



**POLYTECHNIQUE
MONTRÉAL**

UNIVERSITÉ
D'INGÉNIERIE

Plan de cours

INF8601 - Systèmes informatiques parallèles

Département de génie informatique et génie logiciel

Automne 2023

3 Crédits

Triplet horaire : 3 - 1.5 - 4.5

<https://moodle.polymtl.ca/course/view.php?id=999>

Coordonnées et disponibilités

Nom	Michel Dagenais
Bureau	M-3426
Téléphone	(514) 340-4711 - 4029
Courriel	michel.dagenais@polymtl.ca
Disponibilité	avec ou sans rendez-vous

Coordonnateur ou coordonnatrice

Nom	Michel Dagenais
Courriel	michel.dagenais@polymtl.ca

Description du cours

Taxonomie et organisation des systèmes informatiques parallèles. Architectures avancées de multiprocesseurs. Hiérarchie de mémoires, protocoles de cohérence des antémémoires. Parallélisme par fils d'exécution multiples. Conception d'applications parallèles en mémoire partagée. Coprocesseurs pour le calcul parallèle. Grappes de calcul et échange de messages entre les noeuds. Techniques d'équilibrage de charge. Infonuagique. Conception d'applications parallèles en mémoire répartie.

COURS PRÉALABLES	COURS COREQUIS	COURS SUBSÉQUENTS
INF2610		

Qualités du BCAPG

Une version détaillée de ce tableau est disponible à la fin du document. Vous pouvez également regarder cette [vidéo explicative](#) sur les 12 qualités.

1 Connaissances en génie	2 Analyse de problèmes	3 Investigation	4 Conception	5 Utilisation d'outils d'ing.	6 Travail ind. et en équipe
CA-N3	AP		AP	AP	
7 Communication	8 Professionalisme	9 Impacts soc. et environn.	10 Déontologie et équité	11 Économie et gestion de projets	12 Apprentissage continu

Objectifs d'apprentissage

Ce cours vise à :

- Comprendre les aspects qui influencent la performance des programmes parallèles ;
- Utiliser les techniques actuelles pour mettre en oeuvre des applications parallèles de haute-performance sur des processeurs multicœurs, des accélérateurs graphiques et sur une grappe d'ordinateurs.

Au terme de ce cours, l'étudiant sera apte à :

- Appliquer les techniques de la programmation parallèle tout en sachant analyser leur impact ;
- Évaluer la performance d'une application parallèle et comparer son exécution avec celle de l'application séquentielle optimale correspondante.

Les séances de laboratoire permettent à l'étudiant de :

- Comprendre les différences entre la programmation sur monoprocesseur, sur processeur multicœur et sur multiprocesseur ;
- Maîtriser la coordination de fils multiples d'exécution pour réaliser un traitement parallèle commun ;
- Évaluer les impacts de la répartition des données et des communications de messages sur le traitement parallèle, tant en mémoire partagée qu'en mémoire répartie.

Objectifs	Correspondance avec les qualités du BCAPG
Aspects qui influencent la performance	1.2, 1.3
Apprendre les techniques de programmation parallèle	1.2, 1.3
Appliquer les techniques de programmation parallèle	2.1-2.5, 4.1-4.4
Évaluer la performance des applications parallèles	4.5, 5.2

Méthodes d'enseignement et d'apprentissage

Le cours présente un mélange équilibré de concepts théoriques et pratiques importants ainsi, que de descriptions de langages et librairies de programmation qui permettent de les mettre en oeuvre. L'étudiant est en premier lieu appelé à faire des lectures préparatoires avant chaque section de matière. Les points majeurs de chaque section sont revus rapidement en classe et les aspects plus critiques sont détaillés à l'aide d'exemples, d'exercices et d'études de cas. Les étudiants doivent ensuite mettre en oeuvre les concepts et technologies ainsi appris lors des travaux pratiques.

Les systèmes d'intelligence artificielle générative (e.g., ChatGPT) peuvent être considérés comme une source d'information potentiellement utile mais non fiable. Contrairement à un livre ou un article, cela ne peut pas être utilisé pour appuyer une affirmation. Comme pour un livre ou un article, on ne peut pas en copier le texte dans son travail, puisque ce serait du plagiat.

Évaluations

Nature	Nombre	Mode de réalisation (individuel/équipe)	Pondération	Date	QRD*
Travaux pratiques	3	seul ou à deux	3 x 10 = 30%	Voir horaire détaillé du cours	
Contrôle périodique	1	en classe	30%	Voir horaire détaillé du cours	
Examen final	1		40%	Voir horaire des examens finaux	

*Qualité Requise des Diplômés.es

Pour le contrôle périodique et l'examen final, aucune documentation n'est permise sauf un aide-mémoire, préparé par l'étudiant, qui consiste en une feuille de format lettre manuscrite recto verso. Le contrôle périodique se déroule pendant les heures de cours, la date est indiquée dans l'horaire détaillé. L'examen final se déroule pendant la période d'examens finaux organisée par le registrariat.

Les travaux pratiques sont individuels mais peuvent être réalisés en équipe de 1 ou 2 maximum. En équipe de 2, les co-équipiers auront les mêmes paramètres d'entrée pour le travail pratique et pourront donc réaliser conjointement les manipulations et la programmation correspondante. Il est possible de changer de co-équipier à chaque travail pratique. Cependant, chaque étudiant répond individuellement au questionnaire. Les co-équipiers, ayant les mêmes paramètres d'entrée, pourront fournir les mêmes réponses aux questions qui portent sur les résultats du travail pratique.

Condition de réussite du cours : Une moyenne pondérée de moins de 40% pour le contrôle périodique et l'examen final entraînera automatiquement un échec.

Qualité(s) du BCAPG évaluée(s) dans ce cours	Évaluation utilisée (ou portion d'une évaluation)	Niveau de développement de la qualité
1	toutes les évaluations	N3

Documentation

Manuel du cours :

- Norm Matloff, "Programming on Parallel Machines", University of California, Davis, <http://heather.cs.ucdavis.edu/matloff/158/PLN/ParProcBook.pdf>

Autres manuels de référence :

- J.L. Hennessy, D.A. Patterson, "Computer architecture : a quantitative approach", 6th edition, Morgan Kaufmann, ISBN 9780128119051, 2017.

- B. Chapman, G. Jost, G. and R. Pas, "Using OpenMP : portable shared memory parallel programming", Scientific and Engineering Computation, MIT Press, ISBN 9780262533027, <http://books.google.com/books?id=MeFLQSKmaJYC>, 2008.
- W. Gropp, E.L. Lusk and A. Skjellum, "Using MPI : Portable Parallel Programming with the Message Passing Interface", MIT Press, 1999.
- Y.C. Lin and L. Snyder, "Principles of parallel programming", Principles of Parallel Programming, Pearson/Addison Wesley, ISBN 9780321487902, <http://books.google.com/books?id=iYghAQAAIAAJ>, 2009.

Calendrier des rencontres

La liste des activités, cours et laboratoires, est comme suit. L'horaire exact et les liens vers la documentation pertinente sont donnés dans l'horaire détaillé du cours fourni sur Moodle.

Programme du cours

1. Introduction. Plan de cours, historique des systèmes parallèles, taxonomie générale et organisation des machines parallèles. Métriques : disponibilité, performance parallèle, accélération, efficacité. (3 heures)
2. Programmation parallèle en mémoire partagée avec les bibliothèques POSIX pthreads et Intel Threads Building Blocks. (3 heures)
3. Programmation structurée en mémoire partagée. Fils multiples d'exécution : mécanismes de synchronisation, implémentations, ordonnancement. Modèles de mémoire partagée (3 heures)
4. Hiérarchie de mémoire, mémoire partagée, conflit d'accès, machine symétrique à mémoire partagée. Protocole de cohérence des antémémoires. (3 heures)
5. Parallélisme en mémoire partagée : OpenMP. (3 heures)
6. Résumé de mi-session et contrôle périodique. (3 heures)
7. Programmation parallèle sur processeurs hétérogènes avec OpenCL. (3 heures)
8. Parallélisme de données : unités vectorielles, GPU. (3 heures)
9. Bibliothèque de passage de messages MPI. (3 heures)
10. Outils d'analyse de systèmes parallèles. (3 heures)
11. Algorithmie parallèle. (3 heures)
12. Infrastructure pour le calcul de haute performance : interfaces de connexion, communications et répartition des données, équilibrage de charge, virtualisation, aspects opérationnels de grands centres de données. (3 heures)
13. Revue de quelques architectures récentes et applications. Revision. (3 heures)

Laboratoires

1. Coordination de fils multiples d'exécution sur processeur multicoeur. Parallélisme par fils multiples d'exécution avec POSIX Pthreads et TBB (Thread Building Block). (6 heures)
2. Parallélisme et performance, en mémoire partagée et sur GPU, avec OpenMP et OpenCL. (6 heures)
3. Communications inter nodales et bibliothèque de passage de messages MPI. (6 heures)

Charge de travail**

Activité	Détails	Heures
Cours et contrôles	13 semaines de 3 heures	39,0
Laboratoires	6 séances de 3 heures	18,0
Examen final	2.5 heures pendant la périodes des examens finaux	2,5
Etude hebdomadaire	Lectures et étude 3 heures par semaine	39,0
Préparation des laboratoires	Pour chaque laboratoire préparation et réponse aux questions, 6 heures	18,0
Etude	Etude pour le contrôle périodique et l'examen final	18,5
Total		135,0

** Cette information est donnée à titre indicatif seulement. Certaines personnes peuvent avoir besoin d'investir plus ou moins de temps.

Fraude : règlement et sanctions

En tant que futur ingénieur, les étudiantes et les étudiants doivent adopter une attitude professionnelle exemplaire. L'article 8 des règlements des études au baccalauréat présente la position de Polytechnique Montréal à l'égard de la fraude sur la base du principe de tolérance zéro. Voici quelques éléments [tirés du règlement](#) en vigueur.

Par fraude, on entend toute forme de plagiat, de tricherie ou tout autre moyen illicite utilisé par une étudiante ou un étudiant pour obtenir un résultat d'évaluation non mérité ou pour influencer une décision relative à un dossier académique.

À titre d'exemple, constituent une fraude :

- l'utilisation totale ou partielle, littérale ou déguisée, d'une œuvre d'autrui, y compris tout extrait provenant d'un support électronique (d'une IA générative, par exemple), en le faisant passer pour sien ou sans indication de référence à l'occasion d'un examen, d'un travail ou de toute autre activité faisant l'objet d'une évaluation ;
- le non respect des consignes lors d'un contrôle, d'un examen, d'un travail ou de toute autre activité faisant l'objet d'une évaluation ;
- la sollicitation, l'offre ou l'échange d'information pendant un contrôle ou un examen ;
- la falsification de résultats d'une évaluation ou de tout document en faisant partie ;
- la possession ou l'utilisation pendant un contrôle ou un examen de tout document, matériel ou équipement non autorisé y compris la copie d'examen d'une autre personne étudiante.

Selon la gravité de l'infraction et l'existence de circonstances atténuantes ou aggravantes, l'étudiante ou l'étudiant peut se voir imposer une sanction correspondant à, entre autres, l'attribution de la cote 0 pour l'examen, le travail ou toute autre activité faisant l'objet d'une évaluation qui est en cause, l'attribution de la note F pour le cours en cause, l'attribution de la note F à tous les cours suivis au trimestre.

Dans le cas d'un travail en équipe, les étudiantes et les étudiants d'une même équipe de travail tel que reconnu par l'enseignant sont solidaires du matériel produit au nom de l'équipe. Si un membre de l'équipe produit et remet un travail au nom de l'équipe et qu'il s'avère que ce travail est frauduleux tous les membres de l'équipe sont susceptibles de recevoir une sanction à moins qu'il soit démontré sans ambiguïté que l'infraction est le fait d'un ou de quelques membres de l'équipe en particulier.

Ressources et services pour les étudiantes et étudiants

Le [Service aux étudiants](#) (SEP) est constitué de professionnels qualifiés et d'une Escouade étudiante, dédiés à favoriser votre bien-être et votre réussite à Polytechnique Montréal, autant sur le plan académique, personnel que social. Que ce soit sous la forme de rencontres individuelles, d'ateliers pratiques ou de programmes tels que le tutorat et le mentorat, les services offerts vous aideront à vous épanouir à votre plein potentiel durant vos études à Polytechnique Montréal. N'hésitez pas à les contacter. Vous avez tout à y gagner !

Le [Bureau d'intervention et de prévention des conflits et de la violence](#) (BIPCV), vous accueille, vous guide et vous soutient en matière de violence à caractère sexuel, harcèlement ou tout enjeu relatif au respect des personnes. Le BIPCV est un bureau indépendant, assurant un service respectant la confidentialité et une écoute sans jugement. Contactez-les : bipcv@polymtl.ca 514 340-4711 Poste 5151.

Qualités requises des diplômé.es par le BCAPG

Ce tableau présente les 12 qualités requises par le BCAPG. Vous trouverez ci-dessous les qualités qui seront développées dans ce cours selon les niveaux suivants : Introduction (IN), Approfondissement (AP) et Contrôle des Acquis (CA).

	Qualité	Déclinaison	IN	AP	CA
1	Connaissances en génie : connaissance, à un niveau universitaire, des mathématiques, des sciences naturelles et des notions fondamentales de l'ingénierie, ainsi qu'une spécialisation en génie propre au programme.	1.1 Démontrer des connaissances de base en mathématiques et en sciences			
		1.2 Démontrer des connaissances de base en génie			X
		1.3 Démontrer des connaissances avancées en génie			X
2	Analyse de problèmes : capacité d'utiliser les connaissances et les principes appropriés pour identifier, formuler, analyser et résoudre des problèmes d'ingénierie complexes et en arriver à des conclusions étayées.	2.1 Identifier et formuler un problème		X	
		2.2 Explorer des approches de résolution et planifier la démarche		X	
		2.3 Conceptualiser ou modéliser le problème		X	
		2.4 Produire des résultats		X	
		2.5 Valider ses résultats et recommander		X	
		2.6 Analyser l'incertitude, la sensibilité et les limites des approches			
3	Investigation : capacité d'étudier des problèmes complexes au moyen de méthodes mettant en jeu la réalisation d'expériences, l'analyse et l'interprétation des données et la synthèse de l'information afin de formuler des conclusions valides.	3.1 Formuler des hypothèses testables			
		3.2 Faire la revue de la documentation existante			
		3.3 Planifier et préparer des essais			
		3.4 Exécuter l'expérimentation			
		3.5 Analyser les résultats expérimentaux			
		3.6 Vérifier les hypothèses et argumenter			
4	Conception : capacité de concevoir des solutions à des problèmes d'ingénierie complexes et évolutifs et de concevoir des systèmes, des composants ou des processus qui répondent aux besoins spécifiés, tout en tenant compte des risques pour la santé et la sécurité publiques, des aspects législatifs et réglementaires, ainsi que des incidences économiques, environnementales, culturelles et sociales.	4.1 Identifier les besoins, requis et fonctions		X	
		4.2 Modéliser les éléments à concevoir		X	
		4.3 Procéder à la conception		X	
		4.4 Considérer les relations systémiques internes/externes		X	
		4.5 Évaluer et itérer		X	
		4.6 Innover dans sa conception			
5	Utilisation d'outils d'ingénierie : capacité de créer et de sélectionner des techniques, des ressources et des outils d'ingénierie modernes et de les appliquer, de les adapter et de les étendre à un éventail d'activités simples ou complexes, tout en comprenant les contraintes connexes.	5.1 Évaluer et sélectionner les outils appropriés			
		5.2 Appliquer un outil d'ingénierie		X	
		5.3 Créer ou adapter un outil			
		5.4 Intégrer des outils			
6	Travail individuel et en équipe : capacité de fonctionner efficacement en tant que membre ou chef d'équipe, de préférence dans un contexte de travail multidisciplinaire.	6.1 Établir et remplir son rôle dans l'équipe			
		6.2 Interagir en équipe			
		6.3 Contribuer au fonctionnement de l'équipe			
		6.4 Contribuer à l'évolution de l'équipe			
7	Communication : habileté à communiquer efficacement des concepts d'ingénierie complexes, au sein de la profession et au public en général, notamment lire, rédiger, parler et écouter, comprendre et rédiger de façon efficace des rapports et de la documentation pour la conception, ainsi qu'énoncer des directives claires et y donner suite.	7.1 Lire et rédiger de la documentation			
		7.2 Préparer et donner une présentation			
		7.3 Adapter son discours selon la situation			
8	Professionalisme : compréhension des rôles et des responsabilités de l'ingénieur dans la société, y compris le rôle essentiel de protection du public et l'intérêt public.	8.1 Reconnaître l'agir professionnel			
		8.2 Expliquer les rôles de l'ingénieur			
		8.3 Expliquer les responsabilités de l'ingénieur, y compris la protection du public			
9	Impact du génie sur la société et l'environnement : capacité à analyser les aspects sociaux et environnementaux des activités liées au génie, notamment comprendre les interactions du génie avec les aspects économiques et sociaux, la santé, la sécurité, les lois et la culture de la société; les incertitudes liées à la prévision de telles interactions; et les concepts de développement durable et de bonne gouvernance de l'environnement.	9.1 Connaître les principes du développement durable			
		9.2 Analyser l'impact socio-économique de son travail			
		9.3 Analyser l'impact de son travail sur l'environnement			
		9.4 Évaluer les risques et les incertitudes d'une situation			
10	Déontologie et équité : compréhension et respect des principes d'éthique et de responsabilité professionnelles, ainsi que d'équité.	10.1 Respecter le code de déontologie			
		10.2 Agir avec intégrité et de façon éthique			
		10.3 Traiter les situations de façon équitable			
11	Économie et gestion de projets : capacité à intégrer de façon appropriée les pratiques d'économie et d'affaires, comme la gestion de projets, des risques et du changement, dans l'exercice du génie, et de bien tenir compte des contraintes associées à ces pratiques.	11.1 Appliquer les principes économiques			
		11.2 Planifier et gérer un projet			
		11.3 Gérer les risques ou le changement			
12	Apprentissage continu : capacité à cerner et à combler ses propres besoins de formation dans un monde en constante évolution, et ce, de façon à maintenir sa compétence et à contribuer à l'avancement des connaissances.	12.1 Identifier et palier les lacunes dans ses savoirs et ses savoir-faire			
		12.2 Identifier et combler ses besoins de formation			
		12.3 Identifier les besoins d'avancement des connaissances			