

Responsable(s) du cours :	Prof. Louis DUFRESNE
Crédits :	3

**MEC770**  
**CONCEPTION AÉRODYNAMIQUE**  
**Préalable(s) : MEC335**

**PLAN DE COURS – SESSION AUTOMNE 2013**

---

**1. Coordonnées de l'enseignant**

Groupe 01: Prof. Louis DUFRESNE (Louis.Dufresne@etsmtl.ca)

**2. Descriptif officiel du cours**

Acquérir les concepts de base de la science aérodynamique qui permettent d'évaluer la portance et la traînée d'un corps. Appliquer ces concepts à la caractérisation, l'analyse et la conception de profils et d'ailes simples.

Rappel des équations de la dynamique des fluides : équations de Navier-Stokes, d'Euler et de Bernoulli. Couche limite. Similitude. Estimation de la traînée. Nomenclature des profils aérodynamiques et des ailes. Écoulements incompressibles et sans effets visqueux. Équations de Laplace et écoulements potentiels élémentaires. Portance et théorème de Kutta-Joukowski. Théorie des profils minces. Méthode de panneaux. Théorie de la ligne portante. Chargement aérodynamique des ailes. Effets de compressibilité.

Séances de travaux pratiques composés d'exercices choisis pour illustrer la théorie vue en classe. Laboratoire d'introduction à l'aérodynamique numérique incluant l'utilisation de logiciels d'analyse et de conception de profils et d'ailes.

**3. Objectifs spécifiques du cours**

Ce cours de 3 crédits a pour objectif de permettre aux étudiants :

1. D'acquérir les concepts de base de la science aérodynamique qui permettent d'évaluer la portance et la traînée d'un corps;
2. D'appliquer ces concepts à la caractérisation, l'analyse et la conception de profils et d'ailes simples.

Plus spécifiquement le cours vise à fournir aux étudiants une introduction aux principaux éléments de l'aérodynamique subsonique dans le but de développer leurs compétences

dans la conception et la caractérisation de formes aérodynamiques (profils et ailes) simples. De même, le cours vise aussi à développer chez les étudiants une bonne compréhension des phénomènes physiques de base qui gouvernent les écoulements externes. Au terme du cours les étudiants devraient être en mesure :

1. De concevoir et d'évaluer les caractéristiques aérodynamiques d'une aile simple;
2. D'interagir professionnellement avec des praticiens spécialistes du domaine;
3. De pouvoir progresser de manière autonome dans un des champs de spécialisation de l'aérodynamique avancée.

#### **4. Stratégies pédagogiques utilisées**

À chaque semaine 3 heures d'enseignement magistral sont prévues ainsi que 2 heures de travaux pratiques en classe ou en laboratoire. Ces périodes d'enseignement et de travaux pratiques (TP) devraient être complétées par de l'étude et du travail personnel correspondant à environ 5 heures par semaine en moyenne.

En complément aux notions théoriques vues en classe, on présentera des exemples (en classe et/ou en TP) pour permettre aux étudiants de bien assimiler les concepts présentés. Une série d'exercices supplémentaires, à faire sur une base individuelle, sera également proposée selon la matière enseignée. Au besoin, une période de temps pourra aussi être réservée, en classe ou en TP, pour discuter et répondre aux questions concernant les exercices suggérés.

#### **5. Contenu du cours**

Voir les points 5.1 et 5.2 aux pages suivantes.

## 5.1 ORGANISATION DU COURS

Sem.	Description	Section(s) du manuel	Exercices suggérés*
01-03	<b>1. Introduction, concepts de base et rappels</b>		
	1. Bref historique	1.1, 1.2	
	2. Propriétés physiques des fluides	1.4	
	3. Statique des fluides et atmosphère standard	1.9 & Notes compl.	1.11, C-1.1 – C-1.5
	4. Types d'écoulements	1.10	
	5. Volumes de contrôle	2.2, 2.3	2.2, 2.7, 2.8
	6. Conservation de la masse	2.4	C-1.6 – C-1.10
	7. Conservation de la quantité de mouvement	2.5, 2.6	C-1.11, C-1.12
	8. Équations de Navier-Stokes	15.2-15.4	15.1, 15.2, C-1.13
	9. Théorie de la similitude	1.7, 1.8	1.8 – 1.10, C-1.14
	10. Couches limites	1.11, 17.1-17.5, 18.2, 19.2	19.1 – 19.3, C-1.15, C-1.16
11. Traînée	1.5, 1.12, 6.6	1.15, C-1.17	
04	<b>2. Profils, ailes et paramètres caractéristiques</b>		
	1. Nomenclature des profils	4.1, 4.2	
	2. Effets physiques	1.5, 1.6, 1.12	1.2 – 1.6, 1.12, 1.15
	3. Caractéristiques aérodynamiques des profils	4.3	4.1, 4.2, C-2.1, C-2.2
4. Nomenclature des ailes	Notes compl.		
05-07	<b>3. Écoulements incompressibles sans effets visqueux</b>		
	1. Introduction	3.1	
	2. Équations d'Euler et de Bernoulli	2.5, 3.2-3.6	3.1-3.7
	3. Vorticité et circulation	2.12, 2.13	2.7 – 2.9, C-3.1
	4. Écoulement irrotationnel et théorème de Kelvin	4.6	4.3
	5. Fonction de courant et potentiel de vitesse	2.14-2.16	2.11, C-3.2 – C-3.4
	6. Écoulements potentiels et équation de Laplace	3.7	
	7. Écoulements potentiels élémentaires	3.9-3.12, 3.14	3.8 – 3.14, C-3.5, C-3.6
	8. Cylindre non portant et portant	3.13, 3.18, 3.20, 3.15	3.15 – 3.19, C-3.7, C-3.8
	9. Théorème de Kutta-Joukowski	3.16	3.20, 4.12
10. Méthode des panneaux sources	3.17		
08-10	<b>4. Aérodynamique des profils : Théorie 2D</b>		
	1. Génération de la portance	3.16, 4.1, 4.6	
	2. Prédiction théorique de la portance	4.4, 4.5	
	3. Théorie des profils minces	4.7-4.9	4.4 – 4.11, C-4.1 – C-4.4
	4. Profils épais et méthode des panneaux tourbillons	4.10 & Notes compl.	
5. Contrôle de la couche limite et mécanismes hypersustentateurs	4.11-4.13		
11-12	<b>5. Aérodynamique des ailes : Théorie 3D</b>		
	1. Effets de bouts	5.1	
	2. Système tourbillonnaire et loi de Biot-Savart	5.2	5.1, 5.2, C-5.1
	3. Théorie de la ligne portante de Prandtl	5.3	
	4. Distribution de portance elliptique	5.3	C-5.2, C-5.3
	5. Distribution de portance arbitraire	5.3	C-5.4 – C-5.6
6. Traînée induite et rapport de forme	5.3	5.3 – 5.5, C-5.7 – C-5.11	
13	<b>6. Sujets complémentaires</b>		
	1. Effets de compressibilité	7.3, 7.5, 8.3-8.5, 11.4, 11.6	11.2, 11.3
	2. Effets de sol et autres...	Notes compl.	

\* Les exercices précédés d'un « C » (p. ex. C-1.1) proviennent de la liste des exercices complémentaires, les autres sont tirés du manuel.

## 5.2 Calendrier des activités

Sem.	Dates	Description	Remarques
01	03 sept. 06 sept.	C — Introduction, concepts de base et rappels - I	<i>Semaine 1 : congé de TP</i>
02	10 sept. 13 sept.	C — Introduction, concepts de base et rappels - II TP	
03	17 sept. 20 sept.	C — Introduction, concepts de base et rappels - III TP	
04	24 sept. 27 sept.	C — Profils, ailes et paramètres caractéristiques TP	Devoir 1
05	01 oct. 04 oct.	C — Écoulements incompressibles et sans effets visqueux - I TP	
06	08 oct. 11 oct.	C — Écoulements incompressibles et sans effets visqueux - II TP — <b>Examen partiel</b>	
	15 oct. 18 oct.	TP	<i>Horaire du lundi</i>
07	22 oct. 25 oct.	C — Écoulements incompressibles et sans effets visqueux - III	<i>Congé relâche</i>
08	29 oct. 01 nov.	C — Aérodynamique des profils : Théorie 2D - I TP	Projet
09	05 nov. 08 nov.	C — Aérodynamique des profils : Théorie 2D - II TP	<i>Date limite d'abandon : 11 nov.</i>
10	12 nov. 15 nov.	C — Aérodynamique des profils : Théorie 2D - III TP	
11	19 nov. 22 nov.	C — Aérodynamique des ailes : Théorie 3D - I TP	
12	26 nov. 29 déc.	C — Aérodynamique des ailes : Théorie 3D - II TP	Devoir 2
13	03 déc. 06 déc.	C — Sujets complémentaires : Effets de compressibilité TP	<i>Fin des cours : 06 déc.</i>

## 6. Utilisation d'outils d'ingénierie

s/o

## 7. Évaluation

Activité	Description	%	Date de remise
Examen partiel	Est d'une durée prévue de 2 heures et se déroulera durant une période de travaux pratiques. L'utilisation des calculatrices est permise aux examens. Aucun autre document qu'un résumé manuscrit ne sera permis aux examens. La longueur du résumé (nombre de pages) sera précisée en classe, en temps opportun.	30	Sera précisée en classe
Examen final	Est d'une durée prévue de 3 heures et se déroulera durant la période des examens finaux. L'utilisation des calculatrices est permise aux examens. Aucun autre document qu'un résumé manuscrit ne sera permis aux examens. La longueur du résumé (nombre de pages) sera précisée en classe, en temps opportun.	40	À venir
Devoirs	Les travaux remis en retard et sans justification valable seront pénalisés.	10	Sera précisée en classe
Projet	Les travaux remis en retard et sans justification valable seront pénalisés.	20	Sera précisée en classe

**Note importante :** La note de passage est fixée de manière globale à 50 % mais une moyenne d'au moins 50 % aux examens est nécessaire pour passer le cours.

### Retard de remise d'un travail

Les travaux remis en retard sans justification valable seront pénalisés.

### Utilisation d'appareils électroniques

L'utilisation d'appareils électroniques (tablettes, *smart-phones*, etc.) en classe à des fins autres que celles requises par le cours n'est pas permise.

## 8. Documentation obligatoire :

Le manuel suivant est recommandé pour le cours :

ANDERSON, J.D., 2011 *Fundamentals of Aerodynamics*. McGraw-Hill, 5<sup>th</sup> Ed.

## 9. Ouvrages de référence

ABBOTT, I.H. & VON DOENHOFF, A.E. 1949 *Theory of Wing Sections*. McGraw-Hill; Dover republication 1959.

ANDERSON, J.D. 2005 *Introduction to Flight*. McGraw-Hill, 5<sup>th</sup> ed.

ASHLEY, H. & LANDAHL, M. 1965 *Aerodynamics of Wings and Bodies*. Addison-Wesley Publ. Co.; Dover republication 1985.

BERTIN, J.J. & SMITH, M.L. 1998 *Aerodynamics for Engineers*. Prentice-Hall, 3<sup>rd</sup> ed.

ÇENGEL, Y.A. & CIMBALA, J.M. 2006 *Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications*. McGraw-Hill.

GLAUERT, H. 1947 *The Elements of Aerofoil and Airscrew Theory*. Cambridge Univ. Press, 2<sup>nd</sup> ed.

KATZ, J. & PLOTKIN, A. 2001 *Low-Speed Aerodynamics*. Cambridge Univ. Press, 2<sup>nd</sup> ed.

KROO, I. 1997 *Applied aerodynamics — A digital textbook*. Desktop Aeronautics Inc. (CD-ROM).

KUETHE, A.M. & CHOW, C.-Y. 1998 *Foundations of Aerodynamics*. J. Wiley & Sons, 5<sup>th</sup> ed.

MCCORMICK, B.W. 1995 *Aerodynamics, Aeronautics, and Flight Mechanics*. J. Wiley & Sons, 2<sup>nd</sup> ed.

MILNE-THOMSON, L.M. 1958 *Theoretical Aerodynamics*. Macmillan & Co., 4<sup>th</sup> ed.; Dover republication 1973.

MUNSON, B.R., YOUNG, D.F. & OKIISHI, T.H. 2006 *Fundamentals of Fluid Mechanics*. J. Wiley & Sons, 5<sup>th</sup> ed.

MORAN, J. 1984 *An Introduction to Theoretical and Computational Aerodynamics*. J. Wiley & Sons; Dover republication 2003.

PHILLIPS W.F. 2004 *Mechanics of Flight*. J. Wiley & Sons.

THWAITES, B. (ed.) 1960 *Incompressible Aerodynamics*. Oxford Univ. Press; Dover republication 1987.

VON KÁRMÁN, T. 1957 *Aerodynamics*. Cornell Univ. Press; Dover republication 2004.

VON MISES, R. 1959 *Theory of Flight*. Dover.

**MEC770 – CONCEPTION AÉRODYNAMIQUE  
ANNEXE I**

**1. Caractéristiques du cours**

- Responsable(s) du cours :
- Coordonnées de l'enseignant :  
Groupe 01: Prof. Louis DUFRESNE (Louis.Dufresne@etsmtl.ca)
- Préalables : MEC335
- Crédits : 3

**2. Descriptif officiel du cours**

Acquérir les concepts de base de la science aérodynamique qui permettent d'évaluer la portance et la traînée d'un corps. Appliquer ces concepts à la caractérisation, l'analyse et la conception de profils et d'ailes simples.

Rappel des équations de la dynamique des fluides : équations de Navier-Stokes, d'Euler et de Bernoulli. Couche limite. Similitude. Estimation de la traînée. Nomenclature des profils aérodynamiques et des ailes. Écoulements incompressibles et sans effets visqueux. Équations de Laplace et écoulements potentiels élémentaires. Portance et théorème de Kutta-Joukowski. Théorie des profils minces. Méthode de panneaux. Théorie de la ligne portante. Chargement aérodynamique des ailes. Effets de compressibilité.

Séances de travaux pratiques composés d'exercices choisis pour illustrer la théorie vue en classe. Laboratoire d'introduction à l'aérodynamique numérique incluant l'utilisation de logiciels d'analyse et de conception de profils et d'ailes.

**3. Répartition des unités d'agrément du BCAPG**

Maths	Sciences naturelles	Études complémentaires	Science du génie	Conception en ingénierie	Total
0,0	22.6	0,0	27.2	9.0	58,8

**4. Qualités (Qx) et compétences (Cy) enseignées et ou évaluées**

**5. Évaluation**

**Absence à un examen**

Dans les cinq (5) jours ouvrables suivant la tenue de son examen, l'étudiant devra justifier son absence d'un examen durant la session auprès de la coordonnatrice – Affaires

départementales qui en référera au directeur du département. Pour un examen final, l'étudiant devra justifier son absence auprès du Bureau du registraire. Toute absence non justifiée par un motif majeur (maladie certifiée par un billet de médecin, décès d'un parent immédiat ou autre) à un examen entraînera l'attribution de la note zéro (0).

### **Plagiat et fraude**

Les clauses du « Chapitre 8 : Plagiat et fraude » du « Règlement des études de 1<sup>er</sup> cycle » s'appliquent dans ce cours ainsi que dans tous les cours du département. Afin de sensibiliser au respect de la propriété intellectuelle, tous les étudiants doivent consulter la page Citer, pas plagier! <http://www.etsmtl.ca/Etudiants-actuels/Cycles-sup/Realisation-etudes/Citer-pas-plagier>