
PROGRAMME INGÉNIEUR

2025-2026

2e année / 3e année

Option Disciplinaire Aéronautique

OD AERONAUTIQUE

RESPONSABLE DU PROGRAMME

Laurent PERRET



1er Semestre

Unité d'Enseignement	Crédits ECTS	Parcours	Acronyme	Libellé
UE 73	12	Tronc commun	DYGAZA DYVOL ISN STAV	Dynamique des gaz Dynamique du vol Introduction à la simulation numérique Modélisation de la structure des avions
UE 74	13	Tronc commun	AEFP DYSTR MTURB P1AERO PROAE	Aérodynamique en fluide parfait Dynamique des structures Modélisation de la turbulence Projet 1 Systèmes propulsifs en aéronautique

2e Semestre

Unité d'Enseignement	Crédits ECTS	Parcours	Acronyme	Libellé
UE 83	14	Tronc commun	AEAC CAE P2AERO SAE SPSAE	Aéroacoustique Conception des aéronefs Projet 2 Simulations aérodynamiques Sécurité passive des structures aéronautiques

INGÉNIEUR - OD AERONAUTIQUE

2e année / 3e année - 1er Semestre - UE 73 / 93

Dynamique des gaz [DYGAZA]

Responsable(s) du cours : Guy CAPDEVILLE

Pré-requis

cours de Mécanique des Fluides générale.

Objectifs

Introduction générale à la physique des écoulements compressibles, appliquée au domaine de l'aérodynamique.

Plan de l'enseignement

1. Principes fondamentaux
2. Équations pour un écoulement compressible en régime stationnaire
3. Écoulements compressibles uni-dimensionnels
4. Système d'ondes dans un écoulement supersonique stationnaire.
5. Propulsion par réaction
6. TD utilisant le logiciel STARCCM+

Bibliographie sur laquelle s'appuie le cours

- [1] A.H. Shapiro, The dynamics and thermodynamics of compressible fluid flow, Vol. I, Ed. Ronald Press, (1953)
- [2] M. J. Zucrow, J. D. Hoffman, Gas Dynamics, Vol. I, Ed. Wiley & Sons, (1976).
- [3] J. D. Anderson, Modern compressible flows. With historical perspective, Ed. Mc GrawHill, (2003).

Compétences auxquelles forme cet enseignement

- C2 : Analyser un système complexe, dans toutes ses dimensions (scientifiques, économiques, humaines, sociale) et proposer une solution
 - C2C1 : Représenter et modéliser
 - Intermédiaire

Compétences observées via cet enseignement

- C2 : Analyser un système complexe, dans toutes ses dimensions (scientifiques, économiques, humaines, sociale) et proposer une solution
 - Intermédiaire

Objectifs de Développement Durable (ODD) couverts par cet enseignement

Consommation et production responsables / Énergie propre et d'un coût abordable

Positionnement Développement Durable et Responsabilité Sociétale

Énergie propre dans un cadre de développement durable.

Évaluation

Évaluation collective : EVC 1 (coefficient 1.0)

LANGUE DU COURS	CRÉDITS ECTS	COURS MAGISTRAUX	TRAVAUX DIRIGÉS	TRAVAUX PRATIQUES	PROJET	DEVOIRS SURVEILLÉS
Français	3	26 hrs	6 hrs	0 hrs	0 hrs	0 hrs

INGÉNIEUR - OD AERONAUTIQUE

2e année / 3e année - 1er Semestre - UE 73 / 93

Dynamique du vol [DYVOL]

Responsable(s) du cours : Laurent PERRET

Objectifs

A partir des notions de base de l'aérodynamique (Cours INTAERO), donner les équations des écoulements autour des surfaces portantes, déterminer les efforts aérodynamiques correspondants, définir les équilibres et les marges de stabilité pour tous les mouvements de l'avion ainsi que ses performances.

Plan de l'enseignement

1. Introduction
2. Rappels mécanique des fluides et aérodynamique
3. La portance
4. La traînée
5. Effet du nombre de Mach
6. Des éléments sur la propulsion
7. Mécanique du vol
8. Performances de l'avion

Bibliographie sur laquelle s'appuie le cours

- Aerodynamics, Aeronautics and Flight Mechanics, B.W. McCormick, Wiley;
- Introduction to Flight, J.D. Anderson, McGraw Hill;
- Flight Physics, E. Torenbeek & H. Wittenberg, Springer;
- Boundary Layer Theory, H. Schlichting & K. Gersten, Springer;
- Polycopié de Mécanique des Fluides, Pr J.-F. Sini, ECN

Compétences auxquelles forme cet enseignement

- C2 : Analyser un système complexe, dans toutes ses dimensions (scientifiques, économiques, humaines, sociale) et proposer une solution
 - C2C2 : Résoudre et arbitrer
 - Intermédiaire
 - Compétent

Compétences observées via cet enseignement

- C2 : Analyser un système complexe, dans toutes ses dimensions (scientifiques, économiques, humaines, sociale) et proposer une solution
 - Intermédiaire
 - Compétent

Objectifs de Développement Durable (ODD) couverts par cet enseignement

Énergie propre et d'un coût abordable / Industrie, innovation et infrastructures / Lutte contre les changements climatiques

Positionnement Développement Durable et Responsabilité Sociétale

L'amélioration des performances (efficacité, matériaux, masse, consommation de carburant) des appareils touche directement des problématiques en lien avec le développement durable: tout gain se traduit par une consommation moindre donc des émissions de gaz à effet de serre réduites. Les enjeux liés à la motorisation (nouvelles technologie, électrique, à hydrogène, hybride) concernent aussi le développement durable. La maîtrise des performances de vol des appareils (liées à la masse, ainsi qu'aux forces aérodynamiques) impacte directement son efficacité et notamment sa consommation de carburant ou la possibilité d'utiliser des stratégies de motorisation n'utilisant pas des carburants d'origines fossiles.

Évaluation

Évaluation collective : EVC 1 (coefficient 0.33)

Évaluation individuelle : EVI 1 (coefficient 0.67)

LANGUE DU COURS	CRÉDITS ECTS	COURS MAGISTRAUX	TRAVAUX DIRIGÉS	TRAVAUX PRATIQUES	PROJET	DEVOIRS SURVEILLÉS
Français	3	22 hrs	8 hrs	0 hrs	0 hrs	2 hrs

INGÉNIEUR - OD AERONAUTIQUE

2e année / 3e année - 1er Semestre - UE 73 / 93

Introduction à la simulation numérique [ISN]

Responsable(s) du cours : Laurent GORNET / Zhe LI

Objectifs

Acquérir une culture générale en modélisation numérique.

Plan de l'enseignement

- Classification des EDP. Elliptiques/Parabolique/Hyperboliques.
- Présentation des principales méthodes de discrétisation : Différences Finies, Volumes Finis, Eléments Finis. Caractérisation et contrôle d'un algorithme numérique.
- Applications à des cas représentatifs en aérodynamique et structure.
- Applications sur le code Cast3M en fluide et structure (CEA)
- Deep Learning , Réseaux neuronaux informés par la physique (Physics-Informed Neural Networks)

Bibliographie sur laquelle s'appuie le cours

Résolution numérique des équations aux dérivés partielles, A. Le. Pourhiet, Cepadues
Introduction à la méthode des éléments finis en mécanique des fluides, S. Gounand, CEA
A first Course in finite Elements, J. Fish, T. Belytschko, Wiley
Cours éléments finis, Centrale Nantes, H Oudin : <https://meefi.pedagogie.ec-nantes.fr/MEF/MEF.htm>

Compétences auxquelles forme cet enseignement

- C2 : Analyser un système complexe, dans toutes ses dimensions (scientifiques, économiques, humaines, sociale) et proposer une solution
 - C2C1 : Représenter et modéliser
 - Intermédiaire
 - C2C2 : Résoudre et arbitrer
 - Intermédiaire

Compétences observées via cet enseignement

Aucune compétence observée

Objectifs de Développement Durable (ODD) couverts par cet enseignement

Éducation de qualité / Industrie, innovation et infrastructures

Positionnement Développement Durable et Responsabilité Sociétale

L'introduction aux méthodes numériques contribue aux enjeux du développement durable et de la responsabilité sociétale en formant les étudiants à des outils de modélisation, de simulation permettant une meilleure compréhension et une réduction des impacts environnementaux et sociétaux des systèmes techniques. Les méthodes numériques sont essentielles pour : Limiter le recours à l'expérimentation physique, réduisant ainsi la consommation de matériaux, d'énergie et les déchets associés ; Optimiser les structures, procédés et systèmes, afin d'améliorer leur efficacité, leur durabilité et leur durée de vie ; Évaluer des scénarios alternatifs (matériaux, chargements, conditions d'usage) favorisant des choix plus responsables ; L'enseignement sensibilise également les étudiants à : La sobriété numérique (choix des modèles, précision nécessaire, coût de

calcul) ; La responsabilité de l'ingénieur ou du scientifique dans l'utilisation des outils de simulation pour éclairer la décision.

Évaluation

Évaluation collective : EVC 1 (coefficient 1.0)

LANGUE DU COURS	CRÉDITS ECTS	COURS MAGISTRAUX	TRAVAUX DIRIGÉS	TRAVAUX PRATIQUES	PROJET	DEVOIRS SURVEILLÉS
Français	3	16 hrs	8 hrs	8 hrs	0 hrs	0 hrs

INGÉNIEUR - OD AERONAUTIQUE

2e année / 3e année - 1er Semestre - UE 73 / 93

Modélisation de la structure des avions [STAV]

Responsable(s) du cours : Laurent GORNET

Objectifs

Décrire les lois de comportement des matériaux métalliques et composites dans les domaines linéaire et non-linéaire. Techniques de changement d'échelle en matériaux et en structures (poutres composites). Simuler l'endommagement et l'amorçage de la propagation des fissures pour des chargements quasi-statique et de fatigue. Calcul éléments finis sur Abaqus de structures aéronautiques avec des éléments poutres, plaques et tridimensionnels.

Plan de l'enseignement

Mécanique de la rupture : théorie énergétique de la rupture, singularité du champ de contrainte, propagation de fissures en mode mixte, Mise en oeuvre de ma mécanique de la rupture à l'aide de la méthode des Eléments Finis.
Plasticité et instabilités: Plasticité et instabilité des structures métalliques élancées.
Mécanique de l'endommagement : Méthode de l'état local, fatigue, aspects phénoménologiques, modèles de comportement (métaux, composites), objectivité et régularisation des modèles de comportement adoucissants. Simulation Eléments Finis du comportement mécanique des structures Aéronautiques jusqu'à la phase ultime de la rupture.
Interaction modèles-expériences: Identification des lois de comportement, optimisation d'une structure aéronautique avec le code Abaqus.

Bibliographie sur laquelle s'appuie le cours

Aircraft Structures, for Engineering students, THG Megson, Butterworth Heinemann
Généralités sur les matériaux composites, L. Gornet, hal.archives-ouvertes.fr
Mécanique des matériaux solides, J. Lemaitre - JL Chaboche
Mechanics of Aircraft structures, C.T. Sun, Wiley

Compétences auxquelles forme cet enseignement

Aucune compétence enseignée

Compétences observées via cet enseignement

- C2 : Analyser un système complexe, dans toutes ses dimensions (scientifiques, économiques, humaines, sociale) et proposer une solution
 - Intermédiaire
 - Compétent

Objectifs de Développement Durable (ODD) couverts par cet enseignement

Éducation de qualité / Industrie, innovation et infrastructures

Positionnement Développement Durable et Responsabilité Sociétale

L'enseignement « Modélisation de la structure des avions » vise à former des ingénieurs capables de concevoir des structures aéronautiques à la fois performantes, sûres et respectueuses de l'environnement. Il intègre une approche de développement durable en favorisant l'optimisation des matériaux. Parallèlement, il sensibilise les étudiants à la responsabilité sociétale, en mettant l'accent sur la sécurité. Cette approche permet de préparer à des solutions technologique durable dans l'industrie aéronautique.

Évaluation

Évaluation individuelle : EVI 1 (coefficient 1.0)

LANGUE DU COURS	CRÉDITS ECTS	COURS MAGISTRAUX	TRAVAUX DIRIGÉS	TRAVAUX PRATIQUES	PROJET	DEVOIRS SURVEILLÉS
Français	3	24 hrs	6 hrs	0 hrs	0 hrs	2 hrs

INGÉNIEUR - OD AERONAUTIQUE

2e année / 3e année - 1er Semestre - UE 74 / 94

Aérodynamique en fluide parfait [AEFP]

Responsable(s) du cours : Guy CAPDEVILLE

Pré-requis

cours de DYGAZ

Objectifs

- Introduire les modèles classiques d'un écoulement subsonique incompressible.
- Décrire les techniques de modélisation dérivées de ces modèles.
- Décrire l'évolution des idées en aéronautique, depuis le début du XIXème siècle.
- Les TD sont consacrés à la programmation d'un des modèles présentés en cours-

Plan de l'enseignement

- Concepts et principes introductifs en aérodynamique.
- Fondamentaux d'un écoulement incompressible non-visqueux - Théorème de Kutta-Joukowski.
- Écoulement incompressible autour de profils - Méthode numérique des singularités vorticitaires.
- Écoulement incompressible autour d'ailes - La «ligne portante» de Prandtl.
- Théorie linéaire des profils minces - La correction de Prandtl-Glauert.
- Calcul des caractéristiques aérodynamiques d'un profil par la méthode des singularités (TD).

Bibliographie sur laquelle s'appuie le cours

- J.D. Anderson, Fundamentals of aerodynamics, Ed. Mc Graw-Hill, (1984)
- A. H. Shapiro, The dynamics and thermodynamics of compressible fluid flow, Vol. I, Ed. Ronald Press, (1953).

Compétences auxquelles forme cet enseignement

- C2 : Analyser un système complexe, dans toutes ses dimensions (scientifiques, économiques, humaines, sociale) et proposer une solution
 - C2C3 : Penser et agir en environnement incertain
 - Intermédiaire

Compétences observées via cet enseignement

- C2 : Analyser un système complexe, dans toutes ses dimensions (scientifiques, économiques, humaines, sociale) et proposer une solution
 - Intermédiaire

Objectifs de Développement Durable (ODD) couverts par cet enseignement

Bonne santé et bien-être / Consommation et production responsables / Énergie propre et d'un coût abordable

Positionnement Développement Durable et Responsabilité Sociétale

Aérodynamique d'un avion dans le cadre d'un développement durable.

Évaluation

Évaluation collective : EVC 1 (coefficient 1.0)

LANGUE DU COURS	CRÉDITS ECTS	COURS MAGISTRAUX	TRAVAUX DIRIGÉS	TRAVAUX PRATIQUES	PROJET	DEVOIRS SURVEILLÉS
Français	3	24 hrs	8 hrs	0 hrs	0 hrs	0 hrs

INGÉNIEUR - OD AERONAUTIQUE

2e année / 3e année - 1er Semestre - UE 74 / 94

Dynamique des structures [DYSTR]

Responsable(s) du cours : Pascal COSSON / Patrick ROZYCKI

Pré-requis

Fonctions usuelles, Dérivation, Intégration, Equations différentielles, Analyse vectorielle et Algèbre linéaire

Objectifs

Dans l'aéronautique, de nombreux systèmes mécaniques évoluent de manière dynamique et doivent répondre à des exigences strictes de sécurité, de fiabilité et de performance. Il peut s'agir, par exemple, de structures d'ailes, de trains d'atterrissage ou de composants de fuselage, pour lesquels il est essentiel de déterminer les fréquences et modes propres et/ou de vérifier le dimensionnement des liaisons critiques. Quel que soit le sous-système considéré, l'ingénieur.e doit être capable d'analyser la conception, le comportement dynamique et la modélisation de ces structures complexes afin de garantir leur bon fonctionnement dans toutes les conditions opérationnelles.

Face à ces enjeux, l'ingénieur.e doit être capable de mobiliser des approches analytiques simples, de développer des modélisations plus élaborées lorsque cela est nécessaire et de s'appuyer sur une connaissance raisonnée des méthodes de résolution afin de répondre efficacement à un problème donné. Il doit également être en mesure d'interagir sur ces systèmes, tant au niveau de leur conception que de leur optimisation afin d'en améliorer les performances et la fiabilité.

Le cours poursuit deux objectifs principaux.

- Le premier consiste à fournir aux élèves ingénieur.e.s les outils méthodologiques nécessaires à l'élaboration de modèles analytiques simples mais suffisamment représentatifs, permettant d'obtenir rapidement des ordres de grandeur pertinents et d'apporter une première réponse fiable à un problème de dynamique des solides indéformables.
- Le second objectif vise à acquérir des bases solides sur les méthodes de résolution disponibles, qu'elles soient analytiques ou numériques et à développer un esprit critique quant à leur domaine de validité, leurs avantages et leurs limites.

A l'issue de ce cours, l'élève ingénieur.e sera capable de proposer une modélisation adaptée à un problème donné, de choisir une stratégie de résolution cohérente et d'interpréter les résultats obtenus avec discernement. Il/elle sera également en mesure de porter un regard critique sur les codes de calcul utilisés en pratique industrielle afin de confirmer ou, le cas échéant, de remettre en question les résultats numériques fournis.

Dans cette optique, le cours s'appuie également sur l'utilisation d'un code de calcul commercial de référence dans le domaine de la dynamique des solides indéformables. Ce logiciel sera mobilisé dans le cadre d'un projet appliqué, fondé en partie sur un cas concret réel. Il permettra aux élèves ingénieur.e.s de confronter les approches théoriques et/ou analytiques vues en cours à des simulations numériques professionnelles. Ce projet vise à renforcer la compréhension des hypothèses de modélisation, à analyser la pertinence des résultats obtenus et à développer une démarche critique proche des pratiques de l'ingénierie industrielle.

Plan de l'enseignement

1. Modélisation de systèmes multi-corps
 - Paramétrage, liaisons, équations de Lagrange, paramétrage cinématiquement ou non admissible...
2. Vibrations.
 - Système à 1 ou plusieurs degrés de liberté, problème aux valeurs propres, vibrations libres ou forcées...
3. Méthodes numérique pour l'intégration en temps des équations
 - Euler, Runge Kutta, Newmark, méthodes implicites ou explicites, stabilité...

Bibliographie sur laquelle s'appuie le cours

M. Géradin & A. Cardon, Flexible Multibody Dynamics - A Finite Element Approach, Wiley, 2001

D. Le Houedec, Mécanique des Solides, Nantes

Compétences auxquelles forme cet enseignement

- C2 : Analyser un système complexe, dans toutes ses dimensions (scientifiques, économiques, humaines, sociale) et proposer une solution
 - C2C1 : Représenter et modéliser
 - Intermédiaire
 - Compétent
 - C2C2 : Résoudre et arbitrer
 - Intermédiaire
 - Compétent
 - C2C3 : Penser et agir en environnement incertain
 - Intermédiaire
 - Compétent

Compétences observées via cet enseignement

- C2 : Analyser un système complexe, dans toutes ses dimensions (scientifiques, économiques, humaines, sociale) et proposer une solution
 - Intermédiaire
 - Compétent

Objectifs de Développement Durable (ODD) couverts par cet enseignement

Industrie, innovation et infrastructures

Positionnement Développement Durable et Responsabilité Sociétale

Ce cours contribue au développement des compétences liées au développement durable et à la responsabilité sociétale de l'ingénieur en encourageant une approche raisonnée et critique de la modélisation et du calcul en dynamique des solides indéformables. Il permet aux élèves ingénieur.e.s d'évaluer l'impact de leurs choix de modélisation sur la conception, la validation et l'optimisation des systèmes mécaniques tout en favorisant une utilisation réfléchie des ressources et en limitant les coûts matériels et énergétiques liés principalement aux essais expérimentaux. Le projet associé, fondé sur un code de calcul commercial et des cas industriels réels, place les élèves ingénieur.e.s dans un contexte proche de la pratique professionnelle. Il leur permet de confronter modèles analytiques et simulations numériques, d'analyser la pertinence des résultats et de développer une démarche critique. Cette expérience vise à former des ingénieur.e.s capables de prendre des décisions éclairées et responsables dans des situations techniques complexes.

Évaluation

Évaluation collective : EVC 1 (coefficient 1.0)

LANGUE DU COURS	CRÉDITS ECTS	COURS MAGISTRAUX	TRAVAUX DIRIGÉS	TRAVAUX PRATIQUES	PROJET	DEVOIRS SURVEILLÉS
Français	3	12 hrs	8 hrs	12 hrs	0 hrs	0 hrs

INGÉNIEUR - OD AERONAUTIQUE

2e année / 3e année - 1er Semestre - UE 74 / 94

Modélisation de la turbulence [MTURB]

Responsable(s) du cours : Laurent PERRET

Objectifs

Ce cours constitue une introduction aux écoulements turbulents et à leur modélisation.

Il est complété par des applications sur l'analyse statistique d'un écoulement de sillage et l'étude des modèles de turbulence à l'aide d'un code CFD.

Plan de l'enseignement

1. Introduction
2. Phénoménologie de la turbulence
3. La couche limite turbulente
4. Modélisation statistique de la turbulence
5. Modélisation par la simulation des grandes échelles

Bibliographie sur laquelle s'appuie le cours

- Boundary Layer Theory, H. Schlichting & K. Gersten, Springer;
- Turbulent Flows, S.B. Pope, Cambridge univ Press;
- Turbulence en mécanique des fluides, P. Chassaing, Cépaduès

Compétences auxquelles forme cet enseignement

- C2 : Analyser un système complexe, dans toutes ses dimensions (scientifiques, économiques, humaines, sociale) et proposer une solution
 - C2C1 : Représenter et modéliser
 - Intermédiaire
 - C2C2 : Résoudre et arbitrer
 - Intermédiaire

Compétences observées via cet enseignement

Aucune compétence observée

Objectifs de Développement Durable (ODD) couverts par cet enseignement

Énergie propre et d'un coût abordable / Industrie, innovation et infrastructures / Lutte contre les changements climatiques

Positionnement Développement Durable et Responsabilité Sociétale

Les écoulements industriels et environnementaux sont du fait de leur vitesse et dimensions caractéristiques quasiment systématiquement turbulents. La capacité à les comprendre, les modéliser et les simuler est cruciale pour pouvoir prédire et améliorer les performances des systèmes industriels tels que les systèmes de production d'énergie (échangeurs, centrales nucléaires, éoliennes, etc) ou encore les avions en réduisant leur traînée et donc consommation. Ce cours, en formant les étudiants à la modélisation de la turbulence contribue donc à la création et à l'adaptation des systèmes pour une utilisation plus raisonnée et efficace des ressources.

Évaluation

Évaluation collective : EVC 1 (coefficient 0.5)

Évaluation individuelle : EVI 1 (coefficient 0.5)

LANGUE DU COURS	CRÉDITS ECTS	COURS MAGISTRAUX	TRAVAUX DIRIGÉS	TRAVAUX PRATIQUES	PROJET	DEVOIRS SURVEILLÉS
Français	3	16 hrs	8 hrs	6 hrs	0 hrs	2 hrs

INGÉNIEUR - OD AERONAUTIQUE

2e année / 3e année - 1er Semestre - UE 74 / 94

Projet 1 [P1AERO]

Responsable(s) du cours : Guy CAPDEVILLE

Pré-requis

cours d'Option Aéronautique

Objectifs

Mise en application des enseignements dispensés dans l'option.

Compétences auxquelles forme cet enseignement

- C2 : Analyser un système complexe, dans toutes ses dimensions (scientifiques, économiques, humaines, sociale) et proposer une solution
 - C2C2 : Résoudre et arbitrer
 - Intermédiaire

Compétences observées via cet enseignement

- C1 : Concevoir et prototyper des dispositifs innovants et créateurs de valeur
 - Intermédiaire

Objectifs de Développement Durable (ODD) couverts par cet enseignement

Consommation et production responsables

Positionnement Développement Durable et Responsabilité Sociétale

Développement de solutions techniques compatibles avec un développement durable.

Évaluation

Évaluation collective : EVC 1 (coefficient 1.0)

LANGUE DU COURS	CRÉDITS ECTS	COURS MAGISTRAUX	TRAVAUX DIRIGÉS	TRAVAUX PRATIQUES	PROJET	DEVOIRS SURVEILLÉS
Français	1	0 hrs	0 hrs	0 hrs	32 hrs	0 hrs

INGÉNIEUR - OD AERONAUTIQUE

2e année / 3e année - 1er Semestre - UE 74 / 94

Systèmes propulsifs en aéronautique [PROAE]

Responsable(s) du cours : Vincent BERTHOMÉ

Objectifs

L'objectif de ce cours est d'étudier de façon approfondie la thermodynamique des turboréacteurs utilisés en propulsion aéronautique.

Plan de l'enseignement

Dans un premier temps, une présentation générale et historique permettra de définir la problématique de la propulsion aéronautique et les enjeux associés.

Suite à cela, une présentation des systèmes propulsifs aéronautiques (turbomoteurs et turboréacteurs) sera effectuée. Le cycle de turboréacteur monocorps monoflux sera étudié ainsi que son fonctionnement hors adaptation. Enfin, une étude du turboréacteur double corps double flux sera effectuée.

Dans une dernière partie, la motorisation des hélicoptères sera étudiée (thermodynamique générale et thermique, rôle et principe de fonctionnement, les voilures tournantes).

Compétences auxquelles forme cet enseignement

Objectifs de Développement Durable (ODD) couverts par cet enseignement

Consommation et production responsables / Énergie propre et d'un coût abordable / Industrie, innovation et infrastructures / Lutte contre les changements climatiques

Positionnement Développement Durable et Responsabilité Sociétale

Le cours de PROAE présente les dernières avancées technologiques dans le domaine de la propulsion aéronautique en prenant en compte les contraintes de la décarbonation de ce secteur.

Évaluation

Évaluation individuelle : EVI 1 (coefficient 0.5)

LANGUE DU COURS	CRÉDITS ECTS	COURS MAGISTRAUX	TRAVAUX DIRIGÉS	TRAVAUX PRATIQUES	PROJET	DEVOIRS SURVEILLÉS
Français	3	30 hrs	0 hrs	0 hrs	0 hrs	2 hrs

INGÉNIEUR - OD AERONAUTIQUE

2e année / 3e année - 2e Semestre - UE 103 / 83

Aéroacoustique [AEAC]

Responsable(s) du cours : Guy CAPDEVILLE

Pré-requis

cours de DYGAZ et MTURB.

Objectifs

Comprendre et modéliser les mécanismes générateurs de bruit dans un écoulement turbulent de fluide compressible.

Plan de l'enseignement

- Équations en perturbations.
- Analogies aéro-acoustiques.
- Méthodes numériques spécifiques.
- Applications: jets supersoniques, cavités,...
- TD numériques d'illustration et d'application des modèles introduits en cours

Bibliographie sur laquelle s'appuie le cours

A. P. Dowling, J.E. Ffowcs-Williams, Sound and sources of sound, Ed. Wiley & Sons, (1982)

Compétences auxquelles forme cet enseignement

- C1 : Concevoir et prototyper des dispositifs innovants et créateurs de valeur
 - C1C3 : Concrétiser
 - Intermédiaire
 - C2 : Analyser un système complexe, dans toutes ses dimensions (scientifiques, économiques, humaines, sociale) et proposer une solution
 - C2C3 : Penser et agir en environnement incertain
 - Intermédiaire

Compétences observées via cet enseignement

- C3 : Conduire des programmes complexes ou de changement de façon responsable
 - Intermédiaire

Objectifs de Développement Durable (ODD) couverts par cet enseignement

Bonne santé et bien-être / Consommation et production responsables / Énergie propre et d'un coût abordable / Travail décent et croissance économique

Positionnement Développement Durable et Responsabilité Sociétale

Compréhension et développement de techniques permettant de réduire l'empreinte environnementale d'un avion.

Évaluation

Évaluation collective : EVC 1 (coefficient 1.0)

LANGUE DU COURS	CRÉDITS ECTS	COURS MAGISTRAUX	TRAVAUX DIRIGÉS	TRAVAUX PRATIQUES	PROJET	DEVOIRS SURVEILLÉS
Français	3	24 hrs	8 hrs	0 hrs	0 hrs	0 hrs

INGÉNIEUR - OD AERONAUTIQUE

2e année / 3e année - 2e Semestre - UE 103 / 83

Conception des aéronefs [CAE]

Responsable(s) du cours : Laurent GORNET / Laurent PERRET

Objectifs

L'objectif de première partie du cours est de donner les connaissances réglementaires de base sur les principales catégories d'aéronefs, de définir les méthodes de calcul des charges appliquées en vol et au sol et de dimensionner les sous-ensembles majeurs de la cellule (surfaces portantes et fuselage). La deuxième partie consiste à présenter les différents procédés spécifiques à la fabrication et à l'assemblage des composants (métalliques et en matériaux composites) des cellules d'avion.

Plan de l'enseignement

- Historique,
- Principes constructifs des aéronefs,
- Charges en vol et au sol sur les avions
- Avant-projet d'aéronefs,
- Méthodes de dimensionnement applicables aux surfaces portantes et fuselage d'un avion.
- Généralités et spécificités des fabrications aéronautiques.
- Procédés de fabrication et d'assemblage des composants métalliques et en matériaux composites.

Bibliographie sur laquelle s'appuie le cours

- Résistance des Matériaux appliquée à l'aviation, P. Vallat.
- Calcul des structures d'avions - cours ECP, F. Delisée.
- Aérodynamique - cours ENSAE, P. Rebuffet.
- Le projet d'avion léger, L. de Goncourt.
- Les secrets de la construction des aéronefs légers, M. Fékété.
- Design of Light aircraft (Richard D Hiscocks)
- Aircraft Structures (David J. Peery)

Compétences auxquelles forme cet enseignement

Aucune compétence enseignée

Compétences observées via cet enseignement

- C1 : Concevoir et prototyper des dispositifs innovants et créateurs de valeur
 - Intermédiaire
- C2 : Analyser un système complexe, dans toutes ses dimensions (scientifiques, économiques, humaines, sociale) et proposer une solution
 - Intermédiaire
 - Compétent
- C3 : Conduire des programmes complexes ou de changement de façon responsable
 - Intermédiaire

Objectifs de Développement Durable (ODD) couverts par cet enseignement

Éducation de qualité / Énergie propre et d'un coût abordable / Industrie, innovation et infrastructures / Lutte contre les changements climatiques

Positionnement Développement Durable et Responsabilité Sociétale

En abordant de manière concrète les problématiques de propulsion électrique, impératif de consommation, utilisation matériaux, maîtrise de la masse, etc, tout en respectant un cahier des charges imposé, les étudiants sont directement confrontés aux problématiques auxquelles font face les ingénieurs d'aujourd'hui lors de la conception de systèmes répondant aux enjeux de sobriété, efficacité énergétique et maîtrise du cycle de vie.

Évaluation

Évaluation collective : EVC 1 (coefficient 1.0)

LANGUE DU COURS	CRÉDITS ECTS	COURS MAGISTRAUX	TRAVAUX DIRIGÉS	TRAVAUX PRATIQUES	PROJET	DEVOIRS SURVEILLÉS
Français	3	12 hrs	0 hrs	20 hrs	0 hrs	0 hrs

INGÉNIEUR - OD AERONAUTIQUE

2e année / 3e année - 2e Semestre - UE 103 / 83

Projet 2 [P2AERO]

Responsable(s) du cours : Guy CAPDEVILLE

Pré-requis

cours de l'option Aéronautique

Objectifs

Mise en application des enseignements dispensés dans l'option.

Compétences auxquelles forme cet enseignement

- C3 : Conduire des programmes complexes ou de changement de façon responsable
 - C3C3 : Clôturer et capitaliser
 - Intermédiaire

Compétences observées via cet enseignement

- C3 : Conduire des programmes complexes ou de changement de façon responsable
 - Intermédiaire

Objectifs de Développement Durable (ODD) couverts par cet enseignement

Consommation et production responsables

Positionnement Développement Durable et Responsabilité Sociétale

Développement de solutions techniques compatibles avec un développement durable.

Évaluation

Évaluation collective : EVC 1 (coefficient 1.0)

LANGUE DU COURS	CRÉDITS ECTS	COURS MAGISTRAUX	TRAVAUX DIRIGÉS	TRAVAUX PRATIQUES	PROJET	DEVOIRS SURVEILLÉS
Français	2	0 hrs	0 hrs	0 hrs	48 hrs	0 hrs

INGÉNIEUR - OD AERONAUTIQUE

2e année / 3e année - 2e Semestre - UE 103 / 83

Simulations aérodynamiques [SAE]

Responsable(s) du cours : Boris CONAN / Guy CAPDEVILLE / Laurent PERRET

Pré-requis

cours de l'option Aéronautique : AEFP, AEAC et MTURB.

Objectifs

- Permettre de se familiariser avec des logiciels de calcul spécifiques, en résolvant des problèmes classiques d'aérodynamique.
- Prolonger, introduire ou illustrer les cours de MTURB, AEFP et AEAC.
- Comparer les solutions fournies par des modèles numériques différents.
- Confronter les résultats numériques avec l'expérience et la théorie.

Plan de l'enseignement

Techniques de génération d'un maillage structuré/non-structuré (CM)

- Critères d'évaluation d'un maillage (CM).
- Présentation du logiciel de calcul STARCCM+ (CM).
- Modélisation d'un jet supersonique en sortie de tuyère - régimes de fonctionnement d'une tuyère à col.
- Choix du modèle de turbulence: influence sur les calculs de la traînée et de la portance (MTURB) - cas test de la colline ou de la marche.
- Modélisation d'une entrée de réacteur supersonique - Diffraction d'une onde de choc - Calculs stationnaires/instationnaires (AEFP).
- Bruit généré par un écoulement - Problème d'acoustique (AEAC)
- Modélisation numérique d'un profil d'aile NACA en régimes subsonique/trans-sonique/supersonique.

Compétences auxquelles forme cet enseignement

- C2 : Analyser un système complexe, dans toutes ses dimensions (scientifiques, économiques, humaines, sociale) et proposer une solution
 - C2C1 : Représenter et modéliser
 - Intermédiaire
 - C2C2 : Résoudre et arbitrer
 - Intermédiaire

Compétences observées via cet enseignement

Aucune compétence observée

Objectifs de Développement Durable (ODD) couverts par cet enseignement

Consommation et production responsables / Énergie propre et d'un coût abordable

Positionnement Développement Durable et Responsabilité Sociétale

Étude de solutions techniques compatibles avec un développement durable.

Évaluation

Évaluation collective : EVC 1 (coefficient 1.0)

LANGUE DU COURS	CRÉDITS ECTS	COURS MAGISTRAUX	TRAVAUX DIRIGÉS	TRAVAUX PRATIQUES	PROJET	DEVOIRS SURVEILLÉS
Français	3	8 hrs	14 hrs	10 hrs	0 hrs	0 hrs

INGÉNIEUR - OD AERONAUTIQUE

2e année / 3e année - 2e Semestre - UE 103 / 83

Sécurité passive des structures aéronautiques [SPSAE]

Responsable(s) du cours : Patrick ROZYCKI

Pré-requis

Méthode des Eléments Finis, Loi de comportement, Plasticité

Objectifs

Les enjeux industriels liés à la sécurité, en particulier dans le domaine des transports, exigent une maîtrise toujours plus fine du comportement des matériaux et des structures soumis à des sollicitations dynamiques rapides. Ces défis, à la fois techniques et scientifiques, nécessitent une approche intégrée, combinant expertise mécanique, outils numériques et protocoles expérimentaux.

Ce cours se propose d'explorer les méthodes actuelles et les perspectives d'évolution dans ce domaine, en abordant trois axes complémentaires : la mécanique des matériaux, la simulation numérique et l'expérimentation. Les thématiques centrales incluent :

- la modélisation du comportement des matériaux sous sollicitations dynamiques (lois de comportement, influence de la vitesse de déformation, méthodes de caractérisation expérimentale),
- les règles de conception et de dimensionnement pour la résistance au crash,
- la simulation numérique (outils et codes de calcul pour la construction et la validation de modèles),
- et les moyens expérimentaux permettant de caractériser le comportement des structures en conditions réelles.

A l'issue de ce module, l'élève ingénieur.e sera en mesure d'articuler la construction d'un modèle numérique avec les contraintes et les résultats issus de l'expérimentation. Cette approche transversale lui permettra de développer un regard critique sur les limites et les complémentarités des outils disponibles et d'optimiser la corrélation entre données expérimentales et simulations numériques, compétence essentielle pour répondre aux exigences industrielles en matière de sécurité et d'innovation.

Afin d'ancrer les connaissances théoriques dans une démarche pratique, deux projets successifs seront menés par chaque élève ingénieur.e.

- Le premier projet portera sur l'étude d'un essai expérimental d'écrasement sur puits de chute vertical, mené sur des structures simples (tubes métalliques de section carrée et circulaire). Pour des raisons évidentes de sécurité, l'essai sera réalisé par un personnel habilité de l'Ecole, en présence des élèves ingénieur.e.s. Ceux-ci pourront ainsi :
 - o observer l'intégralité du protocole expérimental,
 - o échanger librement avec la personne habilitée pour approfondir leur compréhension des choix techniques et des contraintes de mise en œuvre,
 - o développer à partir des données recueillies le modèle numérique correspondant,
 - o analyser de manière critique les résultats en identifiant les limites et les défis propres à chaque étape (expérimentation, modélisation, corrélation des données).
- Le second projet s'appuiera sur une étude issue d'une problématique industrielle réelle, permettant aux élèves ingénieur.e.s de mobiliser l'ensemble des compétences acquises dans un contexte professionnel.

Plan de l'enseignement

1. Généralités sur les chocs
 - Nature, type et classification des chocs
2. Crash dans le domaine des transports
 - Généralités, Sécurité, approches...
3. Simulation numérique
 - Lois de comportement, différentes méthodes de résolution, prise en compte des non linéarités...

4. Moyens expérimentaux
 - Description, différents types d'essais (chocs frontaux, latéraux)...
5. Etude d'un modèle analytique pour des tubes à sections circulaires ou carrés
6. Etude du cas simple
 - Réalisation d'un essai expérimental de crash d'une structure simple, simulation numérique de l'essai et confrontations expérimental/numérique

Bibliographie sur laquelle s'appuie le cours

N. Jones, Structural Crashworthiness, Cambridge University Press, 1997

Jorge A.C. Ambrósio, Manuel F.O. Seabra Pereira, F. Pina da Silva, Crashworthiness of Transportation Systems: Structural Impact and Occupant, Springer Netherlands, 1997

Compétences auxquelles forme cet enseignement

- C2 : Analyser un système complexe, dans toutes ses dimensions (scientifiques, économiques, humaines, sociale) et proposer une solution
 - C2C1 : Représenter et modéliser
 - Intermédiaire
 - Compétent
 - C2C2 : Résoudre et arbitrer
 - Intermédiaire
 - Compétent
 - C2C3 : Penser et agir en environnement incertain
 - Intermédiaire
 - Compétent

Compétences observées via cet enseignement

- C2 : Analyser un système complexe, dans toutes ses dimensions (scientifiques, économiques, humaines, sociale) et proposer une solution
 - Intermédiaire
 - Compétent

Objectifs de Développement Durable (ODD) couverts par cet enseignement

Bonne santé et bien-être / Consommation et production responsables / Éducation de qualité / Industrie, innovation et infrastructures

Positionnement Développement Durable et Responsabilité Sociétale

Ce cours s'inscrit dans une démarche de développement durable et de responsabilité sociétale en plaçant la sécurité des personnes au cœur des problématiques abordées. L'étude du comportement des matériaux et des structures soumis à des sollicitations dynamiques rapides contribue directement à une conception de systèmes plus sûrs notamment dans le domaine des transports et participe ainsi à la prévention des risques et à la protection des usagers. L'approche intégrée combinant modélisation, simulation numérique et expérimentation permet de développer des solutions industrielles innovantes tout en favorisant une utilisation raisonnée des ressources. La corrélation entre essais expérimentaux et calculs numériques contribue à limiter le recours à des campagnes d'essais lourdes et coûteuses et à optimiser les choix de conception en cohérence avec les principes de production responsable. A travers les projets proposés, fondés sur des essais réels et des problématiques industrielles concrètes, le cours sensibilise les élèves ingénieur.e.s à leur responsabilité professionnelle en les amenant à évaluer les impacts techniques, humains et sociétaux de leurs décisions de conception dans un contexte industriel

exigeant.

Évaluation

Évaluation collective : EVC 1 (coefficient 1.0)

LANGUE DU COURS	CRÉDITS ECTS	COURS MAGISTRAUX	TRAVAUX DIRIGÉS	TRAVAUX PRATIQUES	PROJET	DEVOIRS SURVEILLÉS
Français	3	4 hrs	0 hrs	28 hrs	0 hrs	0 hrs