

# Résistance des matériaux II

## MEC2405



## Premier cours, 8 jan 2024

Groupe 1:

**Daniel Therriault** (coordonnateur du cours)

Bureau JAB-5010.3

Tél. : (514) 340-4711 x4419

Courriel : [daniel.therriault@polymtl.ca](mailto:daniel.therriault@polymtl.ca)

WEB: [www.polymtl.ca/lm2](http://www.polymtl.ca/lm2)

Groupe 2:

**Smail Guenoun** (Maître d'enseignement)

Bureau C-318.3

Tél. : (514) 340-4711 ext. 3554

Courriel : [smail.guenoun@polymtl.ca](mailto:smail.guenoun@polymtl.ca)

### Chargés de laboratoire

Maryam Boukor ([maryam.boukor@polymtl.ca](mailto:maryam.boukor@polymtl.ca))

Rouhollah Farahani ([rouhollah.farahani@polymtl.ca](mailto:rouhollah.farahani@polymtl.ca))

Loïc Cumming-Jomphe ([loic.cummings-jomphe@polymtl.ca](mailto:loic.cummings-jomphe@polymtl.ca))

### Technicien de laboratoire

Fabrice Danet ([fabrice.danet@polymtl.ca](mailto:fabrice.danet@polymtl.ca))



**POLYTECHNIQUE  
MONTRÉAL**

UNIVERSITÉ  
D'INGÉNIERIE

# Mise en situation: Génie mécanique

- **Principales tâches de l'ingénieur**
  - Développement de produits ou de techniques par l'application des principes théoriques
  - Recherche appliquée
  - Nouvelles applications d'une théorie
  
- **Type de travail**
  - Conception
  - Fabrication
  - Production
  - Recherche
  - Représentation technique (vente)
  - Génie conseil (gestion de projet)
  - Installation



Avion Airbus



Usinage d'acier



Barrage hydro-électrique

# Mise en situation: Génie mécanique

## Domaines d'application



Transport



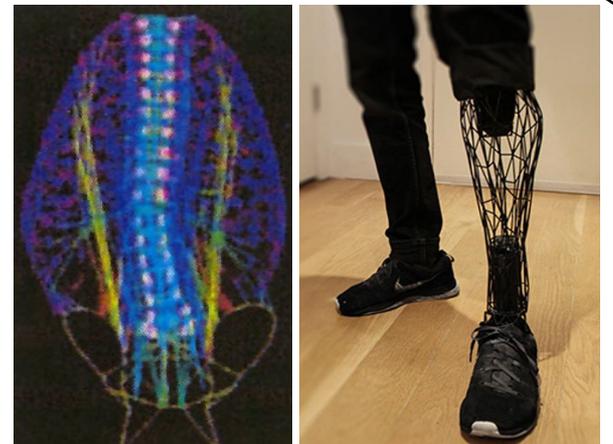
Fabrication et production



Microtechnologie



Énergie



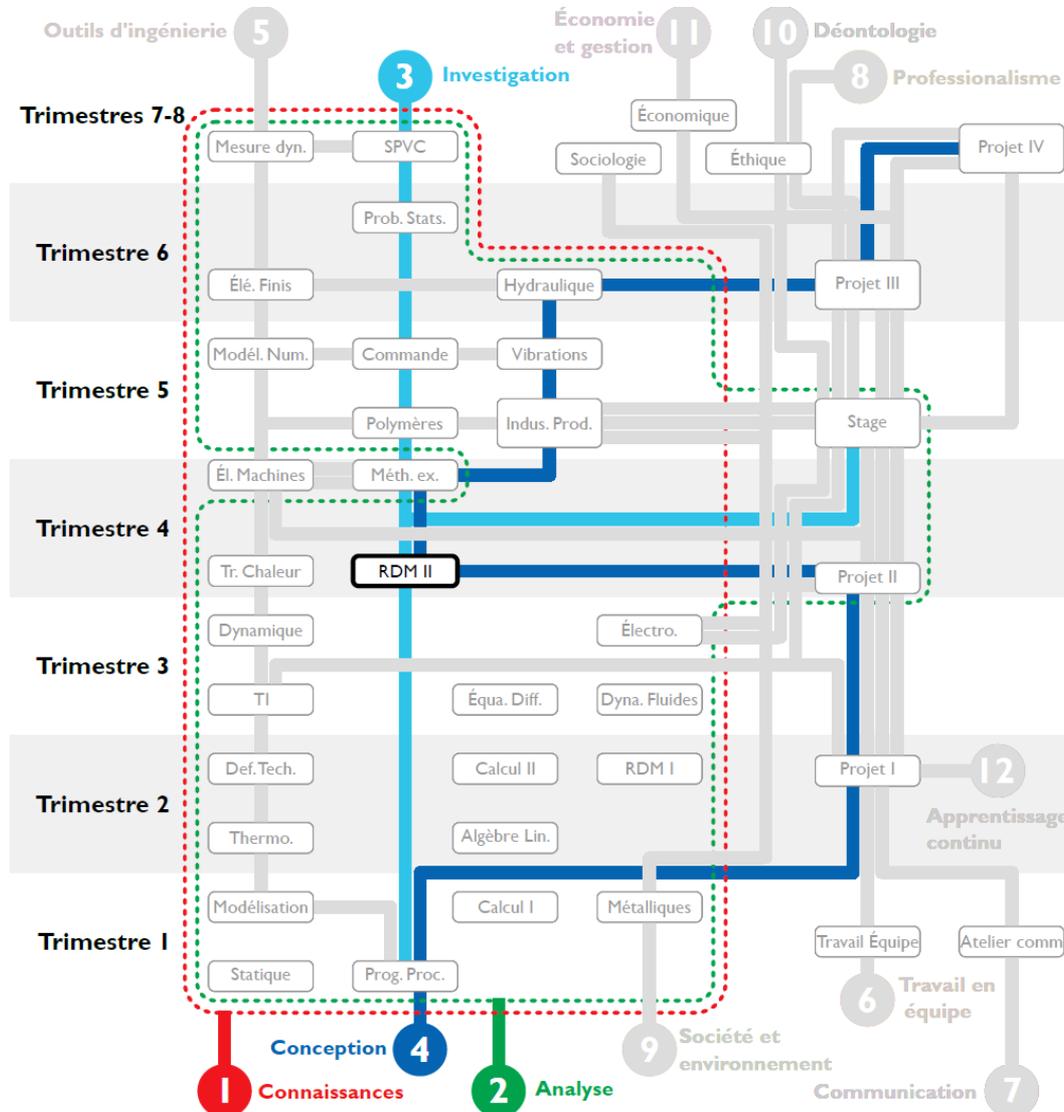
Biomédical

# Cours MEC2405

---

- **Résistance des matériaux**
  - Complément des notions fondamentales déjà vues dans le cours MEC1420
- **But**
  - Préparer l'étudiant à déterminer la résistance et la rigidité des constructions et de pièces mécaniques
  - Accroître les capacités de l'étudiant pour la conception de structures
  - Introduire l'étudiant à quelques notions avancées de la résistance des matériaux

# Cours MEC2405: Qualités BCAPG



# Cours MEC2405: Qualités BCAPG

Qualité	Déclinaison	IN	AP	CA	
1	<b>Connaissances en génie</b> : 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 Démonttrer des connaissances de base en mathématiques et en sciences		X	
		1.2 Démonttrer des connaissances de base en génie		X	
		1.3 Démonttrer des connaissances avancées en génie			N2
2	<b>Analyse de problèmes</b> : 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	X		
3	<b>Investigation</b> : 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			N2
		3.4 Exécuter l'expérimentation			N2
		3.5 Analyser les résultats expérimentaux			N2
		3.6 Vérifier les hypothèses et argumenter			
4	<b>Conception</b> : 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	<b>Utilisation d'outil d'ingénierie</b> : 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	<b>Travail individuel et en équipe</b> : 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	<b>Communication</b> : 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	<b>Professionalisme</b> : 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	<b>Impact du génie sur la société et l'environnement</b> : 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	<b>Déontologie et équité</b> : 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	<b>Économie et gestion de projets</b> : 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	<b>Apprentissage continu</b> : 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 pallier 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			

# Cours MEC2405 (Génie mécanique)

## Notions de base, contraintes et déformations

MEC1420 Résistance des  
matériaux I

## Charges-DCL

MEC1410 Statique  
MEC2420 Dynamique de  
l'ingénieur

## Résistance

MTR2000 Matériaux  
métalliques  
MEC3320 Plastiques,  
élastomères et composites

MEC2405  
Résistance des  
matériaux II

MEC2310 Éléments de  
machines

MEC8470 Éléments finis  
en mécanique du solide

MEC3305 Analyse et  
commande des systèmes  
dynamiques

MEC3900 PI3

MEC8370 PI4

et autres...

# MEC2405: Programme

1. Révision des notions du cours MEC1420
2. Flexion gauche
3. Instabilité, flambement des colonnes, déversement des poutres, voilement
4. Méthodes d'analyse basées sur l'énergie de déformation
5. Concepts d'analyse limite et contraintes résiduelles
6. Concentration de contrainte
7. *Fatigue : diagrammes S-N et Goodman modifié, dommage cumulatif*

## **Capsules technologiques tout au long de la session**

**(voir Section 10 dans Moodle)**

- Matériaux auto-réparateurs (1), impression 3D de composites (1)
- Superstructure d'un point fait en matériaux composites (4)
- Microfabrication à l'aide d'une encre viscoélastique (3)
- Effondrement du World Trade Center (5)
- Emmagasinement d'énergie à l'aide de super micro ressorts (3)
- Essais en fatigue biaxial pour l'industrie aéronautique (7)

# Déroulement de la session

CONTENU DE COURS	CHAPITRE DU LIVRE
<b>#1 Révision des notions du cours MEC1420</b>	
Principes de base	1
Chargement uniaxial	2
Diagramme des efforts tranchants et des moments <u>fléchissants</u>	3
Contraintes dans les poutres en flexion	4
Torsion des sections circulaires	6.1; 6.2; 6.3.1; 6.3.2
Superposition de contraintes	7
Critères de défaillance des matériaux (ductiles : <u>Tresca</u> et Von Mises; fragiles)	10.1 à 10.4 incl.
Déformations	8
Relation contraintes/déformations	9.1 à 9.6 incl.
Torsion des sections ouvertes et composées	6.3, 6.4 et 6.5
Section rectangulaire minces; Applications aux profilés minces	6.4 et 6.5, 16.1, 16.4.4; 16.6.2; 16.6.3; fig. 16.13
<b>#2 Flexion gauche</b>	
Efforts internes et analyse des contraintes associés à la flexion gauche	17.4 à 17.6 incl.
Contraintes dues à la flexion pure	17.7
<b>#3 Instabilité, flambement des colonnes, déversement de poutres, voilement</b>	
Définition de stabilité	11.1
Stabilité d'une membrure rigide en compression	11.2
Stabilité d'une membrure élastique en compression	11.3
Formule d'Euler	11.4
Colonne « rotule-rotule » soumise à une charge excentrée	11.5
Conception d'une colonne	11.6
Méthode de résolution <u>approx.</u> pour une poutre-colonne (chargement combiné)	11.7.3 et 11.7.4
Déversement latéral des poutres	11.8
Voilement des sections à parois minces	11.9 et 11.10
<b>#4 Méthodes d'analyse basées sur l'énergie de déformation (Méthodes énergétiques)</b>	
Energie de déformation	9.7.1 et 9.7.2
Energie de déformation : traction, flexion et torsion	14.1 et 14.2
Théorème de Maxwell-Betti	14.3
Théorème de <u>Castigliano</u>	14.4
Théorème de <u>Castigliano</u> pour systèmes isostatiques et hyperstatiques	14.4.1 et 14.4.2
Effets de l'effort tranchant	14.5
<b>#5 Concepts d'analyse limite et contraintes résiduelles</b>	
Modèles du comportement des matériaux	12.1-12.2
Analyse limite au chargement uniaxial, en torsion, à la flexion	12.3-12.5
Contraintes résiduelles	12.6-12.7, notes de cours
<b>#6 Concentration de contrainte</b>	
Valeur théorique du facteur de concentration de contrainte	10.2 + notes de cours
Comportement des matériaux en présence de concentration de contrainte	Notes de cours
<b>#7 Fatigue</b>	
Mécanismes de rupture par fatigue	Notes de cours
Méthode d'essai normalisé	
Diagramme S-N	
Limite d'endurance	
Chargement non complètement renversé	
Diagramme de Goodman	
Contraintes combinées normales et de cisaillement	
Domage cumulatif	
<b>Joints structuraux</b>	
Joints boulonnés (effets du cisaillement direct et du moment de torsion)	15.1 – 15.3
Joints soudés soumis à une charge excentrée	15.7 – 15.10

Jan



Fév



**Contrôle périodique**



Mar



Avr

**FINAL: CUMMULATIF**

# Horaire de Daniel Therriault (HIV 2024)

## HORAIRE PERSONNEL

Daniel Therriault

ÉCOLE POLYTECHNIQUE

Trimestre: 2024HIV

HEURE	LUNDI	MARDI	MERCREDI	JEUDI	VENDREDI
08h30	11	21	31	41	51
09h30	12	22	32	42 Labo G1ou2	52
10h30	13	23	33	43 Labo G1ou2	53
11h30	14	24	34	44 Labo G1ou2	54
12h20	LUNCH				
12h45	15	25	35	45	55
13h45	16	26	36	46 Labo G3ou4	56
14h45	17	27	37	47 Labo G3ou4	57 Labo G5
15h45	18	28	38	48 Labo G3ou4	58 Labo G5
16h45	19	29	39	49	59 Labo G5

## Organisation du cours

- 3 h de cours magistral /semaine
- 1 h de TD/semaine (**lundi**, à 12h45)
- 4 séances de laboratoire pendant la session

• Consultation

• **Prendre rendez-vous par courriel** pour consultation à mon bureau aux autres périodes

Cours théoriques : **B-418**

Évaluations  
(3 TD évalués, 1 contrôle périodique): **B-418**

# Déroulement de la session (HIV 2024)

HIVER 2024 Calendrier de l'alternance des laboratoires du baccalauréat

DIMANCHE	LUNDI	MARDI	MERCREDI	JEUDI	VENDREDI	SAMEDI	
	1	2	3	4	5	6	
JANVIER				Journée des nouveaux étudiants	Accueil des nouveaux étudiants au bacc		
	7	8	9	10	11	12	
	Cours B-418 Début des cours	Cours M-2204					
	14	15	16	17	18	19	
	B1	B1		L1g2			
	B2	B2		L1g4			
	21	22	23	24	25	26	
	B1	B1		L1g1	L1g5		
	B2	B2		L1g3			
FÉVRIER	28	29	30	31	1	2	
	TD1			L2g2			
	B2	B2		L2g4			
	4	5	6	7	8	9	
	B1			L2g1	L2g5		
	B2	B2		L2g3			
	11	12	13	14	15	16	
	TD2			L3-4g2			
	B2	B2		L3-4g4			
	18	19	20	21	22	23	
	B1	B1		L3-4g1	L3-4g5		
	B2	B2		L3-4g3			
	25	26	27	28	29	1	
	B1	B2	B2	L4-3g2			
	B2			L4-3g4			
MARS	3	PÉRIODE DE RELÂCHE					
PÉRIODE DE RELÂCHE	11	12	13	14	15	16	
	CP			L4-3g1			
	B1	B1		L4-3g3	L4-3g5		
	17	18	19	20	21	22	
	B2			Exa. Labo.			
	24	25	26	27	28	29	
	TD3			Exa. Labo.			
	B1	B1		B1			
	31	1	2	3	4	5	
	B2	B2		Exa. Labo.			
AVRIL	7	8	9	10	11	12	
	B2	B1	B1	B1	B1	B2	
	14	Dernier cours	Journée de vendredi	Projets intégrateurs	Projets intégrateurs	18	
	B1	B1				19	
	21	22	23	24	25	26	
	B1	B1				27	

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

Cours théoriques gr.01 : B-418 et M-2204

1<sup>ère</sup> heure : B-418 TD évalués  
2<sup>e</sup> heure: retour sur TD + cours

Gr. 1 et 2: Jeudi de 9 h 30 à 12 h 20  
Gr. 3 et 4: Jeudi de 13 h 45 à 16 h 35  
Gr. 5 : Vendredi de 14 h 45 à 17 h 35

- Laboratoires (C-407.10)**
1. Propriétés mécaniques des matériaux
  2. Mesure de la déformation
  3. Étude des poutres-colonnes
  4. Flexion gauche

- Examen de laboratoire**
- Examen individuel : 10% de la cote globale
  - 3 dates possibles selon votre groupe de labo
  - L'étudiant aura droit à son cahier de laboratoire uniquement
  - Fichiers Excel gabarit: 10% de la cote globale

# Travaux dirigés (HIV 2024)

- Période: **1<sup>ère</sup> heure du lundi, à 12h45**
- Travaux dirigés (TD) évalués
  - Trois travaux dirigés seront évalués: étudiants devront répondre individuellement à une ou plusieurs questions
- **IMPORTANT**
  - Présence aux périodes de travaux dirigés évalués est **obligatoire depuis le début de la période**
  - En cas d'absence motivée à un mini-quiz, la pondération de ce mini-quiz est reportée sur l'examen final

# Laboratoires

- **Déroulement**

- 4 séances
- Travail en groupe de trois maximum
- Chaque étudiant tient un cahier de laboratoire personnel
- Avant de quitter le laboratoire, une copie papier du fichier EXCEL gabarit devra être laissée au responsable de la séance pour évaluation
- À la fin du trimestre, il y aura un examen de fin de terme individuel portant sur une des cinq séances (au hasard) = **voir plan de cours**

- **IMPORTANT**

- Chaque *retard* à une séance cause une perte d'un **demi-point** sur la cote de la séance du laboratoire: **retard maximal de 15 min est toléré**
- Pour toute absence non motivée à une séance de laboratoire, il y aura une pénalité de trois **(3) points** sur vingt de la cote globale des laboratoires.
- Une *absence* à une séance doit être **motivée** et l'étudiant doit prendre des arrangements afin de fixer les modalités pour reprendre cette séance

# Cahier de laboratoire

---

- **IMPORTANT \*\***

- Avant de quitter le laboratoire, chaque équipe doit laisser une copie papier du **fichier EXCEL** au responsable de la séance pour évaluation
- Pour les étudiants qui reprennent le cours, une exemption des laboratoires est possible si l'examen de laboratoire a été antérieurement réussi (10 / 20 et plus)

# Évaluation

- Un intra de 90 minutes comptant pour 30% de la cote globale
  - **lundi**, le **11** mars 2024 (12h45) au **B-418**
- Examen final comptant pour 35% de la cote globale
- Travaux dirigés évalués comptant pour 15% de la cote globale
- **IMPORTANT**
  - L'intra et l'examen final portent sur la matière du cours théorique vue depuis le début de la session jusqu'au jour du contrôle.
  - Documentation permise: formulaire annexé au questionnaire (formulaire sera mis à la disposition des étudiants quelques jours avant le contrôle)
  - Dans les contrôles, **toutes les étapes de la solution devront apparaître sur la copie de l'étudiant, incluant les détails de calculs.**
  - Les calculatrices utilisées lors des contrôles seront **non-programmables**; elles doivent être autorisées par un autocollant (DER-017)

# Politique d'absence aux contrôles

---

- **Travaux dirigés évalués et examens**
  - L'absence doit être *motivée* au Registrariat
    - » Si le motif est *accepté* par le bureau, la pondération de ce contrôle est reportée sur l'examen final.
    - » Dans le cas contraire, l'étudiant a la cote zéro (0) pour ce contrôle.
- **Examen individuel de laboratoire**
  - L'absence doit être *motivée* au Registrariat
    - » Si le motif est *accepté* par le bureau, l'étudiant subira un examen différé.
    - » Dans le cas contraire, l'étudiant a la cote zéro (0) pour ce contrôle.

# Documentation

## Obligatoire :

- Le cahier de "*Laboratoire de Résistance des Matériaux-MEC2405* " D. Therriault, M. Bernard, A. Chaaban et L. Marchand. (#6798)

## Optionnelle :

- *Recueil de notes de cours, MEC2405 Résistance de matériaux II*, D. Therriault, éditions de l'École Polytechnique, 2019. (25\$, disponible à la coop) (#6799)
- Le manuel "*Résistance des matériaux, 3e édition, École Polytechnique, 2002*", rédigé par A. Bazergui, T. Bui-Quoc, A. Biron, G. McIntyre et C.A. Laberge;
  - Le recueil de problèmes, Tome I - par A. Bazergui, T. Bui-Quoc, A. Biron, G. McIntyre et C.A. Laberge, École Polytechnique, 2003.
  - Le recueil de problèmes, Tome II - par A. Bazergui, T. Bui-Quoc, A. Biron, G. McIntyre et C.A. Laberge, École Polytechnique, 2003.
  - Le manuel "*Éléments de machines, 2e édition revue et augmentée, École Polytechnique, 1997*", G.Drouin, M. Gou, P.Thiry et R.Vinet

# Consignes pour l'enseignement en classe

---

- **Mes attentes**

- Arriver à l'heure aux séances
- Éviter de discuter pendant les heures de classe par respect pour le prof et les autres étudiants
- Prendre l'initiative de poser des questions pendant les séances
- Participer aux périodes de consultations
- Charge de travail est évaluée à ~ 4 heures / semaine
- Éviter de quitter avant la fin de la période en classe

# Consignes pour l'enseignement en classe



Merci de votre compréhension!