

## Informations sur le cours

Titre : Traitement et analyse d'images  
Numéro : ELE8812  
Horaire : cours : Jeudi 13h45 à 16h30  
labos : Lundi 8:30 à 11:30  
Professeur : Eva Alonso Ortiz (L-5614), 340-4711 ext. 4366, [eva.alonso-ortiz@polymtl.ca](mailto:eva.alonso-ortiz@polymtl.ca)  
Consultation: jeudi après le cours (ou prendre RDV par email)  
Chargé de labo : Malo Alefsen de Boisredon d'Assier

## Objectifs généraux

Ce cours a pour objectif principal de présenter les concepts de base relatifs à la représentation et à la manipulation des images, ainsi que les principaux types d'analyse et de traitement. À la fin du cours, l'étudiant :

- aura acquis une connaissance adéquate des caractéristiques propres aux images et des outils mathématiques nécessaires à leur manipulation et à leur traitement ;
- maîtrisera les principales méthodes de traitement, de codage et de classification automatique d'images, et pourra les discuter en termes de leur complexité, de leurs performances et de leur pertinence par rapport à des applications ;
- sera capable de choisir, dans le contexte d'un problème spécifique, la ou les méthodes de traitement susceptibles de fournir une solution satisfaisante en termes de performances, et de développer une telle solution.

## Description abrégée du cours et prérequis

Le cours passera en revue les notions suivantes :

- Caractérisation des images et perception.
- Numérisation, représentation et manipulation.
- Amélioration dans le domaine spatial et dans le domaine fréquentiel.
- Restauration d'images.
- Reconstruction tomographique.
- Codage et compression.
- Segmentation d'images et détection de contours.
- Reconnaissance de formes.

Des notions de base en mathématiques, en probabilités et en traitement et analyse des signaux sont prérequis. De plus, les laboratoires et les devoirs nécessitent l'utilisation de Python. Il est fortement recommandé aux étudiants non familiers avec Python de se former sur ce langage (disponible dans tous les laboratoires informatiques de l'École) durant les deux premières semaines de cours.

Préalable(s) : ELE2700 ou GBM3720 ou INF4725, MTH2302A ou l'équivalent

## Modalités et méthodes d'évaluation

Le cours comprend

- 12 leçons qui présentent les notions essentielles de traitement et d'analyse d'images, telles que décrites dans la [description abrégée et les prérequis](#) du cours et dont le contenu est décrit dans le [calendrier](#) ;
- 4 séances de laboratoire dans lesquelles les étudiants doivent mettre en œuvre et appliquer les notions présentées en cours. Leur contenu est également décrit dans le [calendrier](#). Une bonne connaissance de Python est un prérequis ;
- Un examen intermédiaire (intra)
- Un examen final récapitulatif.

La pondération des différents travaux est la suivante :

Nature	Pondération
Travaux pratiques	30 %
Intra	30 %
Examen final	40 %

La qualité de l'expression écrite et orale est prise en compte dans l'attribution des notes. Une pénalité est appliquée pour chaque journée de retard dans la remise des travaux.

## Documents de référence

### **Manuel de référence**

Le manuel qui sert de base au cours est l'ouvrage suivant :

Digital Image Processing, 4<sup>e</sup> édition

Rafael C. Gonzalez et Richard E. Woods

Pearson / Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ

2008, 2018

ISBN-10:0-13-335672-8

Cet ouvrage est disponible à Coopoly. Il est également placé en réserve à la bibliothèque.

### **Autres ressources**

Les étudiants pourront également se référer à la section *Students* du site web [imageprocessingplace.com](http://imageprocessingplace.com). Le site a été développé par les auteurs du livre *Digital Image Processing* comme un complément à ce dernier.

- Il est suggéré aux personnes connaissant peu Python de se familiariser avec ce langage avant le début des travaux pratiques. Des tutoriels d'introduction à Python sont disponibles [ici](#). Par ailleurs, il existe d'excellentes ressources à l'École Polytechnique, notamment le matériel didactique du cours INF1005D « programmation procédurale en python » disponible en ligne sur le [site web du cours](#).

## Cours - Caractérisation des images et perception

Cette séance est consacrée à une introduction au domaine du traitement d'images, ainsi qu'à la question de perception. Plus précisément, elle couvre les points suivants :

1. Introduction
  - Éléments historiques
  - Exemples d'applications et de modalités
  - Traitement et analyse d'images : synthèse
2. Perception
  - Position du problème
  - Œil et vision
  - Perception
3. Formation des images numériques
  - Modèle simple de formation d'images
  - Échantillonnage et quantification

Cette matière est présentée dans le manuel du cours au chapitre 1 et au chapitre 2, sections 2.1 à 2.4.4 inclusivement (pages 31 à 61).

## Cours - Transformations et améliorations élémentaires dans le domaine spatial

Cette séance est consacrée à la présentation de transformations élémentaires dans le domaine spatial. Plus précisément, elle couvre les points suivants :

1. Notions élémentaires
  - Topologie sur une image
  - Notion d'opération
  - Opérations arithmétiques et logiques
  - Transformations géométriques
  - Transformations portant sur l'intensité
2. Amélioration dans le domaine spatial
  - Transformations « pixel par pixel »
  - Transformations élémentaires
  - Modifications de l'histogramme
3. Transformations utilisant la notion de voisinage (filtrage)
  - Notions de filtrage 2D
  - Adoucissement ("*smoothing*")
  - Affinage ("*sharpening*")

Cette matière est présentée dans le manuel du cours au chapitre 2, pages 61 à 96, et au chapitre 3, pages 133 à 174 et 177 à 217.

## Cours - Représentation des images dans le domaine fréquentiel

Cette séance est consacrée à la représentation des images dans le domaine fréquentiel. Plus précisément, elle couvre les points suivants :

1. Cadre 1D
  - Séries de Fourier : interprétation géométrique
  - Extension : approche géométrique de la transformée de Fourier
  - Échantillonnage
  - Transformée de Fourier à temps discret et transformée de Fourier discrète
2. Cadre 2D
  - Extension 2D de la transformée de Fourier
  - Échantillonnage
  - Aspects pratiques

Cette matière est présentée dans le manuel du cours au chapitre 4, sections 4.1 à 4.6 incluse.

## Cours - Amélioration dans le domaine fréquentiel

Cette séance est consacrée à la présentation de méthodes spectrales plus sophistiquées pour l'amélioration d'images. Plus précisément, elle couvre les points suivants :

1. Aspects pratiques des calculs dans le domaine fréquentiel
  - Rappel : propriétés importantes de la TFD
  - Exemple : interpolation
  - Exemple : convolution
2. Principe des traitements dans le domaine fréquentiel
3. Lissage ("smoothing") dans le domaine fréquentiel
  - Filtre passe-bas idéal
  - Filtres classiques : Butterworth et gaussien
4. Rehaussement ("sharpening") dans le domaine fréquentiel
  - Filtres classiques : idéal, Butterworth et gaussien
  - Autres types de traitements : laplacien, masque flou, homomorphique
5. Traitements *ad hoc* dans le domaine fréquentiel
  - Filtres passe-bande et coupe-bande
  - Filtres *ad hoc*

Cette matière est présentée dans le manuel du cours au chapitre 4, sections 4.7 à 4.11 incluse.

## Cours - Rappels de probabilités, signal aléatoire et estimation

Cette séance est consacrée à un rappel de notions de probabilités, de signal aléatoire et d'estimation. Plus précisément, elle couvre les points suivants :

1. Rappels de probabilités et de signal aléatoire
  - Variables aléatoires
    - Interprétation
    - Définitions et propriétés
    - Distributions particulières
  - Vecteurs aléatoires
    - Définition et propriétés
    - Conditionnement
    - Distributions particulières
  - Aspects fréquentiels : signaux aléatoires stationnaires d'ordre deux
    - Position du problème
    - Définition et propriétés
    - Représentation fréquentielle et filtrage
2. Rappels d'estimation
  - Position du problème
  - Méthodologie de l'estimation
    - Approche générale
    - Estimateurs classiques
  - Caractéristiques des estimateurs
  - Estimation dans le cas linéaire et gaussien

## Cours - Restauration d'images

Cette séance est consacrée à la présentation des principaux aspects de la restauration d'images. Plus précisément, elle couvre les points suivants :

1. Notion de bruit : compléments
  - Rappels et extension 2D
  - Bruit blanc et bruit coloré - Caractéristiques spectrales
  - Types de bruit
  - Estimation des paramètres du bruit
2. Restauration en présence de bruit seulement
  - Filtrage linéaire : interprétation statistique
  - Modélisation statistique d'une image
  - Restauration : estimation de l'image
3. Restauration en présence d'une dégradation linéaire et de bruit
  - Représentation algébrique du filtrage linéaire
  - Estimation de la dégradation linéaire
  - Restauration : hypothèse non gaussienne sur l'image
  - Restauration : hypothèse gaussienne sur l'image et le bruit

Cette matière est présentée en partie dans le manuel du cours au chapitre 5, sections 5.1 à 5.10 incluse.

## Cours - Reconstruction tomographique

Cette séance est consacrée à la présentation des principaux aspects de la reconstruction tomographique d'images. Plus précisément, nous avons couvert les points suivants :

1. Introduction
  - Tomographie à rayons X (TRX)
  - Autres modalités
2. Formulation du problème de TRX - Transformée de Radon
3. Reconstruction en TRX : approche analytique
  - Géométrie à rayons parallèles
  - Géométrie à rayons en éventail
4. Reconstruction en TRX : approche algébrique
  - Modèle de formation des données
  - Estimation de l'objet
5. Reconstruction : autres modalités
  - Caractéristiques générales
  - Exemple : tomographie à courants de Foucault

Cette matière est présentée en partie dans le manuel du cours à la section 5.11 du chapitre 5.

## Cours - Segmentation d'images et détection de contours

Cette séance est consacrée à la présentation des principales techniques de détection de contours et de segmentation d'images. Plus précisément, elle couvre les points suivants :

1. Introduction
2. Détection de contours
  - Formulation du problème
  - Méthodes élémentaires : gradient et laplacien
  - Méthode de Canny
  - Détection de frontières
3. Segmentation de régions
  - Position du problème
  - Techniques de seuillage global
  - Techniques de seuillage local ou adaptatif
  - Autres méthodes

L'essentiel de cette matière est présenté dans le manuel du cours au chapitre 10.

## Cours - Analyse multirésolution et transformée en ondelettes

Cette séance est consacrée à la présentation des principales techniques d'analyse multirésolution des images, en insistant particulièrement sur les méthodes à base d'ondelettes. Plus précisément, elle couvre les points suivants :

1. Approches des traitements multirésolutions
  - Analyse pyramidale
  - Codage en sous-bandes
  - Transformée de Haar
2. Développements multirésolutions
  - Rappels
  - Fonctions d'échelle
  - Ondelettes
3. Développement en série d'ondelettes, transformée en ondelettes
  - Développement en série d'ondelettes
  - Transformée en ondelettes discrète
  - Transformée en ondelettes rapide
  - Extension bi-dimensionnelle
4. Applications de la transformée en ondelettes 2D
  - Détection de contours
  - Débruitage et compression d'images

L'essentiel de cette matière est présenté dans le manuel du cours aux sections 6.9 et 6.10 du chapitre 6.

## Cours - Compression et codage d'images I

Cette séance est consacrée à la présentation des aspects élémentaires de la compression et du codage d'images. Plus précisément, elle couvre les points suivants :

1. Notions fondamentales
  - Introduction
  - Notion de redondance
  - Modèle de codage et normes
  - Notion d'information
2. Codage de source
  - Codage de Huffman
  - Codage de Golomb
  - Codage arithmétique
  - Codage de Lempel-Ziv-Welch
3. Redondance spatiale
  - Codage par longueur de plage (RLC)
  - Codage par plans de bits (BPC)
  - Codage par symboles

Cette matière est présentée dans le manuel du cours au chapitre 8, sections 8.1 à 8.8 inclusivement.

## Cours - Compression et codage d'images II

Cette séance est consacrée à la présentation de plusieurs techniques utilisées pour compresser et coder les images, ainsi que de quelques éléments de tatouage numérique (*watermarking*). Plus précisément, elle couvre les points suivants :

1. Codage par transformée par blocs
  - Démarche générale
  - Choix de la transformée
  - Sélection et quantification des coefficients
  - Redondance structurelle et codage des symboles
  - Exemple : codage JPEG
2. Codage prédictif
  - Codage prédictif sans et avec perte
  - Structure et spécification des prédicteurs
  - Quantification de l'erreur de prédiction
3. Éléments de tatouage numérique (*watermarking*)

Cette matière est présentée dans le manuel du cours au chapitre 8, sections 8.9 à 8.10 et 8.12.

## Cours – Deep Learning

# Le calendrier

Date	Cours / Lab	Titre
12 janvier	Cours 1	Caractérisation des images et perception
19 janvier	Cours 2	Transformations et améliorations élémentaires dans le domaine spatial
23 janvier	Lab 1 (B1)	Traitements élémentaires dans le domaine spatial
26 janvier	Cours 3	Représentation des images dans le domaine fréquentiel
30 janvier	Lab 1 (B2)	Traitements élémentaires dans le domaine spatial
2 février	Cours 4	Amélioration dans le domaine fréquentiel
6 février	Lab 2 (B1)	Traitements élémentaires dans le domaine fréquentiel
9 février	Cours 5	Rappels de probabilités, signal aléatoire et estimation
13 février	Lab 2 (B2)	Traitements élémentaires dans le domaine fréquentiel
16 février	Cours 6	Restauration d'images
23 février	Cours 7	Intra (2h)
2 mars	-	<i>Semaine de relâche</i>
6 mars	-	<i>Pas de lab</i>
9 mars	Cours 8	Segmentation d'images et détection de contours
13 mars	Lab 3 (B1)	Restauration d'images + Segmentation d'images et détection de contours
16 mars	Cours 9	Analyse multirésolution et transformée en ondelettes
20 mars	Lab 3 (B2)	Restauration d'images + Segmentation d'images et détection de contours
23 mars	Cours 10	Compression et codage d'images 1
27 mars	Lab 4 (B1)	Analyse multirésolution et transformée en ondelettes
30 mars	Cours 11	Compression et codage d'images 2
3 avril	Lab 4 (B2)	Analyse multirésolution et transformée en ondelettes
6 avril	Cours 12	Reconstruction tomographique
10 avril	-	<i>Pas de lab</i>
13 avril	Cours 13	Deep Learning (Prof. Julien Cohen-Adad)