 | cunha2025 [7] chap. 1 à 6 |
| 6 | Modélisation avec des algèbres de processus : exemples (CSP, π -calcul, LOTOS, ACP). | 6 | 1, 2, 3, 4, 7 et 8 | [6] , chap. 1 à 6 [9] , chap. 7 |
| 7 | Logique temporelle et vérification : logique temporelle linéaire (LTL) et logique du temps arborescent (CTL : <i>computation tree logic</i>). | 6 | 6, 7 et 8 | [3] , chap.3 et 6 |

¹ Les lectures indiquées ne sont là qu'à titre indicatif. L'enseignant est libre de choisir un autre document de référence

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

- Une semaine comprend normalement trois heures de cours constituées d'un exposé magistral de deux heures et d'une séance d'études de cas et/ou d'exercices de une heure sur la matière vue dans les deux premières heures.
- Le cours comporte cinq (5) travaux pratiques à remettre avec TurninWeb et effectués en équipe de quatre (4) personnes, avec une possibilité d'équipe de trois (3) ou cinq (5) si le nombre d'étudiants dans le cours n'est pas un multiple de quatre (4). Les équipes sont formées par le professeur. Tout changement à la composition d'une équipe doit être approuvé par le professeur.

2.2 Calendrier

| Semaine | Commençant le | Thème |
|---------|---------------|---------------------------------|
| 1 | 2025-08-25 | 1 |
| 2 | 2025-09-01 | 2 |
| 3 | 2025-09-08 | 2 |
| 4 | 2025-09-15 | 3 |
| 5 | 2025-09-22 | 3 |
| 6 | 2025-09-29 | 4 |
| 7 | 2025-10-06 | 4 |
| 8 | 2025-10-13 | Semaine des examens périodiques |
| 9 | 2025-10-20 | Relâche |
| 10 | 2025-10-27 | 5 |
| 11 | 2025-11-03 | 5 |
| 12 | 2025-11-10 | 6 |
| 13 | 2025-11-17 | 6 |
| 14 | 2025-11-24 | 7 |
| 15 | 2025-12-01 | 7 |
| 16 | 2025-12-08 | Semaine des examens finals |
| 17 | 2025-12-15 | Semaine des examens finals |

2.3 Évaluation

| Type de l'évaluation | Pondération | Utilisation des IAG |
|----------------------|-------------|---|
| devoirs | 20 % | Interdite  |
| Examen intra | 40 % | Interdite  |
| Examen final | 40 % | Interdite  |

- Toute production (devoir, tp, etc) remise en retard aura la note 0, sans aucune exception.
- La présence au cours est considérée comme obligatoire, au sens où si des travaux d'équipes sont effectués durant la période d'exercices de 1h, les membres de votre équipe peuvent compter sur votre présence. Une absence pourra entraîner l'exclusion de l'équipe, la réalisation du travail seul ou bien la note 0 pour le travail en question. Cela est déterminé par l'enseignant.
- Vous devez documenter votre participation aux travaux d'équipes de sorte que vous avez des preuves de votre contribution. Cela peut prendre diverses formes (ex : discussion par Teams ou courriel, ébauche/partie de solution que vous avez développées, activités sur un système de gestion de sources comme Git). En l'absence de preuves de participation au travail, la note 0 pourra être attribuée pour le travail.

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.

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.

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/>

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/>

3 Matériel nécessaire pour l'activité pédagogique

Nous utiliserons les logiciels Tarski, Panda, ProB, Dafny, Alloy et FDR. Vous pouvez les installer sur votre ordinateur personnel ; la page web du cours donne des pointeurs vers les sites pour le téléchargement de ces logiciels.

4 Références

- [1] ABRIAL, J.-R. : *The B-book : assigning programs to meanings*. Cambridge University Press, New York, NY, USA, 1996.
- [2] ABRIAL, J.-R. : *Modeling in Event-B : System and Software Engineering*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2010.
- [3] BAIER, CHRISTEL ET KATOEN, J.-P. : *Principles of Model Checking (Representation and Mind Series)*. The MIT Press, 2008.
- [4] CUNHA, MACEDO, BRUNEL ET CHEMOUIL : *Practical Alloy : A hands-on guide to formal software design*. en ligne, 2025. disponible au practicalalloy.github.io/.
- [5] FRAPPIER, M. : MAT115 - Logique et mathématiques discrètes - Notes du cours. département d'informatique, Université de Sherbrooke, 2025. disponible au info.usherbrooke.ca/mfrappier/mat115/logique.pdf.
- [6] HOARE : *Communicating Sequential Processes*. Prentice-Hall, 1985.
- [7] JACKSON, D. : *Software Abstractions : Logic, Language, and Analysis*. MIT Press, 2012.
- [8] MORGAN, C.C. : *Programming from Specifications*. Prentice-Hall, 1998.
- [9] ROSCOE, A.W. : *The Theory and Practice of Concurrency*. Prentice-Hall, 2005.
- [10] WOODCOCK, J. ET DAVIES, J. : *Using Z : Specification, Refinement, and Proof*. Prentice-Hall, 1996.

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](#).