



Collège Édouard-Montpetit  
ÉCOLE NATIONALE D'AÉROTECHNIQUE

# PLAN DE COURS

No du cours  
**280-104**

Session  
**HIVER 2002**

Nom du cours : **Aérodynamique** (3-3-2)

Nom du (des) rédacteur(s) : Gilbert Bureau  
Gérard Barrette

Nom du (des) professeur(s) : Gilbert Bureau  
Gérard Barrette

Département : **Préenvol**

## Périodes de consultation :

**Théorie** Professeur \_\_\_\_\_ Local \_\_\_\_\_

|       | lundi | mardi | mercredi | jeudi | vendredi |
|-------|-------|-------|----------|-------|----------|
| HEURE |       |       |          |       |          |
|       |       |       |          |       |          |

**Pratique** Professeur \_\_\_\_\_ Local \_\_\_\_\_

|       | lundi | mardi | mercredi | jeudi | vendredi |
|-------|-------|-------|----------|-------|----------|
| HEURE |       |       |          |       |          |
|       |       |       |          |       |          |

Nom de l'étudiant : \_\_\_\_\_

Groupe (théorie ) \_\_\_\_\_ (pratique) \_\_\_\_\_

Unique en  
**TON**  
genre!

## PRÉSENTATION DU COURS

### Situation du cours dans le programme

Le cours d'**Aérodynamique** fait partie du programme de Techniques de construction aéronautique qui oriente l'élève vers la définition du produit, la planification des étapes de fabrication, d'assemblage et de contrôle de la qualité des propulseurs et des aéronefs.

Ce cours fait suite au cours d'**Introduction à l'aérotechnique**, utilise des notions vues dans le cours **Calculs des corps rigides** et est offert aux élèves de troisième année lors de leur cinquième session.

### Utilité du cours dans le programme

En raison des tâches à caractère technique variées et complexes demandées aux techniciens-nes de construction d'aéronefs, ces derniers-ères doivent maîtriser les principes fondamentaux et les concepts régissant l'aérodynamique.

L'acquisition de ces connaissances permettra à l'élève de pouvoir définir le produit, de planifier les étapes de fabrication et de vérifier la qualité de certains composants des cellules et des propulseurs par des essais en soufflerie.

## OBJECTIFS GÉNÉRAUX

La connaissance de l'aérodynamique est nécessaire pour l'étude de la mécanique de l'avion, des qualités de vol, de la résistance des structures (statique et dynamique), de certains instruments de bord, du pilotage, etc.

Ce cours a pour but d'étudier les effets du mouvement relatif entre les fluides et les solides avec une référence particulière pour des applications en aérodynamique.

L'élève sera capable de présenter des travaux dans un bon français, en utilisant une structure de phrase correcte, permettant la mise en valeur de la terminologie scientifique et technique en rapport avec le cours.

# THÉORIE

## CHAPITRE I : Statique et dynamique des fluides

### Objectifs spécifiques

- Analyser les propriétés statiques et dynamiques des fluides.
- Expliquer le principe de Pascal.
- Expliquer le principe d'Archimède.
- Analyser l'équation générale des gaz.
- Expliquer le principe de continuité.
- Expliquer le principe de Bernoulli.
- Appliquer ces deux derniers principes pour étudier la soufflerie aérodynamique et le tube de Pitot.
- Analyser les pressions et les forces sur un corps dans un fluide en mouvement.

## Contenu

- Définir les termes : poids, force, masse, pression, pression atmosphérique, masse volumique, poids spécifique, densité, travail, puissance, énergie.
- Principe de Pascal; pression d'une colonne de liquide; valeur de la pression locale; valeur de la force totale sur un plan submergé (vertical, incliné); centre de poussée (center of pressure).
- Principe d'Archimède; flottaison.
- Équation générale des gaz; variation de la masse volumique de l'air.
- Définir le fluide parfait (idéal).
- Équation de continuité; principe de Bernoulli.
- Tube venturi; tube de Pitot; vitesse vraie et vitesse indiquée.
- Analyse dimensionnelle; équation générale de la force sur un corps immergé dans un fluide en mouvement.
- Nombre de Mach; nombre de Reynolds.
- Distribution des pressions autour d'un cylindre dans un fluide parfait en mouvement.

\*\*\*\*\* 1<sup>ière</sup> interrogation à la sixième semaine de cours \*\*\*\*\*

## **CHAPITRE II : Profils aérodynamiques**

### Objectifs spécifiques

Expliquer les forces de portance, les forces de traînée et les moments de tangage pour un profil d'aile.

### Contenu

- Caractéristiques des profils d'aile; représentation des forces; choix des coordonnées; coefficients de portance et de traînée.
- Étude de la portance; circulation; effet Magnus.
- Étude de la traînée; différentes sortes de traînée; traînée de forme; traînée de frottement (friction); traînée induite.
- Finesse.
- Étude des moments de tangage; coefficient du moment de tangage.
- Choix d'un profil d'aile; angle de portance nulle; pente de la courbe de portance; coefficient de portance maximum; coefficient de traînée minimum; variation de la finesse; variation du rapport portance<sup>3/2</sup>/traînée; foyer (aerodynamic center); moments de tangage autour du foyer.

\*\*\*\*\* 2<sup>ième</sup> interrogation à la neuvième semaine de cours \*\*\*\*\*

## **CHAPITRE III : Hélices**

### Objectifs spécifiques

- Décrire l'hélice géométriquement.
- Expliquer la cinématique de l'hélice.
- Expliquer l'hélice idéale.
- Expliquer la théorie simplifiée de l'élément de pale.
- Faire le choix du diamètre d'une hélice.

### Contenu

- Description géométrique de l'hélice; moyeu, pale, axe de l'hélice, axe de la pale, centre de l'hélice, plan de l'hélice, section d'une pale, bord d'attaque, bord de fuite, corde de référence, profondeur, largeur de la section d'une pale, angle de calage (angle de pale), vrillage de la pale, pas géométrique et pas relatif.

- Description cinématique; avance par tour et recul.
- Fonctionnement aérodynamique d'un élément de pale; fonctionnement propulseur, frein, moulinet (ou aëromoteur), en reverse (inversion de pas) et en drapeau.
- Théorie simplifiée de l'élément de pale; coefficients de traction, de puissance et de puissance-vitesse; rendement de l'hélice.

\*\*\*\*\* 3ième interrogation à la douzième semaine de cours \*\*\*\*\*

## CHAPITRE IV : Performances

Dans ce chapitre, l'étude portera uniquement sur les avions à hélices avec moteurs à quatre temps.

### Objectifs spécifiques

Analyser le vol en palier, le vol en montée et en descente et le vol plané.

### Contenu

- Différentes sortes de puissances.
- Puissance absorbée en vol de croisière (en palier); variation de la puissance en fonction de la vitesse; rayon d'action et endurance.
- Puissance absorbée en montée; angle de montée; taux de montée; plafond.
- Rayon d'action et endurance en vol plané; angle de plané; effet du poids sur le rayon d'action et sur l'endurance.

\*\*\*\*\* 4ième interrogation à la dernière semaine de la session \*\*\*\*\*

## MÉTHODES PÉDAGOGIQUES

Exposés magistraux, cahier de cours, livres de référence, acétates, explications et discussions.

# LABORATOIRE

## 1<sup>ère</sup> semaine :

### Introduction

- Présentation des activités et de la méthode de fonctionnement.
- Exigences sur la rédaction, la présentation et la remise des travaux.

## 2<sup>ème</sup> semaine :

### LABORATOIRE 1 : Distribution des pressions sur une aile

### Objectifs spécifiques

L'élève sera capable de tracer, de décrire, de comparer et d'expliquer les distributions des pressions autour d'une aile placée à différents angles d'attaque.

**3<sup>ème</sup>, 4<sup>ème</sup> et 5<sup>ème</sup> semaine :**

Problèmes du chapitre I.

**6<sup>ème</sup> semaine :**

**LABORATOIRE 2 : Étalonnage de la soufflerie aérodynamique**

Objectifs spécifiques

L'élève sera capable :

- de prendre les mesures de pressions nécessaires à l'étalonnage de la soufflerie;
- d'appliquer les équations de continuité et de Bernoulli de façon à pouvoir déterminer les vitesses théoriques et réelles dans la chambre d'essais.

**7<sup>ème</sup> et 8<sup>ème</sup> semaine :**

Problèmes du chapitre II.

**9<sup>ème</sup> semaine :**

**LABORATOIRE 3 : Distribution des pressions sur un disque**

Objectifs spécifiques

L'élève sera capable :

- de tracer, de décrire et de comparer les distributions de pressions sur un disque à différents angles d'attaque;
- de déduire la position et le mouvement du point d'arrêt (point de stagnation) en fonction de l'angle d'attaque.

**10<sup>ème</sup> semaine :**

**LABORATOIRE 4 : Coefficient de traînée d'un disque**

Objectifs spécifiques

L'élève sera capable :

- d'effectuer les mesures de traînée avec une balance;
- d'utiliser le graphique de l'étalonnage de la soufflerie pour déterminer la pression dynamique dans la chambre d'essais;
- d'appliquer l'équation de la traînée et de calculer le coefficient de traînée;
- de comparer ce coefficient de traînée obtenu aux coefficients de traînée obtenus par les chercheurs;
- d'expliquer le pourquoi de la forme de ce disque (chanfrein).

**11<sup>ème</sup> et 12<sup>ème</sup> semaine :**

Problèmes du chapitre III.

### **13<sup>ème</sup> semaine :**

#### **LABORATOIRE 5 : Courbes caractéristiques de trois ailes d'envergures différentes**

##### Objectifs spécifiques

L'élève sera capable :

- d'effectuer des mesures de portance et de traînée avec la balance;
- d'utiliser le graphique de l'étalonnage de la soufflerie pour déterminer la pression dynamique dans la chambre d'essais;
- d'appliquer les équations de portance et de traînée et de trouver les coefficients de portance et de traînée;
- de dessiner les courbes des coefficients de portance, de traînée, de la finesse et du rapport  $C_L^{3/2}/C_D$  vs  $\alpha$  de ces trois ailes d'envergures différentes;
- d'analyser les effets des allongements différents sur les caractéristiques aérodynamiques.

### **14<sup>ème</sup> et 15<sup>ème</sup> semaine :**

Problèmes du chapitre IV et examen final.

#### **LE RAPPORT DE LABORATOIRE**

##### **En-tête :**

- Nom de l'élève.
- Numéro de groupe.
- Date du début de l'expérience.
- Nom et numéro de la matière.
- Titre de l'expérience.
- Nom du professeur.

##### **Introduction et but :**

Il suffit d'indiquer, de façon succincte (EN QUELQUES MOTS!) ce à quoi visait l'expérience.

##### **Matériel :**

- Liste des appareils employés.
- Croquis des appareils et/ou des montages.

##### **Méthode :**

Il est habituellement important de bien décrire la méthode employée pour faire l'expérience, car la méthode peut conditionner grandement les résultats obtenus et leur interprétation.

L'élève sera dispensé de l'élaboration de cette étape quand un texte expliquant le protocole de l'expérience lui aura été remis; il sera alors inutile de répéter et de copier dans son rapport (pour allonger son propre texte?) les indications déjà fournies dans le texte du protocole. Il suffira dans ce cas de préciser les divergences avec la méthode suggérée, s'il y a lieu.

## Résultats :

- 1) Tableau des résultats : Il faut les indiquer sous forme de tableau, de façon à ce que la présentation en soit très claire. On doit d'abord indiquer les résultats bruts en y ajoutant certains calculs s'il y a lieu.
- 2) Exemple de calcul : Un exemple détaillé des calculs qui ont permis d'obtenir les résultats est expliqué.
- 3) Courbes : Pour simplifier les résultats, un graphique se révélera habituellement être de grande utilité. Chaque graphique doit porter un titre précis. On doit indiquer la nature des mesures portées sur chaque axe, sans en oublier les unités. Il faut ensuite bien situer les points expérimentaux et finalement tracer la courbe qui, sans rejoindre nécessairement tous les points, respecte le mieux possible leur orientation générale.

Il ne faut pas hésiter à indiquer des résultats qui semblent erronés. L'important est d'indiquer honnêtement les résultats que l'on a obtenus et de savoir les expliquer dans sa discussion.

## Discussion :

C'est cette partie du rapport qui permet le mieux d'apprécier la compréhension de l'élève concernant l'expérience réalisée.

- 1) Théorie : Doit comporter une part importante de recherche sur les travaux déjà réalisés par les chercheurs.

Comment intégrer à sa discussion le point de vue des chercheurs ? Il faut en premier lieu comprendre ce qu'ils expriment. Ensuite, il faut le faire passer dans son propre texte. Deux façons sont possibles : soit résumer leur pensée, soit l'exprimer de façon personnelle, en ses termes à soi. Que l'on procède en résumant personnellement ou en citant textuellement, il faut toujours que l'emprunt soit fait de façon valable. Il s'agit de réaliser un certain équilibre entre deux façons de procéder; un travail qui ne fait qu'assembler bout à bout des citations n'est guère personnel. Par contre, il est excellent de savoir, à l'occasion, aller chercher sans le transformer un passage très expressif que l'on ne saurait rédiger en de meilleurs termes.

### *Il faut bien indiquer la référence!*

Inutile d'insister longuement, je suppose, sur la nécessité de s'exprimer dans un français correct : ce n'est pas une préoccupation superflue chez des scientifiques! De plus, le travail de correction devient tellement plus agréable pour le professeur.

- 2) Analyse des résultats et des courbes : Comparaison des résultats obtenus avec les résultats théoriques ou des résultats obtenus par les chercheurs. En plus des explications théoriques, la discussion comportera avantageusement des indications sur les causes d'erreurs dans les résultats ou sur le degré de précision des mesures effectuées.

## Conclusion :

- Bref résumé des résultats auxquels l'expérience a abouti et une appréciation de ces résultats.
- Les causes d'erreurs.
- Suggestions visant à améliorer la façon de procéder.

## BIBLIOGRAPHIE

BINDER, Raymond C., Fluid Mechanics, 5th ed. Englewood Cliffs, N.J., Prentice-Hall (1973), 448 pages.

CHAFFOIS, J., Aérodynamique de l'avion, Paris, Dunod, 1962.

DOMMASH, Daniel O., SHERBY, Sydney S., CONNOLY, Thomas F., Airplane Aerodynamics, Toronto, Pittman, 1958, 560 pages.

GILES, Ranauld V., Mécanique des fluides et hydraulique, Toronto, McGraw-Hill, 1975, 272 pages (Série Schaum).

GILES, Ranauld V., Shaum's Outline of Theory and Problems of Fluid Mechanics and Hydraulics, 2nd ed., New-York, Schaum Publishing, 1962, 274 pages.

POPE, Alan, Basic Wing and Airfoil Theory, 1st ed. Toronto, McGraw-Hill, 1951, 294 pages.

## ÉVALUATION

Les interrogations de la partie théorique inclueront des questions à développement et des problèmes.

Pour la partie laboratoire, des rapports en équipes de quatre seront exigés, des examens individuels pratiques et des examens écrits à développement et/ou à choix multiples seront administrés pour chacune des expériences.

Une fausse réponse à une question à choix multiples entraîne, en plus de la note "zéro" pour cette question, une perte de points équivalente à **25%** de la note prévue pour cette même question.

**10%** de la note de chaque rapport est attribuée pour la présentation et le français.

L'exactitude des réponses et du raisonnement seront évalués.

La cohérence, la clarté des idées et le choix judicieux du vocabulaire spécialisé seront évalués.

## PONDÉRATION

|                    |                     |   |                   |
|--------------------|---------------------|---|-------------------|
| <b>Théorie</b>     | Interrogation No 1  | : | 15 POINTS         |
|                    | Interrogation No 2  | : | 15 POINTS         |
|                    | Interrogation No 3  | : | 15 POINTS         |
|                    | Interrogation No 4  | : | 15 POINTS         |
| <b>Laboratoire</b> | Rapports et examens | : | 40 POINTS         |
| <b>TOTAL</b>       |                     |   | <b>100 POINTS</b> |

| OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE                                                                                                                                                |                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                              | MODE D'ÉVALUATION |                       |                   |             |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|-------------|
| Énoncé de l'objectif                                                                                                                                                     | Valeur de l'objectif (%) | Thèmes de connaissance                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Valeur relative accordée au comportement (%) | Examen            | Rapports écrits       | Travaux pratiques | Observation |
| 1. Analyser les propriétés statiques et dynamiques des fluides.                                                                                                          | 3%                       | · Savoir définir les termes reliés aux propriétés statiques et dynamiques des fluides.                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 3%                                           | X                 |                       |                   |             |
| Expliquer les principes de Pascal, d'Archimède, de continuité et de Bernoulli. Appliquer ces principes pour résoudre les problèmes de statique et dynamique des fluides. | 3%<br>9%                 | · Énoncer et/ou prouver ces principes.<br>· Savoir résoudre les problèmes de la statique et de la dynamique des fluides.                                                                                                                                                                                                                                                                    | 3%<br>9%                                     | X<br>X            |                       |                   |             |
| 2. Expliquer les forces de portance et de trainée et le moment de tangage.                                                                                               | 15%                      | · Expliquer la circulation, l'effet Magnus, les différentes sortes de trainée, le moment de tangage, les coefficients de portance, de trainée et de tangage et leurs variations.<br>· Savoir résoudre les problèmes concernant la portance, la trainée et le tangage.                                                                                                                       | 6%<br>9%                                     | X<br>X            |                       |                   |             |
| 3. Décrire l'hélice géométriquement et expliquer la cinématique de l'hélice, l'hélice idéale et la théorie simplifiée de l'élément de pale.                              | 15%                      | · Connaître les différentes parties d'une hélice.<br>· Savoir expliquer comment elle fonctionne du point de vue aérodynamique dans ses différentes fonctions.<br>· Appliquer la théorie simplifiée de l'élément de pale et définir les coefficients de puissance et de puissance vitesse.<br>· Définir le rendement de l'hélice.<br>· Savoir résoudre les problèmes concernant les hélices. | 6%<br>9%                                     | X<br>X            |                       |                   |             |
| 4. Analyser le vol en palier, le vol en montée et en descente et le vol plané.                                                                                           | 15%                      | · Expliquer les différentes sortes de puissances et leurs variations pour le vol en palier et le vol en montée et en descente.<br>· Savoir résoudre les problèmes concernant les performances.                                                                                                                                                                                              | 6%<br>9%                                     | X<br>X            |                       |                   |             |
| 5. Tracer, décrire, comparer et expliquer des courbes aérodynamiques.                                                                                                    | 21%                      | Après 5 expériences l'étudiant devra savoir : tracer, décrire, comparer et expliquer des courbes de pressions, de coefficients de portance, de trainée, de la finesse et du rapport $C_L^{3/2}/C_D$ .<br><br>1 <sup>ère</sup> exp.<br>2 <sup>ème</sup> exp.<br>3 <sup>ème</sup> exp.<br>4 <sup>ème</sup> exp.<br>5 <sup>ème</sup> exp.                                                      | 4%<br>4%<br>4%<br>4%<br>5%                   |                   | X<br>X<br>X<br>X<br>X |                   |             |
| 6. Utiliser les différents appareils dans le laboratoire.                                                                                                                | 19%                      | Manipuler les différents appareils pour faire les expériences.<br><br>1 <sup>ère</sup> exp.<br>2 <sup>ème</sup> exp.<br>3 <sup>ème</sup> exp.<br>4 <sup>ème</sup> exp.                                                                                                                                                                                                                      | 4%<br>5%<br>5%<br>5%                         | X<br>X<br>X<br>X  |                       | X<br>X<br>X<br>X  |             |
| TOTAL                                                                                                                                                                    | 100                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 100                                          | 70                | 21                    | 9                 |             |