

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTREAL
Département de génie informatique et génie logiciel

INF8225 : Intelligence artificielle : techniques probabilistes et d'apprentissage
Plan de Cours – Hiver 2025

Professeur : Christopher Pal
Bureau : M 3408
Courriel : christopher.pal@polymtl.ca
Téléphone : 514.340.5121 poste 7174

1. OBJECTIFS DU COURS

À la fin du cours, l'étudiant sera comprendre : les méthodes probabilistes d'intelligence artificielle. Concepts fondamentaux et avancés en apprentissage automatique. Modèles probabilistes : réseaux bayésiens, modèles de Markov cachés. Inférence. L'approche de maximum de vraisemblance et les fonctions de perte. Concepts avancés en probabilité et les éléments clés de l'algèbre linéaire. Algorithmes d'apprentissage automatique, classificateurs simples, complexes et structurés. Théorie de la décision statistique et des réseaux de décision. L'apprentissage profond « deep learning ». Réseaux neuronaux profonds, régularisation, fonctions d'activation, rétropropagation et des graphes de calculs. Descente de gradient stochastique, les taux d'apprentissage, « dropout », normalisation par lot. Les architectures clés de réseau incluant : les réseaux de neurones convolutifs, les autoencodeurs, les réseaux neuronaux récurrents, les réseaux de longue mémoire à court terme « LSTM ». Modèles stochastiques et déterministes mixtes. Apprentissage par renforcement profond. Applications au traitement probabiliste de la langue et de la perception visuelle.

Le cours vise les objectifs suivants:

- présenter des approches capables de représenter des connaissances et d'effectuer un raisonnement en environnements incertains
- présenter les méthodes utilisées pour créer des systèmes intelligents capables d'agir dans l'incertitude
- présenter les approches principales d'apprentissage machine
- illustrer la conception et l'implantation de systèmes intelligents basés sur ces approches, tels que : les systèmes experts, la recherche d'informations, le traitement automatique de la langue naturelle et les systèmes utilisant la vision par ordinateur

À la fin du cours, l'étudiant sera en mesure :

- de déterminer, pour un problème donné, si une approche d'intelligence artificielle sous incertitude peut être utilisée et est appropriée pour la conception et l'implantation de la solution;
- de concevoir des systèmes basés sur le raisonnement probabiliste et l'apprentissage machine;
- mettre en oeuvre des algorithmes clés pour l'apprentissage par la rétropropagation [SEP]

- produire rapidement les prototypes et des architectures de réseaux complexes utilisant des outils logiciels de haut niveau;
- savoir comment identifier les types de problèmes qui conviennent aux solutions d'apprentissage profond et préciser les étapes d'ingénierie nécessaires pour la conception d'une solution utilisant l'apprentissage profond;
- comprendre comment résoudre les problèmes de reconnaissance visuelle et de traitement du langage avec l'apprentissage profond
- de participer aux travaux d'une équipe de développement de systèmes intelligents.

Après avoir suivi les laboratoires, l'étudiant sera en mesure :

- de modéliser des problèmes à l'aide des méthodes d'intelligence artificielle sous incertitude ;
- de mettre en application les concepts d'inférence probabiliste et d'apprentissage machine;
- permet aux étudiants de comprendre l'algorithme de base de la rétropropagation et les problèmes associés pour l'optimisation des réseaux profonds utilisant des quantités massives de données;

Les travaux pratiques et le projet dans le cours :

- donne aux étudiants la capacité d'utiliser des logiciels de haut niveau tels que PyTorch, ou Theano et Lasagne ou Tensorflow et Keras afin de créer et former rapidement des architectures de réseau complexes;
- focalisent sur les applications, la conception et la mise en oeuvre des systèmes pour la vision par ordinateur et de compréhension du langage naturel
- donne aux étudiants l'expérience de la conception d'une solution d'apprentissage profond à un problème pertinent pour leurs propres champs d'intérêt et orientations dans la recherche.

2. MÉTHODE PÉDAGOGIQUE

C'est un cours de 3 heures de cours par semaine et 3 heures de travaux pratiques par deux semaines durant un trimestre.

3. CONTRÔLES PÉDAGOGIQUES

Il y aura un contrôle périodique, un examen final, trois travaux dirigés et un projet. La pondération pour chacun de ces contrôles est la suivante :

Nature du contrôle	Nombre	Pondération
1. Travaux pratiques	4	
1 TP1 (individuel)		10 %
2 TP2 (présentation d'un article de recherche - groupe de 4)		10 %
3 TP3 (individuel)		10 %
4 Projet (groupe de 2-4)		25 %
2. Contrôle périodique	1	20 %
3. Examen final	1	25 %

(Note : En cas d'absence motivée à un contrôle périodique, la pondération sera reportée sur l'examen final.)

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

4. TRAVAUX DIRIGÉS

Toujours dans local L-4712.

Groupe	Jour	Heure	Enseignant(e)(s)
1	Mercredi	15h45 (B1)	Anthony Gosselin (50% chargé et 50% répétiteur) Maryam Alipourhajiagha (50% chargé et 50% répétiteur)
2	Mercredi	15h45 (B2)	Samy Labassi (chargé) Alexis Brissard (répétiteur)
3	Mercredi	11h30 (B1)	Abel Salmona (chargé) TBD (répétiteur)

Période	Date	Activité	Salle
1	15 et 22 janvier	Énoncé du TP1, <i>disponible le 15 janvier</i>	L-4712
2	29 janvier et 5 février	TP2 – Préparation de présentations d'articles de recherche, <i>énoncé disponible avant le 29 janvier</i>	L-4712
3	12 et 19 février	Énoncé du TP3, <i>disponible le 12 février</i>	L-4712
4	26 février et 12 mars	Énoncé du projet, <i>disponible le 26 février</i> , et discussion avec les chargés de laboratoires concernant les projets	L-4712
5	19 et 26 mars	Travailler sur des projets et (possiblement) quelques présentations d'articles de recherche	L-4712
6	2 mars, et 9 avril	Travailler sur des projets et (possiblement) quelques présentations d'articles de recherche	L-4712

5. ORGANISATION DU COURS

Thème

Nombre d'heures

Date

1. Présentation du cours, incertitude et concepts de base en utilisant la probabilité et la règle de Bayes. L'estimation du maximum de vraisemblance, fonctions de perte, éléments fondamentaux de probabilité, algèbre linéaire et optimisation. Introduction à l'apprentissage automatique et aux méthodes d'optimisation.

3 10 janvier

TP1 : disponible le 16 janvier

- | | | |
|--|---|---------------|
| 2. Introduction aux modèles de probabilité tels que des réseaux bayésiens. Inférence avec les modèles probabilistes graphiques. Modèles de probabilité conditionnelle. La descente de gradient stochastique, les taux d'apprentissage. | 3 | 17
janvier |
| 3. « Deep Learning » Réseaux neuronaux (profonds), pertes et régularisation, fonctions d'activation, optimisation par rétropropagation et graphes de calcul. L'apprentissage de réseaux profonds et leur évaluation, « dropout », la normalisation par lot, l'initialisation des paramètres, l'augmentation des données. | 3 | 24
janvier |

TP2 : disponible le 29 janvier

- | | | |
|---|---|---------------|
| 4. « Deep Learning » Réseaux de neurones convolutifs « CNNs », les mathématiques sous-jacentes et l'importance des implémentations GPU. Les autoencoders. | 3 | 31
janvier |
| 5. Modèles temporels et séquentiels probabilistes. Modèles de Markov cachés et réseaux bayésiens dynamiques. Champs aléatoires de Markov et généralisations de ces modèles avec les modèles probabilistes graphiques. Modèles génératifs vs modèles discriminatifs. <i>TP3 : disponible le 12 février</i> | 3 | 7 février |

- | | | |
|---|---|---------------|
| 6. « Deep Learning » : les réseaux récurrents, les approches stochastiques. Les réseaux neuronaux récurrents « RNNs », les réseaux à mémoire à long-court terme « LSTM », les architectures codeur-décodeur et les transformeurs. | 3 | 14
février |
| 7. De l'apprentissage de modèles probabilistes simples à variables latentes aux modèles génératifs modernes de haute qualité : VAEs, GANs et diffusion. <i>Énoncé du projet : 26 février</i> | 3 | 21
février |

Contrôle périodique

3
28
février
7 mars

Période de relâche /

- | | | |
|--|---|----------|
| 8. Prise de décisions complexes. Processus de décision markovien et graphes de décision. Apprentissage par renforcement profond, ex. « Deep Q-learning » | 3 | 14 mars |
| 9. Présentation des articles de recherche et projets - Discussions sur les travaux de recherche récents et à fort impact | 3 | 21 mars |
| 10. Présentation des articles de recherche et projets - Discussions sur les travaux de recherche récents et à fort impact | 3 | 28 mars |
| 11. Présentation des articles de recherche et projets - Discussions sur les travaux de recherche récents et à fort impact | 3 | 4 avril |
| 12. Présentations de projets par affiches dans l'atrium | 3 | 11 avril |

HIVER 2025

Calendrier de l'alternance des laboratoires du baccalauréat

DIMANCHE	LUNDI	MARDI	MERCREDI	JEUDI	VENDREDI	SAMEDI
5	6	7	8	9	10	11
JANVIER	Accueil des nouveaux étudiants	Accueil des nouveaux étudiants au bacc	Début des cours			
			B1	B1	B1	
12	13	14	15	16	17	18
	B1	B1	B2	B2	B2	
19	20	21	22	23	24	25
	B2	B2	B1	B1	B1	
26	27	28	29	30	31	1
	B1	B1	B2	B2	B2	
FÉVRIER	2	3	4	5	6	7
	B2	B2	B1	B1	B1	8
9	10	11	12	13	14	15
	B1	B1	B2	B2	B2	
16	17	18	19	20	21	22
	B2	B2	B1	B1	B1	
23	24	25	26	27	28	1
	B1	B1	B2	B2	B2	
MARS	2	3	4	5	6	7
	PÉRIODE DE RELÂCHE					8
9	10	11	12	12	14	15
	B2	B2	B1	B1	B1	
16	17	18	19	20	21	22
	B1	B1	B2	B2	B2	
23	24	25	26	27	28	29
	B2	B2	B1	B1	B1	
AVRIL	30	31	1	2	3	4
	B1	B1	B2	B2	B2	5
6	7	8	9	10	11	12
	B2	B2	B1	B1	B1	
13	14	15	16	17	18	19
	B1	B1	Projets intégrateurs	Projets intégrateurs		
20	21	22	23	24	25	26
		Début période d'examens finaux				
MAI	27	28	29	30	1	2
					2	3

Les codes B1 et B2 réfèrent aux laboratoires aux deux semaines : B1 = journées impaires, B2 = journées paires.

6. FRAUDE ET PLAGIAT

Les règlements concernant la fraude et le plagiat seront appliqués de façon rigoureuse. J'invite tous les étudiants à lire et comprendre les articles de l'annuaire qui traitent de ce sujet.

7. MANUELS DU COURS

Data Mining : Practical Machine Learning (4th edition) Ian Witten, Eibe Frank, Mark Hall and Christopher Pal, 2016.

Deep learning. Goodfellow, Ian, Yoshua Bengio, and Aaron Courville. MIT press, 2016.

La version traduite de: Stuart Russell, Peter Norvig, Artificial Intelligence. A Modern Approach, Third Edition. Prentice Hall, 2010.

Les articles de recherche disponible sur le web et dans le « Google sheet », associé avec les présentations en classe pour le TP2.

8. RÉFÉRENCES

Chris Bishop and Hugh Bishop. Deep Learning Foundations and Concepts. Springer, 2023.
<https://www.bishopbook.com/>

Kevin Patrick Murphy. Machine Learning: a Probabilistic Perspective. MIT Press, 2022.
<https://probml.github.io/pml-book/book1.html>

Dive into Deep Learning. Aston Zhang, Zachary C. Lipton, Mu Li, and Alexander J. Smola. (Interactive deep learning book with code, math, and discussions), d2l.ai.

Richard Szeliski. Computer Vision : Algorithms and Applications. Springer, 2022. 2nd ed.
<http://szeliski.org/Book/>

Christopher M. Bishop. Pattern Recognition and Machine Learning. Springer, 2006.
<http://research.microsoft.com/en-us/um/people/cmbishop/prml/>