

Plan de cours

MTH8107 - Mathématiques de l'apprentissage profond

Département de mathématiques et de génie industriel

Automne 2023

3 crédits

3 - 0 - 6

www.moodle.polymtl.ca

Coordonnées et disponibilités

Nom	Steven Dufour
Bureau	A-520.14
Téléphone	(514) 340-4711 - 4410
Courriel	steven.dufour@polymtl.ca
Disponibilité	Sur rendez-vous
Salle	B-530.2

Description du cours

Présentation des principales méthodes mathématiques à la base des algorithmes d'apprentissage profond. Rappels et notions importantes d'algèbre linéaire utilisées en science des données. Matrices de grande taille et algèbre linéaire numérique. Matrices de faible rang et acquisition comprimée. Matrices spéciales: transformées de Fourier discrètes; graphes. Rappels et notions importantes de probabilités et de statistique pour les problèmes d'apprentissage. Optimisation. Apprentissage à l'aide de données. Application des notions étudiées pour des problèmes d'apprentissage profond.

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
CA – N4					
7 Communication	8 Professionnalisme	9 Impacts soc. et environn.	10 Déontologie et équité	11 Économie et gestion de projets	12 Apprentissage continu

COURS PREALABLES	COURS COREQUIS	COURS SUBSEQUENTS
70 crédits pour les étudiants au baccalauréat	Aucun	Aucun

Objectifs d'apprentissage

Objectifs	Correspondance avec les qualités du BCAPG
Décrire et utiliser les principales notions d'algèbre linéaire utilisées en science des données.	Qualité 1 (CA – N4)
Concevoir des algorithmes numériques pour traiter des données d'apprentissage sous forme de matrices de grande taille à l'aide de méthodes d'algèbre linéaire numérique.	Qualité 1 (CA – N4)
Reconnaître les matrices de faible rang et les matrices incomplètes rencontrées en science des données et appliquer les algorithmes de complétion matricielle et d'acquisition comprimée à ces matrices.	Qualité 1 (CA – N4)
Expliquer le lien entre les problèmes invariants en translation, les transformées de Fourier discrètes et les réseaux de neurones convolutifs, ainsi que le lien entre la théorie des graphes et les modèles d'apprentissage graphiques.	Qualité 1 (CA – N4)
Analyser les sorties produites par un modèle d'apprentissage profond à l'aide de notions de probabilités et de statistique.	Qualité 1 (CA – N4)
Estimer les paramètres d'un modèle d'apprentissage profond à l'aide de méthodes de gradient stochastiques.	Qualité 1 (CA – N4)
Décrire, à l'aide des diverses méthodes mathématiques étudiées, la structure mathématique des réseaux de neurones profonds et convolutifs pour la conception d'algorithmes d'apprentissage profond.	Qualité 1 (CA – N4)

Méthodes d'enseignement et d'apprentissage

¶ Cf. annexe pour les détails.

Évaluation

NATURE	NOMBRE	Mode de réalisation (Individuel/équipe)	PONDÉRATION	DATE	QRD*
Devoirs	3 ou 4	Individuel ou en équipe de 2	60%	À déterminer	1
Examen final	1	Individuel	40%	Période des finaux	1

* Qualité Requisite des Diplômés

Cf. annexe pour les détails.

Critères d'évaluation

Cf. annexe pour les détails.

Documentation

Linear Algebra and Learning from Data, Gilbert Strang, Wellesley-Cambridge Press.

Calendrier des rencontres

Cf. annexe pour les détails.

Charge de travail***

Ce cours devrait vous demander environ 135h de travail. Voici une estimation de la répartition de ces heures :

Activités	Nombre d'heures estimées
Heure de présence en classe : 13 périodes de 2 heures	26 heures
Examen final	2,5 heures
Étude personnelle et devoirs	106,5 heures
Total	135 heures

*** 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 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 diplômés 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	CA
		1.2 Démontrer des connaissances de base en génie	CA
		1.3 Démontrer des connaissances avancées en génie	CA
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 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		8.1 Reconnaître l'agir professionnel	

	Qualité	Déclinaison	IN, AP, CA (*)
	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.	8.2 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	

MATHÉMATIQUES DE L'APPRENTISSAGE PROFOND^{†,‡}
MTH8107

Automne 2023

Professeur : Steven Dufour
Courriel : steven.dufour@polymtl.ca
Site Internet : moodle.polymtl.ca

Fonctionnement du cours en mode hybride

MTH8107 est un cours destiné aux étudiant(e)s des cycles supérieurs, ainsi qu'aux étudiant(e)s en fin de baccalauréat à la recherche d'un cours d'orientation, qui veulent mieux comprendre les méthodes mathématiques à la base des modèles d'apprentissage profond utilisés en intelligence artificielle. Le cours est basé sur le manuel « [Linear Algebra and Learning from Data](#) » de Gilbert Strang du MIT, publié en 2019.

Le cours sera offert en mode hybride. Ceci signifie qu'une partie des apprentissages se fera en mode asynchrone, à l'aide de lectures et de capsules vidéos préenregistrées en lien avec les différents thèmes du cours. Le reste des activités se dérouleront chaque semaine, en classe. Elles serviront à présenter les différents thèmes du cours. Elles vous permettront aussi de poser des questions et de participer à des échanges en lien avec les thèmes du cours et les devoirs. J'en profiterai pour préciser certains concepts étudiés. Ces séances se dérouleront les mardis à partir de 12h45, jusqu'à ce que nous ayons épuisé les sujets de discussion de la semaine, soit vers 14h30 au plus tard. Puisqu'il est impossible de couvrir en classe ou dans des capsules vidéos tout ce que le manuel de référence contient, sa lecture est donc essentielle.

Des devoirs vous permettront d'appliquer les notions étudiées dans le cadre du cours, pour faire l'étude de problèmes appliqués à l'aide du langage de programmation [Julia](#). Nous aurons un examen final en fin de session.

Les canaux de communication

Le [site internet](#) du cours fait partie intégrante du plan de cours. Vous êtes tenu(e)s de le consulter pour prendre connaissance du contenu du cours, des références, des énoncés de devoirs, des dates importantes ou de toute autre information pertinente.

Vous pouvez me joindre par [courrier électronique](#), soit pour me poser une question, ou pour prendre rendez-vous pour une rencontre. Mais il sera plus simple et rapide de me poser vos questions en classe.

Le manuel de référence

Le manuel de référence obligatoire pour ce cours est « [Linear Algebra and Learning from Data](#) » du professeur Gilbert Strang du Massachusetts Institute of Technology (MIT),

[†]Lorsque ce document est consulté en ligne à l'aide du logiciel [Acrobat](#), les hyperliens dirigeront votre fureteur vers les documents pertinents.

[‡]Ce plan de cours est sujet à changements. Ceux-ci seront annoncés sur le [site Internet](#) du cours.

publié en 2019. Ne connaissant pas le nombre d'étudiant(e)s intéressé(e)s par le cours, je n'ai pas demandé à la COOP de commander le manuel. Vous devrez donc le commander directement auprès de [l'auteur](#), de [SIAM](#) (avec un bon rabais si vous êtes membres), ou sur Amazon (l'option la plus rapide).

Les devoirs

Il y aura trois ou quatre devoirs, dont la pondération totale comptera pour *60% de votre note finale*. Les devoirs ont d'abord pour objectif de vous permettre de vous assurer que vous avez bien assimilé les notions étudiées. Ils vous permettront aussi d'acquérir une expérience « empirique » avec les méthodes étudiées. Vous pourrez travailler seul(e) ou en équipe de deux. Nous utiliserons le langage de programmation [Julia](#) pour expérimenter avec ces méthodes. Julia est un langage récent, conçu spécifiquement pour la programmation de problèmes à teneur scientifique et mathématique. Il offre une alternative intéressante pour ce type de problèmes lorsqu'on le compare à des langages populaires comme Python ou Matlab. Le cours vous offrira donc l'opportunité d'en faire l'apprentissage, si ce n'est pas déjà fait.

Les énoncés seront disponibles sur le site Moodle du cours. Chaque devoir devra être obligatoirement déposé sur le site Moodle du cours *en un seul fichier PDF lisible*. Vos devoirs corrigés vous seront aussi rendus via le site Moodle du cours.

L'examen final

Un examen final, comptant pour *40% de votre note finale*, aura lieu en fin de session, en présentiel. La date reste à être déterminée. S'il n'était pas possible de tenir l'examen en présentiel pour des raisons hors de notre contrôle, nous pourrions changer la pondération des évaluations pour la reporter à *100%* sur les devoirs.