

Plan de cours

INF3500 - CONCEPTION ET RÉALISATION DE SYSTEMES NUMÉRIQUES

Département Génies informatique & logiciel

Hiver 2024

Nombre de crédits : 3 (3 - 1.5 - 4.5)

www.moodle.polymtl.ca

Professeur responsable

Nom	Guy Bois
Bureau	M-5105
Téléphone	(514) 340-4711 – poste 5944
Courriel	guy.bois@polymtl.ca
Disponibilité	Sur rendez-vous
Salle	M-5105

Chargé de cours

Nom	André Baron
Courriel	andre.baron@polymtl.ca
Disponibilité	Sur rendez-vous
Salle	https://polymtl-ca.zoom.us/j/7307809866

Chargé de laboratoire

Nom	Nicolas Deloumeau
Courriel	nicolas.deloumeau@polymtl.ca

Description du cours

Vue d'ensemble des systèmes numériques. Options d'implémentation en logique fixe et programmable: coûts et performances. Technologies de logique programmable: ROM, PLA, PAL, CPLD et FPGA. Architecture et caractéristiques des FPGA. Flot de conception pour FPGA: modélisation, synthèse, placement, routage et programmation. Modélisation et vérification de circuits combinatoires et séquentiels avec un langage de description matérielle. Conception et implémentation de chemins des données et de fonctions arithmétiques. Vérification, simulation, synthèse et implémentation de systèmes numériques. Conception de processeurs à usage général. Performance: latence, débit et surface. Exemples d'applications.

Qualités du BCAPG

1 Connaissances en génie	2 Analyse de Problèmes	3 Investigation	4 Conception	5 Utilisation d'outils d'ing.	6 Travail ind. et en équipe
AP	AP	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
	AP	AP	AP		
COURS PREALABLES		COURS COREQUIS		COURS SUBSEQUENTS	
INF1600		–		INF3610 – INF8500 – INF8505	

Objectifs d'apprentissage

À la fin du cours, les étudiantes et étudiants seront en mesure de :

- Analyser et évaluer différentes options d'implémentation et les comparer en termes de coût, effort de design et performance.
- Concevoir et modéliser en VHDL des circuits combinatoires et séquentiels à partir d'une spécification.
- Préparer un plan de test et donner le code VHDL d'un banc d'essai pour stimuler et vérifier des circuits combinatoires et séquentiels.
- Analyser le schéma, le diagramme d'états ou le code VHDL d'un circuit séquentiel, en donner les deux autres représentations, et montrer son comportement dans le temps à l'aide d'un chronogramme.
- Concevoir et modéliser en VHDL des chemins des données et des circuits qui effectuent des calculs arithmétiques avec des nombres binaires ou décimaux à virgule fixe.
- Proposer un placement et un routage pour un module VHDL maximisant des métriques de performance.
- Analyser le chemin des données et l'unité de contrôle d'un processeur à usage général afin d'estimer les ressources requises, déterminer les limites opérationnelles du processeur et proposer des changements architecturaux pour implémenter de nouvelles opérations.
- Analyser un système numérique pour identifier le chemin critique et en donner la fréquence maximale d'horloge.
- Adopter de bonnes pratiques de conception d'un circuit pour atteindre les spécifications temporelles et éviter des problèmes de synchronisation.
- Analyser un circuit numérique pour en mesurer ou estimer le débit, la latence, et la surface. Modifier un circuit existant, ou en concevoir un nouveau, en choisissant un compromis acceptable entre la latence, le débit, et le coût.
- Utiliser des outils de conception pour la synthèse et l'implémentation de circuits numériques, et utiliser des planchettes de développement à FPGA.

Méthodes d'enseignement et d'apprentissage

Les périodes de cours et de laboratoires auront lieu en présence.

Le cours sera donné selon le modèle de la classe **inversée**:

La présentation de la matière se fait en dehors des heures de cours par le visionnement de vidéos, la consultation de diapositives et d'autres ressources, et la réalisation de devoirs.

Un devoir en lien avec la matière est donné à chaque semaine, et doit être complété avant la période de cours.

La matière est ensuite approfondie lors de la période de cours par le biais d'activités d'apprentissage actif. Cela inclut entre autres la réalisation d'exercices d'analyse et de conception, l'études de cas représentatifs et des discussions modérées par le professeur.

Les laboratoires renforcent la matière vue en classe en confrontant les étudiants à des problèmes réels.

Les communications du cours et des labos se feront principalement par le serveur Discord du cours (<https://discord.gg/hqexVn22BF>).

Évaluations

Nature	Nombre	Mode de réalisation	Pondération	Date
Devoirs	11	Individuelle	10%	Hebdomadaire
Laboratoires	6	Équipe	20%	Aux deux semaines
Contrôle périodique #1	1	Individuelle	20%	29 février 2024
Contrôle périodique #2	1	Individuelle	0%	11 avril 2024
Examen final	1	Individuelle	50%	Période examens finaux

Devoirs

Des devoirs Moodle sont assignés à chaque semaine et devront être complétés avant 20:00 la veille du cours. Les notes de devoirs sont individuelles, mais il est permis et encouragé de s'inspirer du travail de collègues et de n'importe quelle source. Toutes les collaborations et les sources externes doivent être explicitement déclarées. Les dix meilleures notes des 11 devoirs seront comptés.

Laboratoires

Les laboratoires sont faits par équipes de deux et la note est la même pour toute l'équipe. Il est permis et encouragé de s'inspirer du travail de collègues dans d'autres équipes et de n'importe quelle source. Toutes les collaborations et les sources externes doivent être explicitement déclarées.

Les travaux remis en retard seront pénalisés de 20% par jour ouvrable de retard, sauf mention contraire dans l'énoncé du travail. Tous les travaux qui n'auront pas été remis après le début de l'examen final se verront assigner la note 0.

Contrôle périodique

Le contrôle périodique #1 est un examen individuel. Il s'agit d'un examen sur papier, d'une durée de 90 minutes (1.5h) portant sur la matière des semaines 1, 2, 3, 4, 5 et 6 et laboratoires 1, 2 et 3. Vous ne pouvez avoir sur votre table que crayons, calculatrice et une feuille de note format 8.5" x 11" ou A4 recto-verso (manuscrite ou imprimée). Les appareils mobiles et ordinateurs sont interdits.

Le contrôle périodique #2 est un examen individuel formatif (pondération de 0 %), qui se tiendra lors de la dernière période de cours du trimestre. Il s'agit d'un examen sur papier, d'une durée de 90 minutes (1h) portant sur la matière des semaines 7, 8, 9, 10 et 11 et laboratoires 4, 5 et 6.

Examen final

L'examen final est un examen individuel. Il s'agit d'un examen sur papier, d'une durée de 150 minutes (2.5h) portant sur la toute la matière du trimestre (examen récapitulatif, cours et laboratoires). Vous ne pouvez avoir sur votre table que crayons, calculatrice et une feuille de note format 8.5" x 11" ou A4 recto-verso (manuscrite ou imprimée). Les appareils mobiles et ordinateurs sont interdits.

Reprise du cours

Tout étudiant qui reprend le cours doit se soumettre de nouveau à toutes les épreuves d'évaluation. En clair, ceci signifie que les contrôles et les travaux pratiques du cours échoué ne peuvent pas être crédités sous aucune considération en partie ou en totalité.

Note : Pour obtenir une note de passage au cours (D ou mieux), une condition nécessaire mais pas suffisante est d'obtenir au moins 35 points sur 70 à la somme des résultats du contrôle périodique #1 et de l'examen final.

Langue d'enseignement

Le français est la langue d'usage dans le cours.

La majorité du matériel pédagogique est disponible en français. Cependant, beaucoup de matériel de référence n'est disponible qu'en anglais, en particulier pour les laboratoires. Une bonne connaissance de l'anglais écrit est nécessaire afin de pouvoir étudier, comprendre et utiliser ce matériel.

Tous les travaux peuvent être remis en français ou en anglais. Les questions d'examen seront rédigées en français. Les réponses pourront être données en français ou en anglais.

Politique sur l'assiduité

La participation aux périodes de cours est essentielle. Le matériel de préparation aux cours et les devoirs ne sont pas suffisants, par eux-mêmes, pour atteindre les objectifs d'apprentissage. Les exercices effectués lors des périodes de cours sont à un niveau de complexité supérieur à celui des devoirs. Les questions des contrôles et de l'examen final sont au niveau des exercices effectués lors des périodes de cours.

La participation aux périodes de laboratoire est essentielle. La matière des laboratoires est sujette à examen. Les chargés de laboratoires peuvent communiquer de l'information, séance tenante, qui n'est pas nécessairement disponible autrement.

Toute absence à une activité d'évaluation doit être motivée au Registrariat. Les étudiants peuvent consulter à ce sujet les règlements des études du baccalauréat en ingénierie.

En cas d'absence motivée au contrôle périodique, sa pondération sera de 0% et la pondération de l'examen final sera augmentée de 20%. En conséquence, dans le cas d'une absence motivée à un contrôle, le final comptera pour 70%.

En cas d'absence motivée à l'examen final, un examen différé oral ou écrit sera tenu dans la période prévue à cette fin et selon les règlements des études.

Matériel et logiciels obligatoires

Chaque étudiant/e doit avoir en sa possession au minimum une carte de développement Digilent Basys 3. Cette carte sera utilisée dans les laboratoires et pour les différents exemples pendant la session. Les étudiant/es doivent se procurer la carte auprès du manufacturier ou d'autres fournisseurs. La carte ne sera pas vendue à la Coopoly ni ailleurs à Polytechnique. Les étudiant/es qui le désirent peuvent opter plutôt pour une carte Digilent Nexys A7. Cette carte contient, en plus des ressources de la Basys 3, des interfaces plus poussées qui pourraient être intéressantes pour des projets personnels éventuels même si elles ne seront pas essentielles pour les laboratoires du cours.

Chaque étudiant/e doit installer, sur son ordinateur personnel, les outils de conception nécessaires à la réalisation des laboratoires. Ces outils incluent :

- Un éditeur et un simulateur de VHDL, par exemple Active-HDL, en version étudiante, de la compagnie Aldec. Tout éditeur de texte suffit pour entrer du code VHDL, et il existe des simulateurs libres pour la simulation de VHDL, dont GHDL.
- La version la plus récente des outils d'implémentation de la suite Vivado ML Standard, de la compagnie Xilinx. Il faut prévoir plusieurs heures pour le téléchargement et l'installation de ces outils, et de l'ordre de 25 Go d'espace.

Calendrier

Horaire des cours

Avant chaque cours, l'étudiant doit revoir la matière du thème du cours par le visionnement de vidéos, la consultation de diapositives et d'autres ressources, et par la réalisation de devoirs. Un devoir en lien avec le thème du cours est donné à chaque semaine. Celui-ci sera revu en début de cours. La matière est ensuite approfondie lors de la période de cours par le biais d'activités d'apprentissage actif, notamment par la réalisation d'exercices d'analyse et de conception.

Date	Description
11 janvier	Thème #0 : Rappels 0001 Rappel : Logique numérique combinatoire
18 janvier	Thème #1 : Introduction 0101 Vue d'ensemble des systèmes numériques 0102 Options d'implémentation des solutions matérielles 0103 Flot de conception de circuits numériques 0104 Introduction à VHDL Remise du Devoir #1 la veille avant 2200
25 janvier	Thème #2 : Technologies de logique programmable 0201 Circuits intégrés numériques 0202 Mémoires PROM 0203 PLA, PAL, GAL et CPLD 0204 Les FPGA: structure, fonctionnement et utilisation Remise du Devoir #2 la veille avant 2200
1 février	Thème #3 : Modélisation et vérification de circuits combinatoires 0301 Description d'un circuit combinatoire en VHDL 0302 Concepts intermédiaires de VHDL 0303 Banc d'essai pour un circuit combinatoire 0304 Synthèse d'un circuit combinatoire à partir de sa description en VHDL Remise du Devoir #3 la veille avant 2200
8 février	Thème #4 : Modélisation et vérification de circuits séquentiels 0401 Composantes séquentielles pour circuits numériques 0402 VHDL pour circuits séquentiels 0403 Synthèse d'un circuit séquentiel à partir de sa description en VHDL 0404 Modélisation de machines à états 0405 Analyse de machines à états et description en VHDL 0406 Banc d'essai pour un circuit séquentiel Remise du Devoir #4 la veille avant 2200

15 février	<p>Thème #5 : Conception de chemins des données</p> <p>0501 Processeurs et chemins de données 0502 Modélisation VHDL d'un chemin des données 0503 Représentation binaire de nombres entiers et opérations arithmétiques de base 0504 Arithmétique entière en VHDL 0505 Décodeurs et encodeurs</p> <p>Remise du Devoir #5 la veille avant 2200</p>
22 février	<p>Thème #6 : Conception et implémentation de fonctions arithmétiques sur FPGA</p> <p>0601 Synthèse et implémentation de circuits arithmétiques sur FPGA 0602 Représentation et opérations sur les nombres binaires fractionnaires à virgule fixe 0604 Représentation et opérations sur des nombres décimaux à virgule fixe 0605 Implémentation de la division sur FPGA 0610 Exemple: l'algorithme CORDIC</p> <p>Remise du Devoir #6 la veille avant 2200</p>
29 février	Contrôle Périodique #1
7 mars	Relâche
14 mars	<p>Thème #7 : Vérification de systèmes numériques</p> <p>0701 Principes généraux 0702 Tests exhaustifs 0703 Tests de boîte noire 0704 Tests de boîte blanche 0710 Entrées et sorties par fichiers</p> <p>Remise du Devoir #7 la veille avant 2200</p> <p>Thème #8 : Simulation, synthèse et implémentation</p> <p>0801 Simulation d'un modèle VHDL 0802 Signaux, variables et leurs valeurs dans le temps 0803 Synthèse d'un modèle VHDL 0804 Implémentation d'un modèle VHDL</p> <p>Remise du Devoir #8 la veille avant 2200</p>
21 mars	<p>Thème #9 : Conception de processeurs à usage général</p> <p>0901 Principes généraux 0902 Chemin des données 0903 Modélisation VHDL du chemin des données 0904 Encodage du jeu d'instructions 0905 Modélisation VHDL de l'unité de contrôle</p> <p>Remise du Devoir #9 la veille avant 2200</p>
28 mars	<p>Thème #10 : Performance: le temps</p> <p>1001 Le facteur temps, introduction 1002 Temps de propagation des signaux dans un circuit 1003 Chemin critique et fréquence maximale d'horloge 1004 Le problème du déphasage d'horloge</p> <p>Remise du Devoir #10 la veille avant 2200</p>

4 avril	Thème #11 : Performance: latence, débit et surface 1101 Latence, débit et surface : introduction 1102 Augmenter le débit 1103 La technique du pipeline 1104 Analyse détaillée du pipeline 1105 Exemple du filtre audio: trois versions 1106 Bonnes pratiques de conception FPGA Remise du Devoir #11 la veille avant 2200
11 avril	Thème #12 : Revue générale Contrôle Périodique #2 (Formatif) Évaluation finale du cours Préparation à l'examen final

Horaire des laboratoires

Date	Groupe	Description
10 janvier	-	-
17 janvier	-	-
24 janvier	B1	Labo 1 : Flot de conception de circuits numériques
31 janvier	-	-
7 février	B1	Labo 2 : Modules combinatoires, bancs d'essai et ressources du FPGA
14 février	-	-
21 février	B1	Labo 3 : Circuits séquentiels
28 février	-	-
6 mars	-	Relâche
13 mars	B1	Labo 4 : Conception de chemins des données
20 mars	-	-
27 mars	B1	Labo 5 : Communications
3 avril	-	-
10 avril	B1	Labo 6 : Processeurs à usage général

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 la personne enseignante 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. En savoir plus sur leurs services et ressources :

Qualités requises des diplômé.es par le BCAPG

* : IN = introduction, AP= approfondissement et CA=contrôle des acquis

	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	
		1.3 Démontrer des connaissances avancées en génie	
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	
		2.2 Explorer des approches de résolution et planifier la démarche	
		2.3 Conceptualiser ou modéliser le problème	
		2.4 Produire des résultats	
		2.5 Valider ses résultats et recommander	
		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	
		4.2 Modéliser les éléments à concevoir	
		4.3 Procéder à la conception	
		4.4 Considérer les relations systémiques internes/externes	
		4.5 Évaluer et itérer	
		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	
		5.3 Créer ou adapter un outil	
		5.4 Intégrer des outils	
6	Travail individuel et en équipe : capacité de fonctionner efficacement	6.1 Établir et remplir son rôle dans l'équipe	
		6.2 Interagir en équipe	

	Qualité	Déclinaison	IN, AP, CA (*)
	en tant que membre ou chef d'équipe, de préférence dans un contexte de travail multidisciplinaire.	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		12.1 Identifier et palier les lacunes dans ses savoirs et ses savoir-faire	

	Qualité	Déclinaison	IN, AP, CA (*)
	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.	12.2 Identifier et combler ses besoins de formation	
		12.3 Identifier les besoins d'avancement des connaissances	