الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
People's Democratic Republic of Algeria
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique
Ministry of Higher Education and Scientific Research

LOGO
De l'université

عرض تكوين
ل. م . د

ماستر أكاديمية

برنامج وطني

(تحيين 2026-Bis)

المؤسسة	الكلية/ المعهد	القسم

الميدان	الفرع	التخصص
علوم وتكنولوجيا	علم الطيران	هياكل الطيران

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
People's Democratic Republic of Algeria
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique
Ministry of Higher Education and Scientific Research

LOGO
De l'université

OFFRE DE FORMATION
L.M.D

MASTER ACADEMIQUE

PROGRAMME NATIONAL

(Mise à jour 2026-Bis)

Etablissement	Faculté / Institut	Département

Domaine	Filière	Spécialité
Sciences et Technologies	*Aéronautique*	*Structure aéronautique*

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
People's Democratic Republic of Algeria
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique
Ministry of Higher Education and Scientific Research

LOGO
De l'université

Training Offer
L.M.D

ACADEMIC **MASTER'S DEGREE**

NATIONAL PROGRAMME

(2026-Bis Update)

Institution	Faculty / Institute	Department

Domain	Field	Specialisation
Science and Technology	***Aeronautical Engineering***	***Aeronautical Structure***

Programme du Master

Filière : Aéronautique

Spécialité : Structure aéronautique

Les modifications apportées

La synthèse de cette mise à jours est faite comme suit :

- **Analyse des structures (Cours +TD)**: cette matière qui représente la spécialité est introduite dans les deux semestre S2 et S3 dont elle nécessite un prérequis dans les matières suivantes :

    - Mécanique des milieux continus (S1)
    - Matériaux des structures aéronautiques (S1)
    - Méthode des éléments finis (S1+S2)
    - Théorie des poutres et des plaques (S2)
    - Matériaux composites (S2)

- **Aéroélasticité** : (Cours , TD et TP) : est une matière très importante (Dans la recherche)
  Cette matière a besoin la base des modules suivants :

    - Dynamique des structures
    - Méthode des éléments finis (S1 +S2)
    - TP aérodynamique approfondie (juste un TP)

- **Fatigue** :
  Cette matière irremplaçable demande avoir les prérequis dans les matières suivantes :

    - Mécanique des milieux continus (S1)
    - Théorie des poutres et des plaques (S2)
    - Méthode des éléments finis (S1 +S2)

- **Régulation et asservissement**

  Le module est important dans l'aéronautique sachant que dans cette filière l'étudiant n'a jamais étudié ce module, qui représente un outil prérequis pour les matières « **Turbomachine 2** » et « **contrôle et dynamique de vol** » , pour assurer le module convenablement.

D'une façon générale : Les mises à jours effectuées sont basées surla base des déplacements des matières entre les semestres et très peu d'ajout des matières, qui engendre également quelques modifications des crédits et des coefficients. Elles sont fondées principalement sur les points suivants :

- Respecter les prérequis de connaissances synchronisés entre les matières et entre les semestres.

- Donner en priorité l'importance aux matières concernées par les concours de doctorat, les thèmes PFE et de la recherche.
- Toutes les matières supprimées des unités fondamentales ne sont pas jetées complètement mais (vu leurs valeurs scientifiques importantes) elles sont disponibles dans le panier au choix dont ce dernier est laissé à l'appréciation de l'équipe pédagogique du département. (Essai non destructif, Turbomachine, Aérodynamique Assemblage des structures aéronautiques),

  NB. Pour les matières « **Aérodynamique** » et « **turbomachines** » ne sont pas formellement important dans cette spécialité, par conséquent nous suggérons leurs présences obligatoires dans l'une des unités de découvertes.
- Les matières ajoutées jouent un grand rôle pour compléter les manques des autres matières plus fondamentales (Optimisation, régulation et asservissement)
-
- Nous avons proposé une large liste des matières de découverts afin que l'administration pédagogique pourra gérer les enseignements d'une manière très adéquate.
- Lors de notre conception proposée nous avons principalement tenu en considération les deux programmes fonctionnels à ce jour ; il s'agit de celui de Blida (RN) et celui des universités (Cne1, SBA et Batna2) (RR) pour reformuler un canevas unique.

NB.

- Le 1er semestre de la spécialité Structures Aéronautiques et le 1er semestre de la spécialité Propulsion Aéronautique sont identiques (à un module près), alors que ces deux spécialités sont à vocations différentes et requièrent, en conséquence, des contenus différents. Ainsi dans notre proposition nous avons séparé les deux semestres en mettant l'importance sur les modules (fondamentaux et méthodologiques) de chaque spécialité.
- Le fait que cette mise à jour des masters académiques est nationale, précisément il faut harmoniser les intitulés des masters et les programmes entre toutes les universités ayant habilités ces formations aéronautiques, afin de délivrer un seul diplôme portant la même spécialité avec les mêmes programmes d'enseignement en raison d'employabilité et de participation aux différents concours de recherche nationaux ou internationaux.
- <u>G- Evaluation de l'étudiant par le biais du Contrôle continu et du Travail personnel :</u>
-
- **<u>G1- Evaluation par le Contrôle continu :</u>**
-
- L'importance des modalités de l'évaluation continue sur la formation des étudiants en termes d'acquis pédagogiques n'est plus à démontrer. A cet égard, les articles 20, 21 et 22 de l'arrêté 712 du 03 novembre 2011, viennent définir et préciser les modalités ainsi que l'organisation de l'évaluation continue des étudiants selon le parcours de formation. Le calcul des moyennes du contrôle continu (travaux dirigés et travaux pratiques) est fait à partir d'une pondération de tous les éléments qui constituent cette évaluation. Ces articles précisent que cette pondération est laissée à l'appréciation de l'équipe pédagogique.
-

- Une enquête menée par le CPND-ST auprès de tous les enseignants dans les différents établissements universitaires a montré une hétérogénéité dans la mise en œuvre de l'évaluation continue des étudiants. Aussi, est-on amené à admettre un déficit réel dans la prise en charge effective de cette activité pédagogique ce qui a nécessité de notre part une réflexion sérieuse à ce propos qui, combinée aux propositions émanant de plusieurs établissement, a abouti aux recommandations ci-dessous.
-
- L'analyse des différentes propositions provenant de ces établissements a montré, qu'effectivement, les articles 21 et 22 de l'arrêté 712 du 03 novembre 2011 ne sont pas assez explicites et méritent plus de précisions. Ces articles pourraient être enrichis en tenant compte des points suivants qui représentent une synthèse des propositions recueillies.
-
- **1. Propositions relatives aux matières avec travaux dirigés:**
-
- **1.1. Préparation des séries d'exercices :**
-
- L'enseignant responsable de la matière doit s'organiser en proposant une série d'exercices pour chaque chapitre du cours. Cette série doit être exhaustive avec des exercices de compréhension du cours et des exercices-types à résoudre en séance de TD.
- Ces exercices doivent être préparés par l'étudiant avant de venir en TD. Cette préparation peut être évaluée. La méthode d'évaluation est laissée à l'appréciation de l'enseignant chargé du TD.
- Les exercices non résolus en TD peuvent faire l'objet d'un travail personnel à accomplir par des groupes de 3 à 4 étudiants et à remettre pour évaluation (délai : 1 semaine).
-
- **1.2. Interrogations écrites :**
-
- Chaque fin de série d'exercices (*i.e.* chaque fin de chapitre) sera sanctionnée par une interrogation écrite de courte durée. Cette interrogation doit être organisée en collaboration avec le responsable de la matière afin de veiller à assurer une évaluation équitable vis-à-vis de tous les étudiants (essentiellement lorsque plusieurs enseignants interviennent dans les travaux dirigés).
-
- **1.3. Participation des étudiants aux travaux dirigés:**
-
- Cette participation doit être évaluée. La méthode d'évaluation est laissée à l'appréciation de l'enseignant chargé du TD.
-
- **1.4. Assiduité des étudiants:**
-
- L'assiduité des étudiants est obligatoire en TD et en TP. En cours, il est difficile de la contrôler pour les étudiants en licence où les effectifs sont très importants (cours en amphithéâtre). Pour les masters où les effectifs sont réduits, l'assiduité doit être obligatoire en cours et en TD.
-
- **2. Cas des unités méthodologiques (Travaux pratiques) :**
-
- Au même titre que les TD, les TP doivent être préparés par l'étudiant. Un test de contrôle de cette préparation doit être organisé par l'enseignant avant chaque manipulation (sous forme de petites questions de compréhension, QCM, schéma de la manipulation,

…). Un compte rendu (par groupe de travail) doit être rendu à la fin de la séance de travaux pratiques. A ce titre, l'enseignant doit préparer un compte rendu-type (canevas) pour faciliter le travail aux étudiants afin que ces derniers puissent le rendre effectivement à la fin de la séance de TP.

- A la fin du semestre, l'enseignant organise un test de TP qui résume l'ensemble des manipulations réalisées par l'étudiant.
-
- **<u>3. A propos des matières transversales et de découvertes n'ayant pas de TD ou de TP :</u>**
-
- Il est très difficile d'effectuer des contrôles continus dans le cadre de ces matières du fait de l'absence des séances de travaux dirigés et du fait du nombre très important des étudiants dans la plupart des cas et en particulier pour les universités à très grand flux.
- Néanmoins, l'enseignant chargé de cette matière peut, s'il le désire, faire savoir aux étudiants qu'il peut éventuellement les évaluer (en continu) en leur proposant de préparer des exposés, de faire des comptes rendus, de rechercher le complément du cours, exploiter un logiciel free, demander aux étudiants de visionner chez eux un film de vulgarisation scientifique en relation avec la matière (après leur avoir remis soit le film sur support électronique ou leur avoir indiqué le lien internet vers ce film) et leur demander de remettre ensuite un rapport écrit ou de faire une présentation orale du résumé de ce film, … etc. La bonification de ces activités est laissée à l'appréciation de l'enseignant et de l'équipe de formation qui sont seuls aptes à définir la meilleure manière de tenir compte de ces travaux personnels dans la note globale de l'examen final.
-
- Dans le même ordre d'idées, et dans le cas où le nombre des étudiants dans cette matière est raisonnable (20 à 30 étudiants), ce qui peut être le cas pour de nombreux masters, le responsable de la matière peut envisager des évaluations continues de l'étudiant à l'image de ce qui se fait dans les matières avec travaux dirigés. La seule obligation à respecter est qu'il faudrait informer les étudiants de cette procédure et la valider au cours du premier Conseil pédagogique.
- En tout état de cause, l'enseignant et l'équipe pédagogique sont libres d'inclure tout type d'évaluation qu'ils jugent opportun pour inciter les étudiants à une meilleure prise en charge de leur cursus et combattre, par la même occasion, le phénomène d'absentéisme des étudiants aux cours.
-
- **<u>4. Harmonisation du contrôle continu :</u>**
-
- L'utilisation d'une grille commune pour l'évaluation favoriserait l'harmonisation de ces pratiques d'un enseignant à un autre, d'un département à un autre et d'un établissement à un autre. Elle constituerait également un repère structurant et sécurisant pour les étudiants. Pour ce faire, nous proposons ci-après une grille d'évaluation à titre indicatif qui présente les différents contrôles continus permettant d'évaluer le degré d'acquisition des compétences des étudiants que ce soit sur le plan des connaissances, des capacités d'analyse et des aptitudes à la synthèse.
- A noter que ces évaluations n'ont pas pour objectif de ''piéger'' les étudiants en leur imposant des contrôles continus très difficiles. Au contraire, il s'agit d'évaluer ''honnêtement'' le degré d'assimilation des différentes compétences et connaissances enseignées à l'étudiant en toute objectivité. Dans le même esprit, on gagnerait en favorisant la contractualisation de l'évaluation des apprentissages en précisant, par exemple, les critères de réussite et les bonnes pratiques qui aboutiraient à des réponses

correctes et précises aux questions. Ainsi, l'évaluation porterait principalement sur les acquis qui ont fait l'objet d'une formation en donnant des exercices en lien avec ce qui a été préparé en TD sans oublier, pour autant, d'évaluer la capacité des étudiants à mobiliser leurs compétences dans des situations plus complexes.

- **4-1 Travaux dirigés :**

Préparation des séries d'exercices et travail personnel (devoir à rendre, exposés,…)	30%	06 points
Interrogations écrites (minimum 02 interrogations dont une proposée par le responsable de la matière)	50%	10 points
Participation des étudiants aux TD	20%	04 points
Total	**100%**	**20 points**

- **4.2 Travaux pratiques :**

Tests de préparation des travaux pratiques	20%	04 points
Compte rendu (à rendre obligatoirement à la fin de la séance de TP)	40%	08 points
Test de TP en fin de semestre sur l'ensemble des manipulations réalisées par l'étudiant.	40%	08 points
Total	**100%**	**20 points**

- **G2- Travail personnel de l'étudiant :**

- Le travail personnel de l'étudiant fait partie de l'esprit du LMD. Il lui a été réservé un temps hebdomadaire très conséquent : environ 50% du volume horaire total de la formation (voir le tableau ''Récapitulatif global de la formation'' présent dans cette offres de formation).
- Un sondage réalisé par le CPND-ST, auprès des équipes de formation à travers tous les établissements universitaires a fait savoir que le temps relatif au travail personnel de l'étudiant pourrait être judicieusement exploité, sous une bonne supervision de l'enseignant, de façon rationnelle et sous différentes formes. Les tâches qui seraient alors accomplies par les étudiants volontaires seraient évaluées et comptabilisées (comme bonification) dans leur note globale du contrôle continu. Le taux de cette bonification est laissé au libre arbitre des équipes pédagogiques.

- La synthèse des différentes propositions peut être résumée dans les points suivants:

- **1. Devoir à domicile (*homework*):**

- Dans le but d'enrichir les connaissances et renforcer la formation des étudiants, ces derniers seront sollicités pour réaliser un travail à domicile supplémentaire guidé par leurs enseignants de cours ou de TD. Ce type de travail concernera, à titre d'exemple, à inciter les étudiants à faire des recherches pour répondre à des questions précises et/ou conflictuelles soulevées pendant le cours, résoudre un exercice difficile, reprendre en détail la démonstration d'un théorème, rechercher le complément d'un cours, exploiter

un logiciel free ou un outil CAO-DAO pour faire des applications et des simulations liées au cours, ... Ces activités peuvent être évaluées, notées et inscrites comme bonification aux étudiants qui les réalisent.

- **2. Mini projet de cours:**

- Le mini projet de cours (1 à 3 semaines) est un moyen efficace pour préparer l'étudiant à la méthodologie de l'expression, de la rédaction et de la recherche documentaire. C'est un moyen qui lui permet de concrétiser par la pratique les techniques apprises dans les matières transversales. Il lui permet également de développer l'esprit de travail en groupe.

- Le thème du mini projet de cours doit être bien ciblé et arrêté par l'enseignant pour un groupe d'étudiants (2 à 5 maximum), sanctionné par un seul rapport (10 pages maximum) et une courte présentation orale collective (de préférence avec un support audio-visuel). Une note, commune pour le groupe, est attribuée selon une grille d'évaluation (présentation du document et exploitation des ressources bibliographiques, présentation orale, respect du temps, réponses aux questions, etc.) et sera ensuite comptabilisée, comme bonification, dans la note du contrôle continu.

- **3. Compte rendu d'une visite, une sortie pédagogique ou un stage de découverte et/ou d'imprégnation :**

- Les visites, sorties pédagogiques, stages de découverte et/ou d'imprégnation sont des opportunités pour les étudiants susceptibles de leur permettre à mieux appréhender la réalité du monde du travail et les aider ultérieurement à une meilleure insertion professionnelle.
- Les responsables administratifs ainsi que les enseignants doivent encourager, autant que faire se peut, ce volet très important de la formation et veiller à l'organisation des visites et sorties pédagogiques durant tout le cursus de formation.
- Ils doivent également aider/inciter les étudiants à faire de la prospection dans les institutions économiques dans le but de trouver (en L3 et M1) des stages de découverte et/ou d'imprégnation d'une à deux semaines dans le milieu industriel durant les vacances d'hiver et de printemps.
- Dans ce contexte, les enseignants doivent veiller à ce que les étudiants prennent des notes durant ces sorties et exiger des comptes rendus (rapports de quelques pages). Cette activité peut être évaluée, notée et inscrite comme bonification à l'étudiant qui la réalise. On peut proposer aux étudiants des modèles (*templates*) pour les aider à bien présenter leur rapport de stage.

- **4. Participation à des manifestations scientifiques:**

- Afin d'imprégner chez les étudiants l'esprit scientifique (essentiellement pour les étudiants du niveau supérieur), ces derniers doivent être orientés et encouragés à participer à des tables rondes, séminaires de laboratoires et des conférences organisées au sein de leur faculté et/ou établissement. Il est même indiqué d'encourager ces étudiants à assister à des conférences, en relation avec leur spécialité, hors de leur université à l'occasion d'expositions, foires et autres. Cette activité peut être évaluée, notée et inscrite comme bonification à l'étudiant qui la réalise.

- **5. Utilisation des Nouvelles Technologies de l'Information et de Communication:**
-
- Les NTIC sont très attractifs pour les étudiants. Les enseignants doivent les encourager à exploiter ces technologies pour créer des espaces d'échange entre eux (pages de promotion, forum de discussion sur une problématique précise d'un cours, etc.). L'enseignant pourra aussi intervenir dans le groupe en tant qu'évaluateur en ligne. Cette activité peut être évaluée, notée et inscrite comme bonification aux étudiants qui s'y impliquent.
-
-
- **Conclusion :**
-
- L'autonomie de l'étudiant, considérée comme un levier de réussite, repose en grande partie sur le travail personnel que celui-ci est amené à faire, en s'appropriant les ressources et outils mis à sa disposition. Tout cela doit être, bien entendu, encadré et formalisé dans le cadre du suivi pédagogique et d'accompagnement qui doivent être assurés conjointement par l'enseignant universitaire et le responsable administratif tout au long de son cursus de formation.
- Cette autonomie lui permettra ainsi de construire son identité professionnelle en fonction de ses aspirations, ses capacités et ses acquis ou encore de construire son parcours académique dans la poursuite des études supérieures.

II – Fiches d'organisation semestrielles des enseignements de la spécialité

Semestre 1 Master : Structure aéronautique

Unité d'enseignement	Matières	Crédits	Coefficient	Volume horaire hebdomadaire			VHS (15 semaines)	Travail Complémentaire en Consultation (15 semaines)	Mode d'évaluation	
	Intitulé			Cours	TD	TP			Contrôle Continu	Examen
UE Fondamentale Code : UEF 1.1.1 Crédits : 10 Coefficients : 5	Mécanique des Milieux Continus avancée	6	3	3h00	1h30		67h30	82h30	40%	60%
	Matériaux des structures aéronautiques	4	2	1h30	1h30		45h00	55h00	40%	60%
UE Fondamentale Code : UEF 1.1.2 Crédits : 8 Coefficients : 4	Dynamique des structures	4	2	1h30	1h30		45h00	55h00	40%	60%
	Méthodes des éléments finis 1	4	2	1h30	1h30		45h00	55h00	40%	60%
UE Méthodologique Code : UEM 1.1 Crédits : 11 Coefficients : 7	Conception des aéronefs	3	2	1h30		1h30	**45h00**	**30h00**	40%	60%
	Programmation avancée en python	2	2	1h30		1h30	45h00	05h00	40%	60%
	TP Matériaux des structures aéronautiques	2	1			1h30	22h30	27h30	100%	
	TP Dynamique des structures	2	1			1h30	22h30	27h30	100%	
	TP Méthodes des éléments finis 1	2	1			1h30	22h30	27h30	100%	
UET Code UET1.1 Crédits : 1 Coeff : 1	**Respect des normes et des règles d'éthique et d'intégrité**	**1**	**1**	**1h00**			**15h00**	**10h00**		100%
Total semestre 1		**30**	**17**	**11h30**	**6h00**	**7h30**	**375h00**	**375h00**		

Semestre 2 Master : Structure aéronautique

Unité d'enseignement	Matières	Crédits	Coefficient	Volume horaire hebdomadaire			VHS (15 semaines)	Travail Complémentaire (15 semaines)	Mode d'évaluation	
	Intitulé			**Cours**	**TD**	**TP**			**CC**	**Examen**
UE Fondamentale Code : UEF 1.2.1 Crédits : 10 Coefficients : 5	Théorie des poutres et plaques	6	3	3h00	1h30		67h30	82h30	40%	60%
	Matériaux composites	4	2	1h30	1h30		45h00	55h00	40%	60%
UE Fondamentale Code : UEF 1.2.2 Crédits : 8 Coefficients : 4	Analyse des structures 1	4	2	1h30	1h30		45h00	55h00	40%	60%
	Méthodes des éléments finis 2	4	2	1h30	1h30		45h00	55h00	40%	60%
UE Méthodologique Code : UEM 1.2 Crédits : 8 Coefficients : 4	T.P Méthodes des éléments finis 2	2	1			1h30	22h30	27h30	100%	
	TP Matériaux composites	2	1			**1h00**	**15h00**	**35h00**	100%	
	TP Aérodynamique approfondie	2	1			**1h00**	**15h00**	**35h00**	100%	
	Régulation et asservissement	2	1	**1h00**		**1h00**	**30h00**	**20h00**	100%	
UE Transversale Code : UET 1.2 Crédits : 4 Coefficients : 4	Eléments d'IA appliquée	2	2	1h30	1h30		45h00	5h00	40%	60%
	Lean start-up	**2**	**2**	1h30	**1h30**		**45h00**	**05h00**	**80% (20% Atl + 60% Prj)**	**20%**
Total semestre 2		**30**	**17**	**11h30**	**7h30**	**6h00**	**375h00**	**375h00**		

Semestre 3 Master : Structure aéronautique

Unité d'enseignement	Matières Intitulé	Crédits	Coefficient	Volume horaire hebdomadaire Cours	TD	TP	VHSl (15 semaines)	Travail Compl. en Consultation (15 s)	Mode d'évaluation Contrôle Continu	Examen
UE Fondamentale Code : UEF 1.3.1 Crédits : 10 Coefficients : 5	Analyse des structures 2	6	3	3h00	1h30		67h30	82h30	40%	60%
	Aéroélasticité	4	2	1h30	1h30		45h00	55h00	40%	60%
UE Fondamentale Code : UEF 1.3.2 Crédits : 8 Coefficients : 4	Contrôle et dynamique de vol	4	2	1h30	1h30		45h00	55h00	40%	60%
	Mécanique de la rupture et de fatigue	4	2	1h30	1h30		45h00	55h00	40%	60%
UE Méthodologique Code : UEM 1.3 Crédits : 9 Coefficients : 5	TP Analyses des structures 2	2	1			1h30	22h30	27h30	100%	
	TP Aéroélasticité	2	1			1h30	22h30	27h30	100%	
	TP Fatigue	2	1			1h30	22h30	27h30	100%	
	Optimisation	3	2	1h30		1h30	45h00	55h00	40%	60%
UE Transversale Code : UET 1.3 Crédits : 3 Coefficients : 3	Recherche documentaire et conception de mémoire	1	1	1h00			15h00	10h00		100%
	Reverse engineering	2	2	1h30	1h30 Atelier		45h00	05h00	40%	60%
Total semestre 3		30	17	11h30	6h00	7h30	375h00	375h00		

Semestre 4

Stage en entreprise sanctionné par un mémoire et une soutenance.

	VHS	Coeff	Crédits
Travail Personnel	550	09	18
Stage en entreprise	100	04	06
Séminaires	50	02	03
Autre (Encadrement)	50	02	03
Total Semestre 4	750	17	30

Ce tableau est donné à titre indicatif

Evaluation du Projet de Fin de Cycle de Master

1. Valeur scientifique (Appréciation du jury) /6
2. Rédaction du Mémoire (Appréciation du jury) /4
3. Présentation et réponse aux questions (Appréciation du jury) /4
4. Appréciation de l'encadreur /3
5. Présentation du rapport de stage (Appréciation du jury) /3

III - Programme détaillé par matière du semestre S1

Semestre :1
Unité d'enseignement : UEF 1.1.1
Matière : Mécanique des milieux continu avancée
VHS: 67 h30 (Cours: 3h00, TD: 1h30)
Crédits : 6
Coefficient : 3

Objectifs de l'enseignement:

-Fournir les concepts de base de la mécanique des milieux continus.
- Comprendre son application dans le cas de l'élasticité infinitésimale.
- Résolution des problèmes analytiques simples.

Connaissances préalables recommandées :

- Analyse vectorielle
- RDM
- Calcul différentiel et intégral

Contenu de la matière :

Chapitre 1 : Elément de calcul tensoriel (4 semaines)

- Notation indicielle, Le delta Kronecker et le symbole de permutation
- Les systèmes symétriques et antisymétriques
- Application: aux déterminants, à l'algèbre vectorielle, aux Lois de transformation des
- tenseurs cartésiens

Chapitre 2 : Analyse des contraintes (4 semaines)

- Concept des milieux continus
- Forces de volume et forces de surface
- Le principe de contrainte de Cauchy (Vecteur de contrainte)
- Etat de contraintes en un point (Le tenseur de contraintes)
- Relation entre vecteur de contrainte et tenseur de contraintes
- Equilibre des forces et des moments (symétrie du tenseur de contraintes)
- Lois de transformation des contraintes
- Les valeurs et les directions principales des contraintes
- Représentation des contraintes par le tri-cercle de Mohr

Chapitre 3 : Analyse des déformations (4 semaines)

- Configuration d'un milieu continu, concepts de déformation et d'écoulement
- Vecteur de position, Vecteur de déplacement
- Descriptions de Lagrange et d'Euler
- Gradient de déformation et gradient de déplacement et Tenseurs de déformation
- Théorie de petites déformations, tenseurs de déformation linéarisés
- Déplacements relatifs, tenseur de rotation linéarisés et vecteur de rotation
- Interprétation des tenseurs de déformation linéarisés
- Rapport d'allongement, Déformations principales, invariants de déformations, dilatation cubique
- Equation de compatibilité pour les déformations linéaires

Chapitre 4 : Lois de comportement (3 semaines)

- Loi de Hooke généralisée
- Anisotropie, symétrie élastique, isotropie
- Milieu isotrope, constantes élastiques

Mode d'évaluation :

Contrôle continu : *40%* ; Examen : *60%*.

Références bibliographiques:

1. *Harry Lass , Vector and Tensor Analysis, McGraw-Hill, 1950*
2. *L.E. Malvern - Introduction the Mechanics of Continous Medium, Prentice Hall,* 1969
3. *P.Germain - Mécanique des milieux continus, Paris, Masson, 1983*
4. *S.Timoshenko.,J.MGoodier., Théorie de l'élasticité, Beranger. 1961*
5. Carole Nadot-Martin et Jean Coirier , Mécanique des milieux continus. 4ème édition : Cours et exercices corrigés .2013

John Botsis Michel Deville . Mécanique des milieux continus : Une introduction. 2006

Semestre : 1
Unité d'enseignement : UEF 1.1.2
Matière : Matériaux des structures aéronautique
VHS: 45h00 (Cours: 1h30, TD: 1h30)
Crédits : 4
Coefficient : 2

Objectifs de l'enseignement :

Ce cours consacré aux matériaux des structures aéronautiques et destiné aux étudiants de Master LMD spécialité Structures Aéronautiques Filière Génie Mécanique. Il se concentre sur des matériaux de l'industrie, à caractère souvent innovant, différents des matériaux de structures (métaux et composites), utilisés non pas seulement pour leurs propriétés de résistance mécanique, mais aussi pour leur faculté à remplir une fonction spécifique.

Connaissances préalables recommandées :

Ce cours requiert des connaissances de base sur le calcul matriciel, élasticité, mécanique de la rupture, résistance des matériaux et structures aéronautiques.

Contenu de la matière :

Chapitre 01 : matériaux pour structures aéronautiques et spatiales

(2 semaines)

1.1 Objectif et champ d'application
1.2 Eléments constitutifs d'un aéronef
1.3. Propriétés principales des constitutifs
1.4. Fonctionnalité des éléments constitutifs
1.5. Caractérisation des matériaux classiques
1.6. Caractérisation des matériaux avancés

Chapitre 02 : Anisotropie des matériaux (3 semaines)

2.1. Matériaux anisotropes
2.2. Plans de symétrie et Comportement.
2.3. Matériaux orthotropes
2.4. Isotropie transverse
2.5. Matériaux isotropes

Chapitre 03 : Principaux matériaux usuels (3 semaines)

3.1. Bois et dérivés
3.2. Métaux et alliages
3.3. Matériaux organiques
3.4. Matériaux minéraux
3.5. Comportement mécanique des matériaux
3.6. Elasticité et Plasticité
3.7. Résistance et endommagement
3.8. Applications aéronautiques
3.9. Nouveaux alliages et solutions aluminium pour structures aéronautiques

Chapitre 04 : Matériaux composites et sandwichs (4 semaines)

4.1. Généralités
4.2. Matériaux composites
4.3. Matériaux multimatériaux
4.4. Panneaux sandwichs
4.5. Matériaux intelligents et adaptroniques
4.6. Nanomatériaux
4.7. Comportements mécaniques et rupture

Chapitre 05 : Sélection des matériaux (3 semaines)

5.1. Propriétés d'usage
5.2. Adéquation matériau-fonction
5.3. Adéquation matériau-Procédé
5.4. Fabrication additive
5.5. Sélection multicritère
5.6. Choix entre alliage d'aluminium et composites organiques
5.7. Renforcement et réparation des structures endommagées

Références :

1. Kittel C., « Physique de l'état solide », Dunod, 1998.
2. Boch P., « Matériaux et processus céramiques », Hermès Science Publications, 2001.
3. Haussonne J.-M. et al., « Céramiques et verres, Principes et techniques d'élaboration », Traité des Matériaux, vol 16, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 2005.
4. Cornet A.et Deville J.P, « Physique et Ingénierie des surfaces », Monographie de Matériologie, EDP Sciences, 1998
5. Gourgues-Lorenzon A. F. et Naze L., Matériaux pour l'ingénieur, comportement, endommagement et rupture par fatigue 2008.
6. Jefferson Andrew, J. Arumugam, V., Saravanakumar, K., Dhakal, H.N. and Santulli, C., 2015. Compression after impact strength of repaired GFRP composite laminates under repeated impact loading. Composite Structures, 133: 911-920.
7. Aggelopoulos, E.S., Righiniotis, T.D. and Chryssanthopoulos, M.K., 2014. Composite patch repair of steel plates with fatigue cracks growing in the thickness direction. Composite Structures, 108:729-735.

Semestre : 1
Unité d'enseignement : UEF 1.2.1
Matière : Dynamiques des structures
VHS: 45h30 (Cours: 1h30, TD: 1h30)
Crédits : 4
Coefficient : 2

Objectifs de l'enseignement:

Cet enseignement participe à l'acquisition de connaissances essentielles aux étudiants de master aéronautique. Les étudiants obtiendront les fondamentaux pour comprendre et analyser la DDS appliquée aux système mécanique simple et complexe.

Connaissances préalables recommandées :

Résistance des matériaux avancé, Structure1 et 2, Mécanique rationnelle, Théorie élémentaire de la mécanique vibratoire, les notions de base mathématiques (équation différentielle ordinaire, partielle et calcul intégrale, série Taylor, développement limité, analyse algébrique,

Contenu de la matière :

Introduction: Présentation générale de la dynamique des structures (1 semaine)

- Objectif fondamental de la dynamique des structures
- Types de chargements (principales sources de vibration/ classification des mouvements vibratoires)
- Caractéristiques essentielles d'un problème dynamique
- Méthodes de discrétisation (concentration de masses ; déplacements généralisés ; notion d'élément fini)
- Modélisation analytique et degré de liberté

Chapitre 1:

Formulation des équations du mouvement des systèmes un degré de liberté (2 semaines)

- Choix des degrés de liberté
- Ecriture directe de l'équilibre dynamique par le principe de Newton et d'Alembert
- Méthode énergétique (système conservatif)
- Méthode de la puissance (système non conservatif)
- Méthode de Lagrange
- Principe des déplacements virtuels
    - Systèmes particuliers à un degré de liberté ; assemblage de corps rigides
    - Systèmes particuliers à un degré de liberté ; souplesse répartie (méthode des fonctions Supposées.
- Expression des caractéristique généralisées d'un système

Chapitre 2: Mouvement Oscillatoires libres (1 semaines)

- Résolution de l'équation du mouvement
- Mouvements libres non amorties
- Mouvements libres amorties
  Amortissement critique
  Système sous-amortis
  Système suramorti

Chapitre 3: Réponse à un chargement harmonique (2 semaines)

- Système non amorti
  a. Solution homogène
  b. Solution particulière
  c. Solution générale
  d. Facteur de réponse
  e. Facteur d'amplification dynamique

- Système amorti
- Résonnance
- Transmittance et Isolation vibratoire

Chapitre 4: Réponse à une excitation dynamique quelconque (2 semaines)

- Intégrale de Duhamel pour un système sans amortissement
- Calcul numérique de l'intégrale de Duhamel pour un système sans amortissement
- Réponse d'un système avec amortissement
- Détermination de la réponse sur l'ensemble du domaine des fréquences

Chapitre 5: Formulation des équations du mouvement (1 semaines)

Détermination des matrices caractérisant les propriétés d'une structure

- Caractéristiques élastiques
  a. Souplesse
  b. Rigidité
  c. Eléments finis. Rigidité
- Caractéristiques massiques
  a. Matrice des masses concentrées
  b. Matrices de masse cohérente
- Caractéristiques d'amortissement
- Action des forces extérieures
  a. Résultantes statiques
  b. Forces cohérentes aux nœuds
- Non linéarité géométrique (rigidité géométrique)
  a. Approximation linéaire
  b. Rigidité géométrique cohérente
- Choix du type de formulation

Chapitre 6: Oscillatoires libres non amortie (2 semaines)

- Détermination des fréquences propres de vibration
- Détermination des modes vibratoires

- Formulation par les souplesses
- Influence des forces axiales
    a. Vibrations libres
    b. Charge critique
    c. Flambage par excitation harmonique
- Propriétés d'orthogonalité
    a. Relation fondamentales
    b. Autres relations
    c. Normalisation

Chapitre 7: Etude de la réponse dynamique **(2 semaines)**

- Coordonnées principales (normales)
- Equations découplées du mouvement non amorti
- Equation découplées du mouvement amorti
    a. Formation des équations
    b. Conditions pour l'orthogonalité de l'amortissement
    c. Couplage de l'amortissement
- Méthode de superposition des modes : récapitulation

Chapitre 8: Méthode numériques pour le calcul pratique des pulsations et des formes propres

- Méthode de Rayleigh (Méthode énergétique) **(2 semaines)**
- Méthode Dunkerley-Southevelle
- Méthode de Stodola (approximation successive)
- Méthode Holzer transformée

Mode d'évaluation :

- **Contrôle Continu :** ***40%,*** **Examen :** ***60%.***

Références bibliographiques:

1. Clough, R.W & Penzien, J. : Dynamics of Structures, Mc. Graw-Hill, New-york, 1975
2. Harris, C.M & Crede, C.E, Shoc and vibration, Handbook, vol. I, Mc. Graw-Hill, New-york, 1961
3. Roy R. Craig, Jr. Structural Dynamic an Introduction to Computer Methods, John Wiley & Son, 1981
4. William T. Thomson, Theory of Vibration with Application
5. S Timoshenko & D.H. Young & W. Weaver.JR; Vibration Problems In Engineering
6. Jan J. Tuma & Franklin Y. Cheng: Theory And Problems of Dynamic Structural Analysis

Semestre : 1
Unité d'enseignement : UEF 1.2.2
Matière : Méthodes des éléments finis 1
VHS: 45h30 (Cours: 1h30, TD: 1h30)
Crédits : 4
Coefficient : 2

Objectifs de l'enseignement

Les méthodes d'analyse existantes de résolution des problèmes de champs à équations différentielles tels que les problèmes d'élasticité, de transfert de chaleur et d'écoulement de fluide peuvent être analytiques ou approximatives pour les équations simples et numériques pour les plus complexes. Parmi ces méthodes, on retrouve la méthode des éléments finis qui est une méthode qui permet d'analyser numériquement les équations de la résistance des matériaux et de déterminer les déformations, les contraintes ainsi que les matrices de rigidités en divisant le corps à étudier en éléments finis.

Connaissances préalables recommandées

Résistance des Matériaux, Mécanique du Milieu Continu, dynamique des structures ; Analyse matricielle, Mécanique des structures, Analyses numériques et programmation.

Contenu de la Matière

Chapitre 1 Résistance des matériaux (2 semaines)
1.1. Étude du comportement des matériaux en traction, en flexion et en torsion
1.2. Moment d'inertie
1.3. Caractéristiques mécaniques
1.4. Forces et réaction aux appuis (Traction, torsion et flexion)
1.5. Applications

Chapitre 2 Méthodes de Résolution (2 semaines)
2.1. Méthode analytique
2.2. Équations aux dérivées partielles
2.3. Méthode des résidus pondérés
2.4. Méthode variationnelle
2.5. Méthode de Galerkin

Chapitre 3 Introduction générale à la méthode des éléments finis (02 semaines)
3.1. La méthode des éléments finis et ses applications
3.2. Les différentes méthodes des éléments finis

Chapitre 4 Principe des travaux virtuels (7 semaines)
4.1. Analyse matricielle
4.2. Détermination de la matrice de rigidité 1D
4.2.1. Des éléments barre
4.2.2. Des éléments Poutre
4.3. Éléments barre 2D treillis
4.4. Éléments membrane (élément triangulaire et éléments rectangulaire)
4.5. Applications
4.6. Méthode de Castigliano

Chapitre 5 Programmation MatLab (2 semaines)

Calcul des matrices de rigidité, du vecteur contraint et du vecteur forces par Matlab avec visualisation des déformées.

Mode d'évaluation :

Contrôle continue 40%; Examen 60%.

Références bibliographiques

1- *J. Goulet Résistance des matériaux Editions Dunod, 2000*
2- *Y. Xiong Formulaire de résistance des Matériaux, Editions Eyrrolles, 2002*
3- *R. Basquin Mécanique Edition de Lagrave, 2000*
4- *M. Casenave Méthode des éléments finis Edition L'usine Nouvelle et Dunod, 2010*
5- *Introduction à la méthode des éléments finis Lenneth Rocky, Roy Evans, William Griffiths et David Nethercit*
6- *Mécanique des structures par la méthode des éléments finis, Ph.Trompette, Édition Masson*
7- *Finite Element Methodes H.T.Yang*
8- *Finite element modeling For stress analysis, Robert D. Cook*
9- *Finite element analysis, McGRAW-HILL. George R. Buchanan. Shaum's outlines series.*
10- *Structural analysis R.C.Coates, M.G.Coutie, F.K.Kong. Second edition*

Semestre : 1
Unité d'enseignement : UEM 1.4
Matière : Conception des aéronefs
VHS: 45h00 (Cours: 1h30, TP: 1h30)
Crédits : 3
Coefficient : 2

Objectifs de l'enseignement:

La conception des aéronefs spécifique au Master Propulsion aéronautique a pour objectif de former les étudiants à la maîtrise du logiciel de CAO 3D SOLIDWORKS ou CATIA.
Les parties de la formation :

- La modélisation de pièces avancée apprend aux étudiants à utiliser la fonctionnalité de volumes à corps multiples, les fonctions de lissage et de balayage et les fonctionnalités SolidWorks les plus avancées pour la définition des formes complexes.
- La formation modélisation de surfaces avancée apprend aux étudiants à utiliser les fonctions de surfaces pour créer des pièces complexes.

Connaissances préalables recommandées:

Les connaissances acquises du module CAO des Aéronefs, SOLIDWORKS de base ou CATIA

Contenu de la matière:

1. **Comprendre les surfaces (2 semaines)**
   Surface extrudé, surface plane, restreindre une surface, surface cousue.
2. **Introduction a la gestion de surfaces (2 semaines)**
   Surface avec révolution, surface balayée, surface rayonnée, Prolongé une surface.
3. **Techniques avancées de modélisation des surfaces (3 semaines)**
   Surfaces réglées, Lissage de surfaces.
4. **Esquisse avec les splines (4 semaines)**
   Spline et outils de spline, Evaluation des champs de courbure, Polygone de contrôle, Poignées de spline Analyse d'une géométrie, courbure, Zébrures, Spline de style, Ajuster la spline
5. **Conception 3d d'un aéronef (4 semaines)**
   Application des différentes techniques de modélisation afin de faire une conception d'un aéronef complet ou d'un élément (aube, coque, Aile, fuselage,roue…)

TP :

Sous SolidWorks ou autre logiciel de CAO

Application des différentes techniques de modélisation afin de faire une conception d'un aéronef complet ou d'un élément (aube, coque, Aile, fuselage, roue…)

Mode d'évaluation:

Contrôle continu : 40%, Examen : 60%

Références bibliographiques:

1. *Site officiel du logiciel SolidWorks (consulter le Help)*
2. *Site officiel du logiciel CATIA (consulter le Help)*
3. *http://perso.univ-lemans.fr/~fcalvay/projetsmnrv/model_crash_abaqus.htm*

Semestre: S1
Unité d'enseignement: UET 1.1.1
Matière : Programmation avancée en Python
VHS: 45h00 (Cours 1h30, TP 1h30)
Crédits: 2
Coefficient: 2

Objectifs de la matière :

Compétences visées :

- Utilisation des outils informatiques pour l'acquisition, le traitement, la production et la diffusion de l'information
- Compétences en Python et gestion de projets,
- Compétences en automatisation et visualisation de données.

Objectifs :

- Approfondir la maîtrise du langage Python et initier les étudiants aux bases de l'analyse de données et de l'intelligence artificielle.
- Acquérir les bases de solides en informatique.
- Apprendre à programmer en Python, Excel
- Maitriser l'automatisation de tâches
- Maitriser un logiciel de gestion de projets

Matériels nécessaires :

- Un ordinateur avec Python installé,
- Bibliothèques Python : NumPy, Pandas, Scikit-learn, Matplotlib, os.listdir, os.path.exists, os.mkdir, os.rmdir, Matplotlib, Seaborn, Plitly , Request, Beautiful Soup, Tkinter, PyQT, …
- Tensorflow, PyTorch, …

Prérequis : Programmation Python,

Contenu de la matière :

Chapitre 1 : Rappels sur la programmation en Python (02 Semaines)

1. Introduction : Concepts de base en informatique et outils numériques, installation de Python.
2. Présentation de la notion de système d'exploitation : Roles, types (Linux, Woindows , ..) Gestions des priorités,
3. Présentations des réseaux informatiques (Principe, Adresse IP, DNS, internet, …)
4. Programmation de base : Mode interactif et mode script, Variables, types de données, opérateurs. Structures conditionnelles et boucles (if, for, while).
5. Fonctions et éléments essentiels : Fonctions prédéfinies et création de fonctions. Modules standards (math, random). Chaînes de caractères, listes, manipulation de base des données.
6. Les Fichiers , Listes Tuples, dictionnaires,
7. Exercices :
    - Exercices d'apprentissage de Python
    - Exercices d'utilisation des bibliothèques vus au cours (Math, Random, NumPy, Pandas,…)
    - ….

Chapitre 2 : Programmation et automatisation (04 semaines)

1. Principes d'Automatisation de tâches
    - Bibliothèques Python pour l'automatisation :

- ✓ Pandas et NumPy.
- ✓ Os, shutil : manipulation de fichiers et dossiers
- ✓ Openpyxl ou pandas : travail avec des fichiers Excel ou CSV

- Définitions et exemples d'automatisation (envoi de mails,…)

2. Manipulation de fichiers avec Python :

- Utiliser les librairies pour :
  - ✓ Parcourir un dossier (os.listdir)
  - ✓ Vérifier l'existence d'un fichier ou dossier (os.path.exists)
  - ✓ Créer ou supprimer des dossiers (os.mkdir, os.rmdir)
  - ✓ Visualiser des données : Matplotlib, Seaborn, Plitly
  - ✓ Request pour réagir avec des Interface de Programmation d'Application (API)
  - ✓ Beautiful Soup pour le Scraping de données
  - ✓ Tkinter, PyQT pour visualiser des données graphiques
- Copier ou déplacer des fichiers avec shutil…
- Recherche, tri et génération de rapports simples.
- Sérialisation et Désérialisation (Utilisation du module pickle).
- Sérialisation d'objets et traitement de fichiers volumineux (streaming).
- ….

3. Exercices :

- Utilisation de openpyxl et pandas pour lire, modifier et écrire des fichiers Excel ou CSV pour :
  - ✓ Créer des rapports automatiques
  - ✓ Extraire automatiquement des données
  - ✓ ….
- Ecriture de scripts pour :
  - ✓ traiter des fichiers textes (recherche, tri)
  - ✓ automatiser des calculs techniques
  - ✓ gérer des rapports simples (PDF, Excel)
  - ✓ ….
- Algorithmes de tri, de recherche et de tri par insertion
- Implémenter une fonction de recherche dans une liste.
- Opération sur les fichiers
- Navigation sécurisée (configuration de réseaux simples, gestion des mots de passe)
- ….

Chapitre 3 : Apprentissage avancé d'Excel (02 semaines)

1. Principes des macros et création d'une macro simple,
2. Tableaux croisés dynamiques,
3. Histogrammes,
4. Diagrammes en barres,
5. Araignée,
6. Etc.
7. **Exercices** Excel ….

Chapitre 4 : Apprentissage de GanttProject (02 semaines)

1. Introduction à la gestion de projets :
    - Qu'est-ce qu'un projet ?
    - Quels sont les enjeux de gestion d'un projet ?
    - Interface de GanttProject
2. Les tâches (création, modification ,organisation)
3. Gestion du temps (dates de début ou de fin de projet)
4. Gestion des ressources
5. **Exercices** sur Gantt Project

Chapitre 4 : Programmation orientée objet avancée (03 semaines)

1. Organisation du code :
    - Fonctions personnalisées, paramètres, valeur de retour.
    - Modules, importations et packages.
2. Structures de données complexes :
    - Listes, tuples et dictionnaires : création, modification, suppression, parcours.
3. Concepts fondamentaux de la Programmation orientée objet (POO) :
    - Classes, objets, attributs et méthodes.
    - Attributs publics, privés et protégés.
4. Méthodes spéciales :
    - **init**, **str**, **repr**, **len**.
5. Concepts avancés :
    - Encapsulation, abstraction, héritage, polymorphisme.
    - Héritage avancé, décorateurs, design patterns, métaclasses.
6. **Exercices**

Chapitre 5 : Introduction aux données pour l'IA (02 semaines)

1. Introduction aux Datasets courants en IA :

- Iris, MNIST, CIFAR-10, Boston Housing, ImageNet.

2. Prétraitement des données pour le Machine Learning:
   - Nettoyage, normalisation, encodage, séparation des données.
   - Validation croisée (cross-validation).
3. Techniques de Feature Engineering :
   - Sélection, création de caractéristiques, réduction de dimension.
4. Bibliothèques essentielles pour le développement des modèles IA:
   - scikit-learn, TensorFlow, Keras, PyTorch
5. **Exercices**

Travaux pratiques :

TP 01 : Maîtriser les bases de la programmation en Python

(Structures de contrôle, types, boucles, fonctions simples)

1. Initiation
2. Lire et traiter des fichiers textes
3. Gérer des rapports simples (PDF, Excel)

TP 02 :

- Elaborer un cahier de charges d'un mini projet d'automatisation de tâches avec Python consistant à identifier et à envoyer automatiquement des rapports par email avec Python :

1. Charger les données depuis un fichier (ex : mesures expérimentales),
2. Effectuer des statistiques simples sur les données (moyenne, écart-type avec interprétation),
3. Générer un graphique,
4. Envoi du résultat avec Python.

TP 03 :

1. Programmation ex Excel du tableau de bord vu en TD
2. Création de tableaux Excel automatisés
3. Macros simples,
4. Formules conditionnelles,
5. Recherche V.

TP 04 :

organiser une réunion en Ganttproject

1. Créer un nouveau projet :
   - Nom du projet : « Réunion …..
   - Date de début : Date et heure de la réunion
   - Durée estimée : durée totale de la réunion
2. Définition des tâches
   - Points à l'ordre du jour (chaque point de l'ordre du jour devient une tâche)
   - Sous-taches : Si un point est composé, créer alors les sous-tâches correspondantes
   - Tâches initiales et finales (par exemple : « Accueil de participants », « clôture de la réunion »)
3. Définition des ressources :

- Participants (chaque participant est une ressource)
- Matériel (ordinateur, datashow…)

4. Estimation des durées :
   - Durée de chaque point : temps nécessaire pour chaque point de l'ordre du jour
   - Temps de transition d'un point à l'autre
5. Création du diagramme de Gantt :
   - Visualiser l'ordre du jour
   - Identifier les points clés
6. Suivre l'avancement en temps réel (projection du Diagramme de Gantt)

TP 05 : Structures avancées et organisation du code
(Fonctions personnalisées, dictionnaires, modules et organisation modulaire

TP 06 : Programmation orientée objet avancée en Python

(Encapsulation, héritage, méthodes spéciales, design patterns simples)

TP 07 : Manipulation de fichiers et analyse de données

(Lecture/écriture de fichiers, traitement de texte, introduction à Pandas et NumPy)

TP 08 : Préparation et traitement de données pour l'intelligence artificielle

(Chargement de datasets IA, nettoyage, transformation, sélection de caractéristiques)

Projet final

Titre : Analyse et visualisation d'un jeu de données + modèle prédictif simple
Compétences mobilisées : Lecture de données, POO, structures avancées, Pandas, Scikit-learn. (Présentation orale + rapport écrit).

Mode d'évaluation :

examen 60% , CC=40%

Bibliographie

[1] . E.Schultz et M.Bussonnier (2020) : Python pour les SHS. Introduction à la programmation de données. Presses Universitaires de Rennes.
[2] . C.Paroissin, (2021) : Pratique de la data science avec R : arranger, visualiser, analyser et présenter des données. Paris : Ellipses, DL 2021.
[3] . S.Balech et C.Benavent : NLP texte minig V4.0, (Paris Dauphine – 12/2019) : lien : https://www.researchgate.net/publication/337744581_NLP_text_mining_V40_-_une_introduction_-_cours_programme_doctoral
[4] . Allen B. Downey Think Python: How to Think Like a Computer Scientist, O'Reilly Media, 2015;
[5] . Ramalho, L.. Fluent Python. " O'Reilly Media, Inc.", 2022;
[6] . Swinnen, G.. Apprendre à programmer avec Python 3. Editions Eyrolles, 2012;
[7] . Matthes, E. Python crash course: A hands-on, project-based introduction to programming. no starch press, 2019
[8] . Cyrille, H. (2018). Apprendre à programmer avec Python 3. Eyrolles, 6ème édition. ISBN: 978-2212675214
[9] . Daniel, I. (2024). Apprendre à coder en Python, J'ai lu

[10] . Nicolas, B. (2024). Python, du grand débutant à la programmation objet Cours et exercices corrigés, 3eme édition, Ellipses

[11] . Ludivine, C. (2024). Selenium Maîtrisez vos tests fonctionnels avec Python, Eni

Ressources en ligne :

- Documentation officielle Python : docs.python.org
- Exercices Python sur Codecademy : codecademy.com/learn/learn-python-3
- W3Schools Python Tutorial : w3schools.com/python/

Semestre : 1
Unité d'enseignement : UEM 1.1
Matière : TP Matériaux des structures aéronautique
VHS: 22h30 (TP: 1h30)
Crédits : 2
Coefficient : 1

Objectifs de l'enseignement :

L'objectif de ces Travaux Pratiques est de bien suivre la révolution des propriétés mécaniques des structures aéronautiques par la bonne connaissance des caractéristiques mécaniques des matériaux qui les constituent. L'acier, les alliages d'Aluminium et matériaux composites et sandwichs sont les matériaux les plus fréquemment rencontrés dans la construction aéronautique. La présentation de la technologie de mise en œuvre des matériaux composites est nécessaire pour faire connaitre aux étudiants ces matériaux de construction.

Connaissances préalables recommandées :

Cours des Matériaux de structures aéronautiques, programmation numérique.

Contenu de la matière :

TP 01 : Echantillonnage et préparation des éprouvettes (02 semaines)

- Méthodes d'échantillonnage
- Normalisation et Instruments de mesure
- Propriétés mécaniques et caractéristiques élastiques
- Fabrication des éprouvettes
- Matériel de manipulation et moyens de contrôles

TP 02 : Traitement thermique des aciers (03 semaines)

- Matériels utiles
- Trempe des aciers
- Micrographie et métallographie
- Coulée d'un alliage métallique
- Conception de moules

TP 03 : Matériaux classiques et Essais mécaniques (03 semaines)

- Matériaux et structures aéronautiques
- Manipulation et déroulement des essais de résilience, de dureté, de traction, …
- Remarques et discussions autour de la zone rompue

TP 04 : Matériaux avancés (04 semaines)

- Préparation des éprouvettes
- Essais mécaniques pour caractérisation élastique

- Essais acoustiques
- Contrôles et inspection
- Réparation et renforcement

TP 05 : Simulation numérique du comportement mécanique (03 semaines)

- Codes et logiciels.
- Calcul du comportement mécanique des matériaux
- Effets climatiques et simulation numérique sur les pièces aéronautiques.
- Rupture et endommagement.

Mode d'évaluation:

Contrôle continu 100%.

Références bibliographiques:

1. Kittel C., « Physique de l'état solide », Dunod, 1998.
2. Boch P., « Matériaux et processus céramiques », Hermès Science Publications, 2001.
3. Haussonne J.-M. et al., « Céramiques et verres, Principes et techniques d'élaboration », Traité des Matériaux, vol 16, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 2005.
4. Cornet A.et Deville J.P, « Physique et Ingénierie des surfaces », Monographie de Matériologie, EDP Sciences, 1998
5. Gourgues-Lorenzon A. F. et Naze L., Matériaux pour l'ingénieur, comportement, endommagement et rupture par fatigue 2008.
6. Jefferson Andrew, J. Arumugam, V., Saravanakumar, K., Dhakal, H.N. and Santulli, C., 2015. Compression after impact strength of repaired GFRP composite laminates under repeated impact loading. Composite Structures, 133: 911-920.
7. Aggelopoulos, E.S., Righiniotis, T.D. and Chryssanthopoulos, M.K., 2014. Composite patch repair of steel plates with fatigue cracks growing in the thickness direction. Composite Structures, 108:729-735.

Semestre : 1
Unité d'enseignement : UEM 1.2
Matière : TP Dynamique des structures
VHS: 22h30 (TP: 1h30)
Crédits : 2
Coefficient : 1

Objectifs de l'enseignement:

Ces travaux pratiques permettent à l'étudiant la maitrise des tests expérimentaux pour l'analyse et la détermination des modes de vibrations des différentes structures discrètes ou continues.

Connaissances préalables recommandées:

Cours des dynamiques de structures et de vibrations

Contenu de la matière: (Selon les moyens disponibles dans l'établissement)

- Vibration des éléments barre, poutre et plaque
- Détermination des modes fondamentales et autres
- Effet de l'amortissement

Mode d'évaluation:

Contrôle continu 100%.

Semestre : 1
Unité d'enseignement : UEM 1.3
Matière : TP Méthodes des éléments finis 1
VHS: 22h30 (TP: 1h30)
Crédits : 2
Coefficient : 1

Objectifs de l'enseignement:

La programmation est un outil indispensable pour un ingénieur lui permettant de travailler d'une manière autonome et progressive avec des détails pas à pas.

Connaissances préalables recommandées

Les connaissances de bases requises pour pouvoir suivre cet enseignement sont :
Analyse numériques, Équations aux Dérivées Partielles, notions de programmation, Résistance des matériaux. Programmation par Matlab.

Mode d'évaluation :

Contrôle continue 100%.

Contenu de la Matière

TP1- Rappels sur les commandes en Matlab **(2 semaines)**
Vecteurs, matrices et graphes.
TP2- Équations Polynômiales **(1 semaine)**
TP 3- Intégrales **(1 semaine)**
TP 4- Équations différentielles **(1 semaine)**
TP 5- Calcul de la matrice de rigidité d'un système de ressort ou barre **(1 semaine)**
TP 6- Matrice de rigidité d'un système treillis **(1 semaine)**
TP 7- Matrice de rigidité d'une poutre **(2 semaines)**
TP 8- Calcul des déplacements, des contraintes et des forces de réactions d'une poutre, d'une plaque **(2 semaines)**
TP 9- Visualisation des résultats des déplacements et des contraintes pour l'étude d'un cas. Tracé des graphiques **(1 semaine)**
TP 10- Contrôle de connaissances **(3 semaines)**

Semestre: 1 Master
Unité d'enseignement : UET 1.1
Matière : Respect des normes et des règles d'éthique et d'intégrité
VHS : 15h00 (Cours : 1h00)
Crédits : 1
Coefficient : 1

Objectifs de l'enseignement:
Développer la sensibilisation des étudiants au respect des principes éthiques et des règles qui régissent la vie à l'université et dans le monde du travail. Les sensibiliser au respect et à la valorisation de la propriété intellectuelle. Leur expliquer les risques des maux moraux telle que la corruption et à la manière de les combattre, les alerter sur les enjeux éthiques que soulèvent les nouvelles technologies et le développement durable.
Connaissances préalables recommandées :
Ethique et déontologie (les fondements)
Contenu de la matière :

A. Respect des règles d'éthique et d'intégrité,

1. Rappel sur la Charte de l'éthique et de la déontologie du MESRS : Intégrité et honnêteté. Liberté académique. Respect mutuel. Exigence de vérité scientifique, Objectivité et esprit critique. Equité. Droits et obligations de l'étudiant, de l'enseignant, du personnel administratif et technique,

2. Recherche intègre et responsable

- Respect des principes de l'éthique dans l'enseignement et la recherche
- Responsabilités dans le travail d'équipe : Egalité professionnelle de traitement. Conduite contre les discriminations. La recherche de l'intérêt général. Conduites inappropriées dans le cadre du travail collectif
- Adopter une conduite responsable et combattre les dérives : Adopter une conduite responsable dans la recherche. Fraude scientifique. Conduite contre la fraude. Le plagiat (définition du plagiat, différentes formes de plagiat, procédures pour éviter le plagiat involontaire, détection du plagiat, sanctions contre les plagiaires, …). Falsification et fabrication de données.

3. Ethique et déontologie dans le monde du travail :

Confidentialité juridique en entreprise. Fidélité à l'entreprise. Responsabilité au sein de l'entreprise, Conflits d'intérêt. Intégrité (corruption dans le travail, ses formes, ses conséquences, modes de lutte et sanctions contre la corruption)

B- Propriété intellectuelle
I- Fondamentaux de la propriété intellectuelle

1- Propriété industrielle. Propriété littéraire et artistique.
2- Règles de citation des références (ouvrages, articles scientifiques, communications dans un congrès, thèses, mémoires, …)

II- Droit d'auteur

- Droit d'auteur dans l'environnement numérique

Introduction. Droit d'auteur des bases de données, droit d'auteur des logiciels. Cas spécifique des logiciels libres.

- Droit d'auteur dans l'internet et le commerce électronique

Droit des noms de domaine. Propriété intellectuelle sur internet. Droit du site de commerce électronique. Propriété intellectuelle et réseaux sociaux.

- Brevet

Définition. Droits dans un brevet. Utilité d'un brevet. La brevetabilité. Demande de brevet en Algérie et dans le monde.

III- Protection et valorisation de la propriété intellectuelle

Comment protéger la propriété intellectuelle. Violation des droits et outil juridique. Valorisation de la propriété intellectuelle. Protection de la propriété intellectuelle en Algérie.

C. Ethique, développement durable et nouvelles technologie

Lien entre éthique et développement durable, économie d'énergie, bioéthique et nouvelle technologies (intelligence artificielle, progrès scientifique, Humanoïdes, Robots, drones,

Mode d'évaluation :

Examen : 100 %

Références bibliographiques :

1. Charte d'éthique et de déontologie universitaires, https://www.mesrs.dz/documents/12221/26200/Charte+fran__ais+d__f.pdf/50d6de61-aabd-4829-84b3-8302b790bdce
2. Arrêtés N°933 du 28 Juillet 2016 fixant les règles relatives à la prévention et la lutte contre le plagiat
3. E. Prairat, De la déontologie enseignante. Paris, PUF, 2009.
4. Racine L., Legault G. A., Bégin, L., Éthique et ingénierie, Montréal, McGraw Hill, 1991.
5. Siroux, D., Déontologie : Dictionnaire d'éthique et de philosophie morale, Paris, Quadrige, 2004, p. 474-477.
6. Medina Y., La déontologie, ce qui va changer dans l'entreprise, éditions d'Organisation, 2003.
7. Didier Ch., Penser l'éthique des ingénieurs, Presses Universitaires de France, 2008.
8. Gavarini L. et Ottavi D., Éditorial. de l'éthique professionnelle en formation et en recherche, Recherche et formation, 52 | 2006, 5-11.
9. Caré C., Morale, éthique, déontologie. Administration et éducation, 2e trimestre 2002, n°94.
10. Jacquet-Francillon, François. Notion : déontologie professionnelle. Letélémaque, mai 2000, n° 17
11. Carr, D. Professionalism and Ethics in Teaching. New York, NY Routledge. 2000.
12. Galloux, J.C., Droit de la propriété industrielle. Dalloz 2003.
13. Wagret F. et J-M., Brevet d'invention, marques et propriété industrielle. PUF 2001
14. Dekermadec, Y., Innover grâce au brevet : une révolution avec internet. Insep 1999
15. AEUTBM. L'ingénieur au cœur de l'innovation. Université de technologie Belfort-Montbéliard
16. http://www.app.asso.fr/
17. http://ressources.univ-rennes2.fr/propriete-intellectuelle/cours-2-54.html

18. Fanny Rinck et léda Mansour "littératie à l'ère du numérique : le copier-coller chez les étudiants" Université Grenoble 3 et Université paris ouest Nanterre la défense Nanterre, france
19. L'abc du droit d'auteur, organisation des nations unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO)
20. Alain bensoussan livre blanc – une science ouverte dans une république numérique direction de l'information scientifique et technique CNRS
21. Copyright in the cultural industries. - Cheltenham: E. Elgar, 2002. - XXII-263 p.
22. Les logiciels de détection de similitudes : une solution au plagiat électronique ? Rapport du Groupe de travail sur le plagiat électronique présenté au Sous-comité sur la pédagogie et les TIC de la CREPUQ
23. EmanuelaChiriac, Monique Filiatrault et André Régimbald. "guide de l'étudiant : l'intégrité intellectuelle plagiat, tricherie et fraude… les éviter et, surtout, comment bien citer ses sources" 2014
24. Publication de l'université de montréal. « Stratégies de prévention du plagiat », Intégrité, fraude et plagiat, 2010
25. Pierrick Malissard "La propriété intellectuelle "origine et évolution" 2010.
26. Le site de l'Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle www.wipo.int.

IV - Programme détaillé par matière du semestre S2

Semestre :2
Unité d'enseignement : UEF 2.1.1
Matière : Théorie des poutres et de plaques
VHS: 67 h30 (Cours: 3h00, TD: 1h30)
Crédits : 6
Coefficient : 3

Objectifs de l'enseignement:

Ce cours permet aux étudiants de :

- Développer leurs savoir-faire dans la modélisation, la formulation, et l'analyse des structures (poutres, plaque)
- Développer un certain niveau de compréhension et de compétence pour bien des établir la relation force-déplacement dans le comportement des structures mécaniques
- Développer un niveau de compétence dans l'interprétation et la prédiction des solutions à partir de l'analyse des structures.

Connaissances préalables recommandées :

Résistance des matériaux élémentaire, Statique1 et 2, Notion d'Algèbre linéaire, les notions de base mathématiques (équation différentielle ordinaire, partielle et calcul intégrale, série Taylor, développement limité, analyse algébrique, Analyse vectorielle.

Contenu de la matière :

Chapitre 1: Flexion plane (3 semaines)

- Facteur de force intérieurs engendrés dans les sections droites d'une poutre en flexion (Effort normale, Effort tranchant et moment fléchissant)
- Contraintes normales et choix des dimensions de la section droite de la poutre
- Contraintes tangentielles, centre de flexion et vérification de la résistance des poutres aux contraintes tangentielles
- Contraintes principales et vérification totale de la résistance de la poutre
- Eléments de calcul de la résistance des poutres d'après la capacité portante
- Déplacement des poutres en flexion
- Poutres hyperstatiques
- Energie potentielle de déformation élastique en flexion

Chapitre 2: Poutre droite de grande rigidité soumise à des sollicitations composées (4 semaines)

- Flexion déviée
- Flexion composée
- Traction ou compression et torsion
- Torsion et flexion
- Cas général de sollicitation composées
- Ressort cylindrique hélicoïdal de traction ou de compression
- Flexion d'une barre à forte courbure initiale

Chapitre 3: Plaques et enveloppes (4 semaines)

- Principales particularités des plaques et enveloppes

- Détermination des contraintes dans les enveloppes symétriques selon la théorie des membranes
- Flexion des plaques circulaires symétriquement chargées
- Détermination des contraintes et des déplacements dans les plaques circulaires
- Flexion des plaques rectangulaires
- Flexion d'une enveloppe cylindrique chargée symétriquement

Chapitre 4: Stabilité de l'équilibre des systèmes déformables (4 semaines)

- Notion de stabilité
- Problème d'Euler
- Grand déplacement d'une barre élancée
- Valeur de la force critique selon le mode de fixation de la poutre
- Stabilité d'une poutre en présence de déformations plastiques
- Stabilité de la forme plane de flexion
- Stabilité des anneaux et des tubes chargés par une pression extérieure
- Méthode énergétique de détermination des charges critiques
- Méthode des paramètres initiaux
- Sur quelques cas de perte de stabilité ne s'inscrivant pas dans le schéma classique
- Compression excentrée d'une barre élancée
- Flexion composée
- Flambage des plaques rectangulaires
- Flambage des poutres dépourvues d'appuis latéraux

Mode d'évaluation :

Contrôle Continu : *40%*, Examen : *60%.*

Références bibliographiques:

1- S.P Timoshenko, Résistance des matériaux, Tome 1&2 Dunod technique, Paris, 1968
2- G.Pissarenko & A. Yakovlev& V.Matvéev, aide-mémoire de Résistance des Matériaux, Edition Mir, Moscou, 1975
3- Charles Massonnet & Serge Cescotto, Mécanique des Matériaux, De Boeck & Larcier s.a, Paris, 1992
4- André Bazergui, Thang Bui-Quoc, André Biron, Georges McIntyre et Charles, Presses internationales Polytechnique, Canada,2002
5- Arthur P. Boresi, Omar M. Sidebottom, Fred B. Seely, James O. Smith, Advanced Mechanics of Materials, John Wiley & Sons, New-york,1978
6- Robert G. Boggs: Elementary Structural Analysis, Holt. Rinehart and Winston, New-york, 1984
7- Jeffrey P. Laible, C.E, Structural Analysis, Holt. Rinehart and Winston, New-york, 1978
8- Harold I. Laursen, Jr, Structural Analysis, McGraw-Hill, 1981
9- A.Ghali & A.M.Neville & Y.K.Cheung, Structural Analysis, A Unified Classical Approach, IEP, Pennsylvania, 1972
10- James A.D.Balfour, Computer Analysis of structural Frameworks,Collins, 1986
11- Timoshenko, S.P, Young, D.H, strength of material, McGraw-Hill, 1975
12- Timoshenko, S.P, Young, Plat & Shell, McGraw-Hill, New-york, 1978
13- Timoshenko, S.P, Young, and Goodier, J.N., Theory of elasticity, 3rd Ed., McGraw-Hill Book. Co., Inc, New-york, 1970
14- Timoshenko, S.P, Young, and Gere. J.M., Theory of Elastic Stability, 2nd Ed., McGraw-Hill Book. Co., Inc, New-york,1961

Semestre :2
Unité d'enseignement : UEF 2.1.2
Matière : Matériaux composites
VHS: 45h00 (Cours: 1h30, TD: 1h30)
Crédits : 4
Coefficient : 2

Objectifs de l'enseignement:

L'objectif du programme est de présenter une méthode générale de modélisation de ce type de structures hétérogènes et anisotropes, basée sur une formulation variationnelle mixte. Des lois de comportement seront ainsi identifiées permettant d'aborder les aspects d'orientation du renfort et d'empilement des couches ainsi que l'étude des phénomènes de délaminages et de rupture.

Connaissances préalables recommandées :

Elasticité, mécanique des matériaux.

Contenu de la matière :

Chapitre 01 : Généralités sur les matériaux composites (02 semaines)

- Eléments constituants
- Méthodes de mise en œuvre
- Propriétés et caractéristiques
- Domaines d'applications

chapitre 02 : Elasticité et Anisotropie (02 semaines)

- Anisotropie des matériaux
- Orthotropie et Isotropie transverse
- Isotropie des matériaux
- Calcul des coefficients homogénéisés.

chapitre 03 : Lois de Comportement mécanique d'un pli composite (03 semaines)

- Cas d'un pli unidirectionnel
- Effet de l'orientation des fibres
- Tissus et fibres coupées
- Résistance des matériaux et critères de rupture
- Modes d'endommagement

Chapitre 04 : Modélisation du comportement mécanique des matériaux stratifiés (04 semaines)

- Comportement en membrane
- Comportement hors du plan

- Mécanismes de rupture et endommagement
- Comportement hygro-thermo-mécanique.

chapitre 05 : Vibrations de poutres et des plaques stratifiées (04 semaines)

- Vibrations libres
- Régime forcé
- Cas des plaques composites
- Cas des poutres composites
- Applications numériques

Mode d'évaluation :

Contrôle Continu : *40%*, Examen : *60%.*

Références bibliographiques:

1. R.-M.Jones, Mechanics of composite materials, Taylor & Francis, Philadelphia, 1999, ch. 3.

2. D. Gay, S.V. Hoa, S.W. Tsai, Composite materials, design and applications. 1st ed. New York: CRC Press, 2003.

3. Bob Moffit, Composite Materials in Building and Construction Applications, Acma's corrosion, mining, infrastructure & architecture conference, May 15, 2013 - Denver, CO

4. Allen H.G., Pinzelli R.F., Comparative study of marine composite sandwichs, International conference of composites, Paris, March 4 & 5 1986, pp.1-15.

5. Jones R.M., 1999, Mechanics of composite materials, Taylor & Francis, Philadelphia.

6. Park Taehyo, Kim Kidu, Han Sungcheon. Linear static and dynamic analysis of laminated composite plates and shells using a 4-node quasi-conforming shell element. Composites: Part B, 2006, vol. 37, pp. 237–248.

7. Wu Yu-Fei, XU Rongqiao, Chen Weiqiu. Free vibrations of the partial-interaction composite members with axial force. Journal of sound and vibration, 2007, vol. 299, pp. 1074–1093.

Semestre :2
Unité d'enseignement : UEF 2.2.1
Matière : Analyse des structures 1
VHS: 45h30 (Cours: 1h30, TD: 1h30)
Crédits : 4
Coefficient : 2

Objectifs de l'enseignement:

Ce cours permet aux étudiants de :

- Développer leurs savoir-faire dans la modélisation, la formulation, et l'analyse des structures déterminés et indéterminées (poutres, treillis, portiques) utilisant les méthodes géométrique classique d'analyse des structures.
- Développer un certain niveau de compréhension et de compétence pour bien des établir la relation force-déplacement dans le comportement des structures mécaniques
- Développer un niveau de compétence dans l'interprétation et la prédiction des solutions à partir de l'analyse des structures.

Connaissances préalables recommandées :

Résistance des matériaux avancé, Statique1 et 2, , Notion d'Algèbre linéaire , les notions de base mathématiques (équation différentielle ordinaire, partielle et calcul intégrale, série Taylor, développement limité, analyse algébrique, Analyse vectorielle.

Contenu de la matière :

Chapitre 1:
Introduction **(2 semaines)**

- Rappel de quelques notions fondamentales de la résistance des matériaux
- Comportement linéairement élastique du matériau et superposition
- Principe de superposition
- Théorie des petits déplacements et Non linéarité géométrique
- Application au calcul des réactions
- Calcul des réactions dans les structures du type (3D)
- Equivalence vectorielle des charges en calcul statique
- Méthode de calcul des diagrammes d'efforts tranchant et des moments fléchissant en se basant sur la relation entre les charges (q), les efforts tranchants (T), et les moments fléchissant (M)

Chapitre 2: Déformée de la ligne élastique des poutres droites en flexion simple
(4 semaines)

- Relation courbure moment fléchissant
- Méthode de l'équation différentielle ordinaire du
    A. Deuxième ordre
    B. Troisième ordre
    C. Quatrième ordre
- Méthode des fonctions de singularité
- Méthode de Macaulay
- Méthode des paramètres initiaux

- Méthode de l'aire des moments pour les cas de chargement complexes
- Méthode de superposition
- Déformée de la ligne élastique des poutres droites à section variable en flexion simple
    A. Calcul des poutres d'égale résistance en flexion plane…
    B. Analyse des poutres d'égale résistance à gradin
    C. Déplacement des poutres à section variable.

Chapitre 3: Systèmes hyperstatiques (statiquement indéterminées) **(3 semaines)**

- Etapes fondamentales du calcul des systèmes hyperstatiques
- Méthode de l'équation différentielle ordinaire du
    D. Deuxième ordre
    E. Troisième ordre
    F. Quatrième ordre
- Méthode des fonctions de singularité
- Méthode de Macaulay
- Méthode des paramètres initiaux
- Méthode de l'aire des moments pour les cas de chargement complexes
- Méthode de superposition

Chapitre 4: Méthodes d'analyse des structures statiquement indéterminées (3 semaines)

- Système de deux poutres hyperstatique complexe
- Poutre sur deux travées de même longueur L…
- Poutres hyperstatiques en parallèle et reliées par une tige
- Poutres hyperstatiques croisées
- Portique plan
- Poutre courbe
- Poutres Continues (sur plus de deux appuis)

Chapitre 5: Flexion et torsion des barres à parois minces (3 semaines)

- Principales particularités des barres à parois minces
- Aire sectorielle
- Caractéristiques sectorielles et leur détermination
- Contraintes tangentielles des barres à parois minces en flexion simple
- Centre de flexion
- Gauchissement des sections droites d'une barre à parois minces travaillant en torsion
- Torsion gênée des barres à parois minces à profile ouvert
- Cas général de charge d'une barre à parois minces. Bimoment

Mode d'évaluation :

Contrôle Continu : *40%*, Examen : *60%.*

Références bibliographiques:

1. Robert G. Boggs: Elementary Structural Analysis, Holt. Rinehart and Winston, New-york, 1984
2. Jeffrey P. Laible, C.E, Structural Analysis, Holt. Rinehart and Winston, New-york, 1978
3. Harold I. Laursen, Jr, Structural Analysis, McGraw-Hill, 1981
4. A.Ghali & A.M.Neville & Y.K.Cheung, Structural Analysis, A Unified Classical Approach, IEP, Pennsylvania, 1972
5. James A.D.Balfour, Computer Analysis of structural Frameworks,Collins, 1986
6. Timoshenko, S.P, Young, D.H, strength of material, McGraw-Hill, 1975

Semestre :2
Unité d'enseignement : UEF 2.2.2
Matière : Méthodes des éléments finis 2
VHS: 45h30 (Cours: 1h30, TD: 1h30)
Crédits : 4
Coefficient : 2

Objectifs de l'enseignement:

L'objectif de cet enseignement est de connaitre les fondements et la formulation de la méthode des éléments finis et de maîtriser les techniques de dimensionnement et de calcul des structures légères de type aérospatial.
Savoir analyser les résultats obtenus par un calcul éléments finis et tirer des conclusions.

Connaissances préalables recommandées

Les connaissances de bases requises pour pouvoir suivre cet enseignement sont :
Programmation en MatLab, Logiciels ANSYS et SolidWorks, Méthode des éléments finis 1.

Contenu de la Matière

Chapitre 1 Élément isoparamétrique (2 semaines)
- 1.1. Transformation géométrique et élément isoparamétrique
- 1.2. Élément quadrilatéral dans un plan
- 1.3. Élément tridimensionnel

Chapitre 2 Élément de plaque mince (2 semaines)
- 2.1. Matrice de rigidité Élément triangulaire à trois nœuds
- 2.2. Matrice de rigidité Élément rectangulaire à quatre nœuds

Chapitre 3 Élément de coque mince (2 semaines)
- 3.1. Élément triangulaire plan de coque mince
- 3.2. Élément rectangulaire plan coque mince

Chapitre 4 Éléments finis en dynamique (4 semaines)

4.1. Mouvement du corps déformable
- 4.1.1. Repère et vecteurs mouvement
- 4.1.2. Déformation d'un élément de la structure plane
- 4.1.3. Fonction de forme d'un élément de barre

4.2. Équation dynamique d'un élément barre
- 4.2.1. Vecteur force externe
- 4.2.2. Puissance d'efforts des liaisons
- 4.2.3. Puissance de déformation
- 4.2.4. Puissance des quantités d'accélération
- 4.2.5. Équation dynamique de déformation
- 4.2.6. Matrice des caractéristiques d'élément de corps

Chapitre 5 Eléments finis en 3D (3 semaines)
- 5.1 But des éléments finis en 3D
- 5.2 Matrice de déplacement et matrice de forces
- 5.3 Contrainte et allongement unitaire

5.4 Matériaux stratifiés
5.5 Méthode d'étude des éléments finis en 3D
Application : Étude et dimensionnement d'une aile d'avion

Chapitre 6 Formulations complémentaires (2 semaines)

6.1. Problèmes thermiques
6.2. Différentes techniques en éléments finis (maillage, convergence, élastoplasticité ..)
Application : aux structures internes d'ailes d'avion.

Mode d'évaluation :

Contrôle continue 40%; Examen 60%.

Références bibliographiques

1- *Introduction à la méthode des éléments finis Lenneth Rocky, Roy Evans, William Griffiths et David Nethercit*
2- *Mécanique des structures par la méthode des éléments finis, Ph.Trompette, Édition : Masson*
3- *Méthodes d'éléments finis pour les problèmes de coques minces M.Bernadou, Édition : Masson*
4- *Finite Element Methodes H.T.Yang*
5- *Finite element modeling For stress analysis, Robert D. Cook*
6- *Finite element analysis, McGRAW-HILL. George R. Buchanan. Shaum's outlines series.*
7- *Structural analysis R.C.Coates, M.G.Coutie, F.K.Kong. Second edition*

Semestre :2
Unité d'enseignement : UEM 2.1
Matière : TP Méthode des éléments finis 2
VHS: 22h30 (TP: 1h30)
Crédits : 2
Coefficient : 1

Objectifs de l'enseignement:

Apprendre et comprendre à simuler un comportement en utilisant un code de calcul.
Visualiser et savoir analyser les résultats dans le but d'un dimensionnement adéquat.

Connaissances préalables recommandées

Résistance des matériaux, DAO, Méthode des éléments finis 1, Logiciels Solidworks et Ansys

Table des Matières

TP1-Rappels sur le logiciel Solidworks **(1 semaine)**
TP 2- Initiation sur les principales commandes du logiciel Ansys **(2 semaines)**
TP 3 - Concevoir et simuler le comportement d'une barre sous chargement simple **(1 semaine)**
TP 4- Simulation et visualisation des déformations et des contraintes d'une poutre, d'une plaque et d'un treillis **(2 semaines)**
TP 5 - Éléments axisymétriques sous pression **(1 semaine)**
TP 6 - Calcul des structures tridimensionnelles **(1 semaine)**
TP 7- Vibrations des poutres **(1 semaine)**
TP 8 - Étude comparative avec les résultats obtenus par le logiciel Matlab **(1 semaine)**
TP 9- Réalisation d'un essai de traction simple et de flexion 3 points (essai expérimental). **(1 semaine)**
TP 10- Étude d'une plaque trouée en Aluminium et en composites sous traction simple (essai expérimental**). Les résultats expérimentaux serviront à valider les résultats numériques** **(2 semaines)**
TP 11- Contrôle de connaissances **(2 semaines)**

Mode d'évaluation :

Contrôle continu 100%

Références bibliographiques

Semestre :2
Unité d'enseignement : UEM 2.2
Matière : TP Matériaux composites
VHS: 15h00 (TP: 1h00)
Crédits : 2
Coefficient : 1

Objectifs de l'enseignement :

L'objectif de ce TP est de procéder à l'élaboration et la caractérisation des matériaux composites. Les méthodes de mise en œuvre consistent à élaborer les pièces en matériaux composites par couches successives comportant matrice et renfort. Il est nécessaire ensuite de caractériser le matériau fini par élaboration d'une série d'essai mécaniques afin de déterminer ses constantes élastiques. Une analyse numérique, par le biais de codes de calcul, sera aussi utilisée pour traiter la loi de comportement mécanique d'un pli composite et d'un stratifié.

Connaissances préalables recommandées :

Cours des matériaux composites, programmation numérique.

Contenu de la matière :

TP 01 : Technologie de Mise en oeuvre (03 semaines)

- Etapes de fabrication d'un matériau composite
- Préparation du moule et technique d'imprégnation du renfort
- Exemple de moulage au contact

TP 02 : Essais Mécaniques (03 semaines)

- Echantillonnage et préparation des éprouvettes
- Capteurs et instrumentation
- Essais de traction (longitudinal et transversal)

TP 03 : Comportement mécanique d'un pli composite (04 semaines)

- Maitrise d'un code de calcul approprié
- Calcul du comportement mécanique d'un pli unidirectionnel
- Calcul du comportement mécanique d'un pli orienté arbitrairement

TP 04 : Comportement mécanique d'un stratifié (05 semaines)

- Calcul du comportement en membrane d'un stratifié
- Calcul du comportement hors du plan d'un stratifié.
- Rupture et endommagement.

Mode d'évaluation:

Contrôle continu 100%.

Semestre :2
Unité d'enseignement : UEM 2.3
Matière : TP Aérodynamique approfondie
VHS: 15h00 (TP: 1h00)
Crédits : 2
Coefficient : 1

Objectifs de l'enseignement :
Le Module « TP Aérodynamique approfondie » joue un rôle fondamental et actif en permettant aux étudiants en aéronautique d'acquérir une compréhension cognitive et des informations empiriques dans le domaine aéronautique. Ce module est réalisé sous forme d'une série d'expériences qui servent à aider nos étudiants à mieux comprendre l'aérodynamique qu'ils ont fait théoriquement pendant le semestre écoulé ainsi se familiariser avec les appareils et machines en relation.

Connaissances préalables recommandées: selon le matériel disponible
Il est recommandé de maîtriser la mécanique des fluides appliqué, l'aérodynamique, la mécanique du vol.

Contenu de la matière:

T.P. N°1 : Mesure de la portance et de la traînée d'une aile d'avion

On se propose de déterminer les caractéristiques d'un profil d'aile d'avion NACA (traînée, portance et finesse) dans une soufflerie subsonique :

- Mesure de répartition de pression sur intrados et extrados d'un profil d'aile d'avion.
- Mesure de portance, trainée et moment avec une balance aérodynamique avec trois composantes sur différents profils d'aile d'avion en fonction de l'incidence.
- Comparaison des profils d'aile d'avion NACA de différentes formes symétrique et cambrés, avec et sans volet.
- Étude du phénomène du décrochage et de la finesse de l'aile d'avion.
- Effet du nombre de Reynolds sur la portance maximale.

T.P. N°2 : Sillage tourbillonnaire

- Dans une soufflerie aérodynamique, on étudie les régions de production de sillage provoquées par les dépressions de l'écoulement autour d'un profil d'aile d'avion et d'un cylindre à différents nombres de Reynolds.
- Des visualisations par générateur du fumé permettront d'établir la relation entre la taille de la poche de sillage d'air et le coefficient de traînée.

T.P. N°3 : Couche limite laminaire et turbulente

On relèvera des profils de vitesse dans une couche limite se développant sur une plaque plane (lisse et rugueuse) placée dans une soufflerie :

- On étudiera successivement les régimes laminaire et turbulent. Les différentes épaisseurs caractéristiques de la couche limite seront comparées aux épaisseurs théoriques déduites des approches de Blasius et de Prandtl.
- Étude de l'effet de gradient de pression sur le développement aérodynamique d'une couche limite.

T.P. N°4 : Traînée des corps aérodynamique

On s'intéresse à l'origine de la traînée aérodynamique pour différentes types corps aérodynamique placés dans une soufflerie subsonique, on mesure la pression autour du profil pour estimer les efforts sur le corps. On regarde comment ces grandeurs évoluent par des modifications de la géométrie du corps.

NB *Il est important d'ajouter le cours de ce TP (Aérodynamique approfondie) comme une matière de découverte durant le semestre 1 ou 2.*

Mode d'évaluation :

Contrôle continu :*100%*.

Références bibliographiques :

1. *http://www.tecquipment.com/#*
2. *http://www.deltalab-smt.com/teaching-mechanical-engineering/fluid-mechanics-aerodynamics/aerodynamics/subsonic-suction-wind-tunnel-ea600*
3. *Manuel technique et notes pédagogiques de la soufflerie expérimentale*
4. *Livres et polycopiés existants au niveau des laboratoires de pédagogique (Laboratoire MDF, Laboratoire Aérodynamique) et des bibliothèques du département.*

Semestre :2
Unité d'enseignement : UEM 2.4
Matière : Régulation et asservissement
VHS: 30h00 (Cours: 1h00, TP: 1h00)
Crédits : 2
Coefficient : 1

Objectifs de l'enseignement

S'introduire à la théorie de commande à travers l'apprentissage des notions: ('*système*', '*commande*', caractéristiques '*statique*' et '*transitoire*' de la réponse d'un système dynamique, …). Un asservissement ou boucle de régulation est un schéma de commande qui, en présence des perturbations, tend à maintenir une certaine relation (erreur réduite) entre la réponse instantanée (sortie) d'un système, et la 'consigne' (entrée de référence) par comparaison de ces deux signaux, et emploi de la différence comme moyen de contrôle. Dans ce contexte, l'étudiant acquiert des compétences d'*analyse* et de *synthèse* (conception) de systèmes de commande.

Connaissances préalables recommandées

Mathématiques de base: Calcul différentiel et intégral, Analyse complexe

Contenu de la matière :

Cours :

Chapitre 1 : Introduction aux systèmes asservis. **(1 semaine)**

Chapitre 2 : Transformée-de-Laplace. **(2 semaines)**

Chapitre 3 : Modélisation des systèmes et Fonction de Transfert. **(2 semaines)**

Chapitre 4 : Systèmes du 1er et 2nd ordre, Spécifications de synthèse (stabilité, rapidité, précision). **(2 semaines)**

Chapitre 5 : Analyse de la Stabilité (critère de Routh , …), **(1 semaine)**

Chapitre 6 : Analyse de l'erreur, précision des systèmes asservis. **(1 semaine)**

Chapitre 7 : Synthèse des correcteurs : P, PI, PID. **(4 semaines)**

Chapitre 8 : Aperçu sur les méthodes: Bode, Nyquist ; lieu des racines ; … **(2 semaine)**

Organisation des TP :

TP1: **Mise à niveau pour l'exploitation des boîtes à outils de Matlab**

Toolbox /Matlab, control et Simulink … : *scope*, *source*, *comparateur*, *step*, *retard pur*, *fonction de transfert*, *perturbation*, *bruit de mesure*,…etc.

TP2: **Détermination de la fonction de transfert d'un système et tracé des réponses temporelles et fréquentielles en Boucle ouverte et en boucle fermée.**

Utilisation des commandes *: tf, Ident, Step, Impulse, ,…*etc

TP3: Analyse temporelle des systèmes LTI

Premier et second ordre et d'ordre supérieur et notion de pôles dominants sous Matlab et Simulink.

Modélisation et identification d'un circuit électrique R-L-C par un modèle du premier/ deuxième ordre (excitation aléatoire par un générateur de tension et mesure de la tension de sortie par un voltmètre).

TP3: **Stabilité et précision des systèmes asservis**

TP4: Réglage d'un système de premier ordre par un régulateur P et PI (synthèse d'un correcteur à avance de phase, méthode de réponse fréquentielle, …).

TP5: **Analyse fréquentielle des systèmes**

Bode, Nyquist, Lieu des racines sous Matlab et Simulink.
Utilisation des commandes : *Lsim, Ltiview, Bode, Nyquist*
Utiliser la commande *RLTOOL* pour synthétiser le contrôleur qui permet de stabiliser la fonction de transfert.

TP6: **Selon les moyens disponibles** : **Analyse et réglage des systèmes bouclés analogiques réels au laboratoire**

Asservissement de position et de vitesse, régulation de température, régulation de débit et de niveau.

Mode d'évaluation

Contrôle Continu: 40%, **Examen:** 60%.

Références bibliographiques :

1. *KATSUHIKO OGATA, Modern Control Engineering, Prentice-HALL, (1st ed. 1970) et/ou (5th ed. 2010)*
2. *Cours d'automatique Tome 2, Asservissement régulation commande analogique, Jean-Louis Ferrier, Maurice Rivoire, Eyrolles*
3. *Automatique : régulations et asservissements, de Thierry Hans et Pierre Guyénot, 20 juin 2014.*
4. *Exercices d'automatique, tome 2 : Asservissement, régulation, commande analogique*
5. *de Maurice Rivoire et Jean-Louis Ferrier, Eyrolles*
6. *Asservissements et régulations continus. Volume 2, Analyse et synthèse, problèmes avec résolutions, de Collectif et Elisabeth Boillot,1 janvier 2002*
7. *Régulation industrielle, Outils de modélisation, méthodes et architectures de commande, Ouvrage dirigé par : Emmanuel Godoy, Collection: Technique et Ingénierie, Dunod/L'Usine Nouvelle, 2014 - 2ème édition - 552 pages , EAN13 : 9782100717941*

Semestre: S2
Unité d'enseignement: 1.2.1
Matière : Eléments d'intelligence artificielle appliquée
VHS: 45h00 (Cours 1h30, TP 1h30)
Crédits: 2
Coefficient: 2

Compétences visées :

- Identifier les opportunités de l'intelligence artificielle en sciences de l'ingénieur
- Comprendre les implications éthiques de l'IA et les bonnes pratiques de son utilisation.
- Capacité à utiliser les techniques de l'IA dans la résolution de problèmes

Objectifs :

- Maitrise des algorithmes IA
- Initiation aux concepts, outils et applications fondamentales de l'intelligence artificielle moderne, en mettant l'accent sur la pratique avec Python et ses bibliothèques.
- Approfondir le langage Python,
- Comprendre les approches de l'IA dans la résolution de problèmes,

Prérequis :

Programmation avancée Python

Matériels nécessaires :

- Un ordinateur avec Python installé,
- Bibliothèques Python : NumPy, Pandas, Scikit-learn, Matplotlib, os.listdir, os.path.exists, os.mkdir, os.rmdir, Matplotlib, Seaborn, Plitly , Request, Beautiful Soup, Tkinter, PyQT, …
- Tensorflow, PyTorch, …

Contenu de la matière :

Chapitre 1 : Introduction à l'intelligence artificielle l'IA (01 semaine)

1. Définitions et champs d'application de l'IA.
2. Évolution historique de l'IA.
3. Introduction aux grands domaines :
    - Apprentissage automatqiue (Machine Learning)
    - Apprentissage profound (Deep Learning**)**

Chapitre 2 : Mathématiques de base pour l'IA (01 semaine)

1. **Algèbre linéaire** : vecteurs, matrices, produits, normes.
2. **Probabilités & statistiques** :
    - Variables, espérance, variance.
    - Lois usuelles : normale, binomiale, uniforme.
3. **Régression linéaire simple** :
    - Formulation, coût, optimisation.
    - Mise en œuvre avec **Scikit-learn**.
4. **Exercices :**
    - Manipulation de matrices avec la bibliothèque NumPy (Python)

- Exercice sur la régression linéaire (utiliser une bibliothèque Python comme Scikit-learn par exemple)
- Expliquer la bibliothèque Matplotlib (Python)
- …

Chapitre 3 : Apprentissage automatqiue (Machine Learning) (03 semaines)

1. Concepts clés : Données, Modèles, features, étiquettes, généralisation.
2. Phases d'un pipeline d'apprentissage : entraînement, validation, test.
3. Types d'apprentissage :
   - Supervisé
   - Non supervisé
   - Par renforcement *(aperçu)*
4. **Exercices :**
   - Approfondir les notions vues au cours
   - ….

Chapitre 4 : Classification supervisée (3 semaines)

1. Principe d'entrainement de modèle de classification simple :
2. Les modèles et algorithmes :
   - SVM (Support Vector Machine)
   - Arbres de décisions
3. Évaluation de performance :
   - Matrice de confusion, précision, rappel, F1-score.
5. **Exercices :**
   - Expliquer comment utiliser Scikit-learn ?
   - Comparaison de plusieurs modèles sur un dataset
   - ….

Chapitre 5 : Apprentissage non supervisé

1. Notion de clustering.
2. Algorithmes :
   - **K-means**
   - DBSCAN (Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise)
3. Visualisation 2D et interprétation des résultats.
4. **Exercices :**
   - Expliquer comment utiliser un algorithme de clustering sur un Dataset
   - Expliquer comment visualiser les clusters.
   - ….

Chapitre 6 : Les réseaux de neurones

1. Architecture d'un réseau de neurones :
    - Perception,
    - Couches et couches caches, poids, biais.
    - Fonction d'activation : ReLU, Sigmoïde, Softmax, ….
    - Exercices d'applications
2. Introduction au **Deep Learning** :
    - Notion de couches profondes.
    - Introduction au réseaux convolutifs (CNN)
3. **Exercices :**
    - Expliquer Tensorflow et PyTorch
    - Analyser un Dataset de texte et prédire des sentiments
    - ….

Chapitre 6 : Introdution Les réseaux de neurones

Chapitre 7 : Mini projet (travail personnel encadré en dehors des cours) :

Création d'un modèle complet de classification ou clustering, avec prétraitement, entraînement et visualisation ; choisir et traiter un projet du début jusque la fin parmi (à distribuer au début du semestre) :

- Reconnaissance des caractères manuscrits
- Prédiction des catastrophes naturelles
- Développer un Chatbot capable de répondre aux questions fréquentes d'une entreprise, de manière naturelle.
- Développer un système capable de distinguer les sons normaux d'une machine de ceux indiquant une anomalie (roulement défectueux, vibration excessive, etc.)
- Développer un système (mini IA) capable d'analyser les sentiments exprimés dans les publications sur réseaux sociaux à propos d'un produit, une marque ou un évènement.
- …

Travaux pratiques :

TP 01 : Initialisation

TP 02 :

- Implanter une régression simple avec Scikit-learn visualisation avec Matplotlib (par exemple)
- Visualiser les résultats avec Matplotlib
- …

TP 03 :

- **Pipeline de machine learning et séparation des données**
- Approfondir es notions vues au cours

TP 04 :

- Utilisation Scikit-learn pour entrainer un modèle de classification simple

- …….

TP 05 :

- Implanter un algorithme de clustering sur un Dataset
- Visualiser les clusters : Clustering non supervisé (K-means, DBSCAN).
- ….

TP 06 :

- Construire un réseau de neurones simple avec TensorFlow ou PyTorch ou keras
- Construire un CNN simple pour classifier des images (exemple : Dataset MINIST)
- …

Mode d'évaluation :

examen 60% , CC=40%

Bibliographie :

- Ganascia, J.Gabriel (2024) : l'IA expliquée aux humains. Paris France- Edition le Seuil.
- Anglais, Lise, Dilhac, Antione, Dratwa, Jim et al. (2023) : L'éthique au coeur de l'IA. Quebec Obvia.
- J.Robert (2024) : Natural Language Processing (NLP) : définition et principes – Datasciences. Lien : https://datascientest.com/introduction-au-nlp-natural-language-processing
- Qu'est-ce que le traitement du langage naturel. Lien : https://aws.amazon.com/fr/what-is/nlp/
- M.Journe : Eléments de Mathématiques discrètes – Ellipses
- F.Challet : L'apprentisage profond avec Python – Eyrolles
- H.Bersini (2024) : L'intelligence artificielle en pratique avec Python – Eyrolles
- B.Prieur (2024) : Traitement automatique du langage naturel avec Python – Eyrolles
- V.Mathivet (2024) : Implémentation en Python avec Scikit-learn – Eyrolles
- G.Dubertret (2023) : Initiation à la cryptographie avec Python – Eyrolles
- S.Chazallet (2023) : Python 3 – Les fondamentaux du langage - Eyrolles
- H.Belhadef, I.Djemal : Méthode TALN – Cours de l'unievrsité de Msila - Algérie

Semestre: 2 Master
Unité d'enseignement : UET 1.1
Matière : Lean Start-Up
VHS : 45h00 (Cours : 1h30, Atelier : 1h30)
Crédits : 2
Coefficient : 2

Objectifs de l'enseignement:

Ce cours prolonge le module Entrepreneuriat et Lean Start-Up 1. L'étudiant y apprend à transformer les hypothèses validées en produit minimum viable (MVP) et à mobiliser l'intelligence artificielle et la méthode TRIZ pour résoudre les contradictions techniques propres à l'innovation. Il se familiarise avec les indicateurs de performance d'une startup, en particulier le modèle AARRR, et apprend à décider, sur la base de ces indicateurs, s'il faut changer de cap (Pivot) ou poursuivre dans la même direction (Persevere). Le cours aborde enfin les sources de financement d'une startup et les stratégies de croissance, avant de se conclure par un projet intégrateur, le Startup Lab, mené en équipe tout au long du semestre et soutenu devant un jury sous la forme d'un pitch final.

Connaissances préalables recommandées:

Avoir suivi le module Entrepreneuriat et Lean Start-Up 1, notamment les notions de démarche Lean Startup, de Customer Discovery et de Business Model Canvas.

Contenu de la matière:

VI. Le produit minimum viable (MVP) (3 semaines)

- Définition et rôle du MVP dans la démarche Lean Startup
- Types de MVP : numérique, expérimental, service simulé
- Test des hypothèses critiques
- Prototypage rapide et outils de création de prototypes (Figma, Glide, Bubble, Canvas)
- Mesurer l'échec dans le délai le plus court possible

VII. Intelligence artificielle et méthode TRIZ au service de l'innovation (3 semaines)

- L'intelligence artificielle dans l'entrepreneuriat : génération d'idées, analyse de marché, développement du MVP, marketing
- Présentation de la méthodologie TRIZ
- Les contradictions techniques et la solution idéale finale
- Combinaison de l'intelligence artificielle et de TRIZ
- Les startups Deep Tech

VIII. Mesure de la performance et gestion de l'échec (3 semaines)

- Les indicateurs clés de performance (KPIs) et le management d'une startup
- Le modèle AARRR : Acquisition, Activation, Rétention, Revenu, Recommandation
- L'adéquation produit-marché (Product-Market Fit) et l'adéquation problème-solution (Problem-Solution Fit)
- Taux de rétention, taux d'attrition (Churn) et rythme de consommation de trésorerie (Burn Rate)
- Les indicateurs d'apprentissage (Learning Metrics)
- La gestion précoce de l'échec et les critères d'arrêt d'un projet (Kill Criteria)

IX. Pivoter ou persévérer : Pivot vs Persevere (2 semaines)

- Le changement de cap partiel ou total (Pivot) et la persévérance (Persevere)
- Les signaux qui motivent un changement de direction
- Les différents types de pivot
- Les indicateurs qui appuient la décision

X. Financement, croissance et expansion (2 semaines)

- Les sources de financement : autofinancement, investisseurs providentiels (business angels), capital-risque, financement participatif
- Les étapes successives du financement d'une startup
- Les stratégies de croissance rapide à faible coût (Growth Hacking)
- Les moteurs de croissance (Engines of Growth) : viral, payant, organique
- L'entonnoir marketing (Funnel Growth) et les boucles de croissance (Growth Loops)
- Les stratégies d'expansion internationale

XI. Projet intégrateur : Startup Lab et soutenance finale (2 semaines)

- Synthèse du projet mené en équipe, du choix du problème à la stratégie de financement et de croissance
- Préparation et présentation du pitch final devant un jury d'évaluation

Mode d'évaluation:

Examen final : 20 %. Travaux pratiques et ateliers : 20 %. Projet collectif (Startup Lab) : 60 %.

Références bibliographiques

1. Maurya, A. (2012). Running Lean.
2. Croll, A., Yoskovitz, B. (2013). Lean Analytics.
3. Doerr, J. (2017). Measure What Matters.
4. Weinberg, G., Mares, J. (2015). Traction: How Any Startup Can Achieve Explosive Customer Growth.
5. Eyal, N. (2014). Hooked: How to Build Habit-Forming Products.
6. Grove, A. S. (1983). High Output Management.
7. Horowitz, B. (2014). The Hard Thing About Hard Things.
8. Agrawal, A., Gans, J., Goldfarb, A. (2018). Prediction Machines.
9. Iansiti, M., Lakhani, K. R. (2020). Competing in the Age of AI.
10. Altshuller, G. (1999). The Innovation Algorithm: TRIZ, Systematic Innovation and Technical Creativity.
11. Ikovenko, S. (2003). TRIZ: The Theory of Inventive Problem Solving.
12. Graham, P. (2013). Do Things That Don't Scale.
13. McKinsey Global Institute (2023). The State of AI in Business.
14. Stanford University (2024). Artificial Intelligence Index Report.

Annexe - Glossaire des concepts clés

Cette liste reprend, en français, les notions avancées mobilisées dans le cours, en continuité directe avec le glossaire du module Entrepreneuriat et Lean Start-Up 1.

Terme	Définition
MVP (produit minimum viable)	Version la plus simple d'un produit, permettant de tester les hypothèses avec un minimum d'effort.
Market Fit	Concordance entre le produit proposé et les attentes du marché.
Product-Market Fit	Situation dans laquelle le produit répond réellement à un besoin du marché.
TRIZ	Méthodologie scientifique et structurée de résolution de problèmes innovants.
Technological Contradiction (contradiction technique)	Situation où l'amélioration d'une caractéristique d'un produit en dégrade une autre.
Deep Tech Startup	Entreprise fondée sur des sciences et des technologies de pointe.
Data-Driven Decision (décision fondée sur les données)	Décision appuyée sur des données mesurées plutôt que sur l'intuition.
KPIs (indicateurs clés de performance)	Indicateurs essentiels au suivi de la performance d'une startup.
AARRR	Modèle de mesure de la croissance en cinq étapes : acquisition, activation, rétention, revenu, recommandation.
Acquisition	Étape consistant à attirer des utilisateurs vers le produit ou le service.
Activation	Moment où l'utilisateur retire une première valeur réelle du produit.
Retention Rate (taux de rétention)	Proportion d'utilisateurs qui continuent d'utiliser le produit dans le temps.
Churn Rate (taux d'attrition)	Proportion d'utilisateurs qui abandonnent le produit.
Burn Rate	Rythme mensuel de consommation du capital disponible.
Runway	Durée pendant laquelle la startup peut fonctionner avant épuisement de ses fonds.
Kill Criteria (critères d'arrêt)	Conditions justifiant l'arrêt d'un projet jugé non viable.
Learning Metrics (indicateurs d'apprentissage)	Indicateurs centrés sur ce que l'équipe a appris, plutôt que sur le profit.
Pivot	Changement radical ou partiel de la stratégie du projet, décidé sur la base des indicateurs.
Persevere (persévérance)	Décision de poursuivre le projet dans la même direction stratégique.

Terme	Définition
Traction	Preuve tangible et mesurable de croissance sur le marché.
Growth Hacking	Ensemble de stratégies de croissance rapide et peu coûteuses.
Engines of Growth (moteurs de croissance)	Mécanismes de croissance d'une startup : viral, payant ou organique.
Viral Coefficient (coefficient viral)	Mesure du taux auquel les utilisateurs en attirent de nouveaux.
Funnel Growth (entonnoir de croissance)	Représentation du parcours de conversion d'un utilisateur.
Growth Loops (boucles de croissance)	Mécanismes de croissance autoalimentée générant continuellement de nouveaux utilisateurs.
LTV (valeur vie client)	Valeur totale qu'un client est susceptible de générer durant toute sa relation avec l'entreprise.
CAC (coût d'acquisition client)	Coût moyen nécessaire pour obtenir un nouveau client.
Network Effects (effets de réseau)	Phénomène par lequel la valeur d'un produit augmente avec le nombre de ses utilisateurs.
Investment Readiness (maturité pour l'investissement)	Degré de préparation d'un projet à lever des fonds auprès d'investisseurs.

V - Programme détaillé par matière du semestre S3

Semestre :3
Unité d'enseignement : UEF 3.1.1
Matière : Analyses des structures 2
VHS: 67 h30 (Cours: 3h00, TD: 1h30)
Crédits : 6
Coefficient : 3

Objectifs de l'enseignement :

1. Comprendre et faire des analyses détaillées de la structure primaire d'un avion pour tous les types de chargement.
2) Pouvoir appliquer les notions générales de résistance des matériaux à l'analyse de la structure primaire d'un avion.
3) Connaître les techniques d'analyse spécialement développées pour les aéronefs, et savoir y faire référence.

Connaissances préalables recommandées :

Analyse des structures 1, Résistance des matériaux avancé, Statique, Structures aéronautiques, Méthode des éléments finis.

Contenu de la matière :

CHAPITRE 1 : Introduction (1 semaines)

1.1 Rôle et responsabilités de l'analyste en structure
1.2 Principe de l'idéalisation structurelle
1.3 Discrétisation des charges externes
1.4 Approximation des charges internes à l'aide du concept d'index de chargement

CHAPITRE 2 : Stabilité Structurale (2 semaines)

2.1 Types d'instabilité
2.2 Flambement de colonne
2.3 Contrainte de Crippling
2.4 Voilement des tôles
2.5 Flambement Inter-rivet
2.6 Interaction des modes
2.7 Effet de plasticité/cladding

CHAPITRE 3 : Caissons d'aile (3 semaines)

3.1 Introduction sur la structure primaire d'un caisson d'aile
3.2 Flux de cisaillement dans les structures fermées à paroi mince
3.3 Théorie de la poutre
- Contrainte axiale de flexion
- Contrainte de cisaillement dans les âmes et les peaux

3.4 Effet de la flèche sur la structure

CHAPITRE 4 : Panneaux Raidis (4 semaines)

4.1 Idéalisation d'un panneau
4.2 Tension diagonale dans les panneaux raidis

- Panneau de cisaillement stable
- Tension diagonale pure et incomplète
- Calcul des charges et des contraintes induites
- Calcul des charges et contraintes admissibles
- Marge de sécurité

4.3 Ouverture dans un panneau raidi

- Ouverture non renforcée
- Ouverture avec bord tombé
- Ouverture avec renfort large
- Grande ouverture

CHAPITRE 5 : Longerons (2 semaines)

5.1 Charges réagies
5.2 Constitution typique d'un longeron
5.3 Longerons avant, arrières et auxiliaires
5.4 Analyses de stabilité spécifiques aux longerons

CHAPITRE 6 : Nervures (2 semaines)

6.1 Charges réagies
6.2 Constitution typique d'une nervure
6.3 Analyses de stabilité spécifiques aux nervures

CHAPITRE 7 : Chapes et Ferrures (2 semaines)

7.1 Charges présentes dans les chapes et ferrures
7.2 Règlementation spécifique aux chapes et ferrures
7.3 Analyses de chapes typiques en aéronautique
7.4 Analyses de ferrures typiques (fittings, bathtub fittings)

Mode d'évaluation :

- **Contrôle Continu :** ***40%,*** **Examen :** ***60%.***

Références bibliographiques:

1. Aircraft Structures, par David J. Peery, Dover Publications, Inc, 2014.
2. Aircraft Structures for Engineering Students, par T.H.G. Megson, Butterworth-Heinemann, 7th edition, 2021.
3. Analysis and Design of Flight Vehicle Structures, par E.F. Bruhn, Jacobs Publishing Inc, 1973.
4. Airframe Stress and Analysis and Sizing, par M. C. Niu, Adaso/Adastra Engineering Center, 3rd edition, 2011.
5. Airframe Structural Design: Practical Design Information and Data on Aircraft Structures, par Michael Chun-Yung Niu and Mike Niu, Adaso/Adastra Engineering Center, 2nd edition, 2011.
6. Mechanics of Aircraft Structures, par C. T. Sun and Ashfaq Adnan, Wiley, 3rd edition, 2021.

Semestre :3
Unité d'enseignement : UEF 3.1.1
Matière : Aéroélasticité
VHS: 45 h00 (Cours: 1h30, TD: 1h30)
Crédits : 6
Coefficient : 3

Objectifs de l'enseignement:

- Découvrir l'importance de l'aéroélasticité dans l'analyse et la conception des véhicules aérospatiaux.
- Comprendre les phénomènes de stabilité et de réponse aéroélastiques statiques et dynamiques.
- Etablir les équations gouvernant l'aéroélasticité à l'aide de méthodes énergétiques.
- Appliquer les équations de l'aéroélasticité pour résoudre les problèmes de stabilité aéroélastique et de réponse aux chargements.
- Créer une interface entre le domaine aérodynamique et structurel incluant un problème aéroélastique.

Connaissances préalables recommandées:

Les connaissances requises pour pouvoir suivre cet enseignement sont les cours suivants : Aérodynamique, Dynamique des structures, RDM, Structures aéronautiques.

Contenu de la matière:

Chapitre 1 : Introduction (02 semaines)

1.1 Triangle aéroélastique
1.2 Phénomènes aéroélastiques : Classification des problèmes d'interaction fluide-structure
- Aéroélasticité statique : divergence, répartition des charges, efficacité du contrôle, …
- Aéroélasticité dynamique : flottement, tremblement, réponse dynamique
- Effets aéroélastiques sur la stabilité statique et dynamique des aéronefs

1.3 Principaux paramètres aéroélastiques :
- Fréquence réduite, nombre de Strouhal
- Rapport de masse
- Nombre de Reynolds de vibration
- Nombre de Scruton

1.4 Aéroservoélasticité
1.5 Notion d'opérateurs aéroélastiques

Chapitre 2 : Aéroélasticité Statique des ailes (04 semaines)

2.1 Configuration en torsion
2.2 Configuration torsion + aileron
- Divergence
- Perte d'efficacité des gouvernes
- Vitesse critique d'inversion
- Critère d'efficacité

2.3 Divergence des ailes
- Modèles simplifiés de surface portante
- Ailes droites
- Effet de flèche

Chapitre 3 : Dynamique des structures (Rappel) (02 semaines)

3.1 Équation du mouvement de Lagrange
3.2 Équation de mouvement de tangage-pilonnement (Pitching-plunging) d'un modèle de section d'aile typique

Chapitre 4 : Prédiction du flottement **(04 semaines)**

4.1 Les fondamentaux de l'analyse du flottement
- Flottement de décrochage
- Analyse aéroélastique d'une section de profil type (tangage et pilonnement)
- Les équations du mouvement
- Méthode *p* en écoulement stationnaire
- Méthode de Theodorsen
- Analyse de flottement classique

4.2 Solutions d'ingénierie pour l'analyse de flottement
- Méthode k
- Méthode p-k

4.3 Influence des paramètres aéroélastiques

4.4 Formulation générale de l'équation de flottement pour une surface portante 3D en coordonnées modales - méthode de Ritz

Chapitre 5 : Réponse dynamique - Aérodynamique instationnaire des profils (04 semaines)

5.1 Opérateur incompressible en oscillations harmoniques
- Ecoulement incompressible
- Ecoulement supersonique

5.2 Sources de forces appliquées rapidement (opérateur pour les rafales aérodynamiques)
- Portance due à une rafale tranchante - Problème de Kussner
- Accumulation de portance due à un changement d'incidence - Problème de Wagner
- Portance due à une rafale sinusoïdale - Problème de Sears
- Rafales continues

5.3 Mouvements et rafales arbitraires
- Fonctions indicielles
- Intégrales de Duhamel

Mode d'évaluation :

Contrôle Continu : ***40%,*** **Examen :** ***60%.***

Références bibliographiques:

1. A Modern Course in Aeroelasticity: Fifth Revised and Enlarged Edition, Earl H. Dowell, Springer, 5th edition, 2014.
2. Introduction to Aircraft Aeroelasticity and Loads, Jan R. Wright, Jonathan Edward Cooper, Wiley, 2nd edition, 2014.
3. Introduction to Structural Dynamics and Aeroelasticity, D. H. Hodges and G.A. Pierce, Cambridge University Press, 2nd edition, 2011.
4. Aeroelasticity, R. L. Bisplinghoff, H. Ashley, and R. L. Halfman, Dover Edition, 1996.
5. An Introduction to Theory of Aeroelasticity, Y. C. Fung, Dover Publications, Illustrated .edition, 2008
6. Aeroelasticity: -a one semester course, by Prof Terry A. Weisshaar, Independently published, 2022.
7. Introduction to the Study of Aircraft Vibration and Flutter, R. H., Scanlan, R. Rosembaum, The Macmillan Co., New York, NY, 1951.
8. Aeroelastic analysis user's guide, MSC Software Corporation.
9. MSC Flight loads and Dynamics user' guide, MSC Software Corporation.

Semestre :3
Unité d'enseignement : UEF 3.1.2
Matière : Contrôle et dynamique de vol
VHS: 45h00 (Cours: 1h30, TD: 1h30)
Crédits : 4
Coefficient : 2

Objectifs de l'enseignement:

Cet enseignement participe à l'acquisition de connaissances essentielles aux étudiants de master aéronautique. Les étudiants obtiendront les bases solides nécessaires d'une part sur les caractéristiques de performance, de stabilité et de contrôle d'un avion et d'autre part ses différentes phases de vol tout au long de la mission spécifique de l'appareil durant le décollage, la montée, la croisière, la décente et l'atterrissage.

Connaissances préalables recommandées :

Les notions de base de la mécanique du vol et de l'aérodynamique.

Contenu de la matière :

Chapitre 1: Introduction et généralités sur la mécanique du vol

- Définition des forces aérodynamiques en utilisant la seconde loi de newton (rappels)
- Définition des forces propulsives et massiques (rappels)
- Rappels des différents axes de roulis, de tangage et de lacet
- Développement des expressions mathématiques pour les forces, les moments aérodynamiques, la portance, la traînée et la poussée sur tout l'avion à l'état d'équilibre ainsi que les équations de cinématique.
- Les différentes rotations consécutives de l'avion rigide en vol et les différents repères.
- Rappels des différents moments appliqués sur l'avion en vol
- Vols à l'état d'équilibre et à l'état perturbé
- Exercices d'application **(3 semaines)**

Chapitre 2: Les différentes phases du vol et leurs équations

- Vol à l'état rectiligne en palier
- Vol en montée rectiligne uniforme
- Vol en décente rectiligne uniforme
- Vol plané
- Le virage symétrique en palier
- Facteur de charge
- Le décollage et l'atterrissage
- Exercices d'application **(3 semaines)**

Chapitre 3: Contrôle de la trajectoire

- Contrôle de roulis
- Lacet inverse
- Contrôle de tangage
- Contrôle de lacet et roulis induit **(3 semaines)**

Chapitre 4: polaire de l'avion et les différents dispositifs hypersustentateurs

- Définition de la polaire d'une aile ou d'un avion
- Polaire type eiffel
- Polaire des vitesses
- La finesse de l'aile d'avion
- Les dispositifs hyper et hypo sustentateurs
- Etude du décrochage (stall)
- Exercices d'application **(3 semaines)**

Chapitre 5 : la stabilité statique d'un avion

- **Stabilité statique longitudinale**
- Centrage de l'avion (position du centre de gravité par rapport au foyer)
- Mouvement autour de l'axe de tangage
- **Stabilité statique transversale**
- Rotations autour des axes de roulis et de lacet
- Effets dièdre
- Effets de la flèche
- Effet de la dérive **(3 semaines)**

Mode d'évaluation :

Contrôle Continu : ***40%,*** **Examen :** ***60%.***

Références bibliographiques:

1. *McCormick. B. W., Aerodynamics, aeronautics and flight mechanics, 2nd ed., Wiley, New York, 1995.*
2. *J.L. Boiffier. The Dynamics of flight : The equations. Wiley, 1998.*
3. *John Anderson. Introduction to flight. McGraw-Hill, 1978, 1985, 1989*
4. *Roskam, J.: Methods for estimating stability and control derivatives of conventional subsonic airplanes Lawrence, Kansas, 66044, 1971.*
5. *Aérodynamique et mécanique du vol.BIA. 2016.*
6. *« Manuel du pilote d'avion – vol à vue », SFACT Editions CEPADUES*

.

Semestre :3
Unité d'enseignement : UEF 3.2.1
Matière : Mécanique de la rupture et de fatigue
VHS: 45h30 (Cours: 1h30, TD: 1h30)
Crédits : 4
Coefficient : 2

Objectifs de l'enseignement:

Objectifs de l'enseignement:

Ce cours est constitué de deux parties, la première partie concerne « la mécanique de la rupture » qui permet de prévoir, en fonction des dimensions d'une fissure et de l'état de chargement, la vitesse de propagation de la fissure et la dimension à partir de laquelle cette fissure peut entraîner une rupture brutale. La deuxième partie concerne « la fatigue des matériaux » elle permet de comprendre pourquoi le phénomène de fatigue peut limiter la durée de vie des pièces mécaniques et des structures et savoir maîtriser ce risque. L'objectif du cours est de:

- Connaitre les principes de base de la mécanique de la rupture
- Connaitre notamment le champ de contraintes, la taille de la fissure et la résistance à la fissuration du matériau.
- Compréhension des phénomènes physiques à la base des endommagements et de la rupture par fatigue.
- Identifier les facteurs influant sur la résistance à la fatigue
- Évaluer la tenue à la fatigue des pièces mécaniques sous chargement simple.

Connaissances préalables recommandées:

Mécanique des Milieux Continus, dynamique des structures, RDM.

Contenu de la matière:

Partie 1 : Mécanique de la rupture :

Chapitre 1 : Généralités et principes de base de la mécanique de la rupture **(1 semaines)**
1.1 Aperçu historique
1.2 Utilisation de la mécanique de la rupture en conception
1.3 Mécanismes de ruptures et de propagation des fissures :
- Facies de rupture et analyse microscopique de la rupture fragile, rupture ductile et rupture par fatigue.

Chapitre 2 : Mécanique linéaire de la rupture (MLR) **(3 semaines)**
2.1 Concentration des contraintes au voisinage des défauts
2.2 Critère énergétique
2.3 Concept d'intensité des contraintes
2.4 Champs de contraintes et de déplacements au voisinage du fond de fissure dans le cas des trois modes de ruptures.
2.5. Calcul et mesure du facteur d'intensité de contrainte

Chapitre 3 : Mécanique non-linéaire de la rupture (MNLR) **(2 semaine)**
3.1. Introduction à la mécanique non linéaire de rupture (MNLR)
3.2. Evaluation de la zone plastique par les modèles d'Irwin et de Dugdale
3.3. Critère de rupture basé sur l'ouverture de fissure

Partie 2 : Fatigue des matériaux :

Chapitre 1 : Généralités et principes de base la rupture par fatigue : **(1 semaine)**
- 1.1 Historique et définition du phénomène de fatigue
- 1.2 Mécanisme de fissuration en fatigue : Aspects macroscopiques et microscopiques du phénomène de fatigue.
- 1.3 Essais de fatigues

Chapitre 2 : Approximation de la courbe de Wöhler **(2 semaine)**
- 2.1 Approximation graphique
- 2.2 Approximation analytique
- 2.3 Valeurs approximatives de la limite d'endurance
- 2.4 Facteurs affectant la limite d'endurance

Chapitre 3 : Contrainte non complètement renversée **(2 semaine)**
- 3.1 Diagramme de Goodman modifié
- 3.2 Diagramme de fatigue relatif à un matériau ductile en torsion pure

Chapitre 4 : Cumul du dommage **(1 semaine)**
- 4.1 Loi de Miner
- 4.2 Méthode Manson modifiée

Chapitre 5 : Loi de propagation de fissures de fatigue **(2 semaine)**
- 5.1 Lois de Paris
- 5.2 Loi de Walker
- 5.3 Loi de Forman
- 5.4 Loi NASGRO

Mode d'évaluation :

Contrôle Continu : ***40%,*** **Examen :** ***60%.***

Références bibliographiques:

1- RECHO Naman, "Mécanique de la rupture par fissuration - Aspects théorique, conceptuel et numérique", Editeur : Lavoisier, 2012.
2- Guy Pluvinage, "120 exercices de mécanique élastoplastique de la rupture", Editions Cépaduès, 1995.
3- Alain Cardou, "Plasticité, fatigue et rupture des matériaux métalliques : modèles mécaniques", Editeur : Loze-Dion éditeur, 2006.
4- Dominique François, André Pineau, André Zaoui, "Viscoplasticité, endommagement, mécanique de la rupture et mécanique du contact", Hermes – Lavoisier, 2009.
5- Claude Bouhelier, "Mécanique de la rupture seuil de propagation, propagation des fissures par fatigue", Éditeur : CETIM – Centre Technique des Industries Mécaniques, 1989.
6- RECHO Naman, "Mécanique de propagation et de bifurcation des fissures", Hermes Science publications / Lavoisier, 2012.
7- Clément Lemaignan, "La rupture des matériaux", Editeur : Edp Sciences, 2003.
8- Dominique François, "Endommagement et rupture de matériaux", Editeur : Edp Sciences, 2004.
9- HENAFF Gilbert, MOREL Franck, "Fatigue des structures. Endurance, critères de dimensionnement, propagation des fissures, rupture", Coll. Technosup, Matériaux, structures, 2005.

Semestre :3
Unité d'enseignement : UEM 3.1
Matière : TP Analyse des structures 2
VHS: 22h30 (TP: 1h30)
Crédits : 2
Coefficient : 1

Semestre :3
Unité d'enseignement : UEM 3.2
Matière : TP Aéroélasticité
VHS: 22h30 (TP: 1h30)
Crédits : 2
Coefficient : 1

Objectifs de l'enseignement:

Etudier les phénomènes d'aéroélasticité et la compréhension de l'interaction l'écoulement et le mouvement de la structure grâce à des essais expérimentaux et des simulations numériques.

Connaissances préalables recommandées:

Cours Aéroélasticité, Mécanique des fluide, Aérodynamique numérique, Code de calcul Ansys.

Contenu de la matière:

Utiliser un Profil d'aile NACA avec des prises de pression pour utilisation avec une soufflerie subsonique pédagogique. Le banc permet de réaliser les travaux pratiques suivants:

TP1: Détermination de la répartition de pression autour du profil afin d'en déduire la portance.
TP2: Détermination de la distribution de pression en aval du profil d'ail afin de déterminer la force de traînée appliquée au profil
TP3: l'influence de la variation de l'angle d'incidence sur la répartition de la pression et étude des conditions critiques de décrochage.
TP4: Etudier la stabilité aéroélastique de flottement d'une section typique de l'aile d'avion de type NACA ont calculant la vitesse critique du flottement par une simulation numérique à l'aide du code du calcul ANSYS CFX ensuite les résultats sont validés par des essais d'une tranche d'aile sur une soufflerie subsonique.

Dans le cas où les capacités nécessaires pour effectuer un essai particulier ne sont pas disponibles, il est nécessaire de recourir à la simulation numérique ont utilisant un outil informatique approprié (Ansys ou autre).

Mode d'évaluation:

Contrôle continu 100%.

Références bibliographiques:

1- FRANÇOIS Dominique, Essais mécaniques et lois de comportement, Traité MIM, série Alliages métalliques,Lavoisier, 2001.
2- Raymond L. Bisplinghoff (Author), Holt Ashley Aeroelasticity (Dover Books on Aeronautical Engineering) Kindle Edition,1996.
3- MOLIMARD Jérôme, Mécanique expérimentale des solides et des structures, Coll. Génie mécanique et mécanique des solides,ISTE, 2016.
4- Renée Veysseyre, Statistique et probabilités pour l'ingénieur,Aide-mémoire,Eyrolles, 2001.
5- H. ZERROUKI (a), D. BOUTCHICHA , Etude de la stabilité aeroélastique de profil d'aile de type Naca 4412 a l'echelle reduite, 23ème Congrès Français de Mécanique, Lille, 28 Août au 1er Septembre 2017.

Semestre :3
Unité d'enseignement : UEM 3.3
Matière : TP Fatigue
VHS: 22h00 (TP: 1h30)
Crédits : 2
Coefficient : 1

Objectifs de l'enseignement:

Évaluation de la ténacité à la rupture K_{IC} d'un matériau, étudier le comportement sous sollicitation cyclique d'un matériau et à en déterminer sa résistance. Examen visuel des différents types de rupture.

Connaissances préalables recommandées:

Cours mécanique de la rupture et fatigue, TP RDM

Contenu de la matière:

- **Essais de résilience (Charpy)**: Cet essai permet de mesurer la quantité d'énergie nécessaire à la rupture d'un matériau en présence d'une entaille dite en U ou en V pour définir la résilience K_V ou K_U. Ensuite calculer la ténacité K_{IC} à partir de la relation de Rolfe et de Barsom.
- **Essai de ténacité à la rupture** : Effectué sur éprouvettes CT pour la détermination de la ténacité du matériau K_{1C}.
- **Essais de fatigue** : Pour déterminer le nombre de cycles que peut supporter une éprouvette sous sollicitation répétée ou alternée et le tracé de la courbe de Wöhler.
- **Examen des facies de rupture** : Analyse à l'œil nu et microscopique de la rupture fragile, rupture ductile et rupture par fatigue.

Dans le cas où les capacités nécessaires pour effectuer un essai particulier ne sont pas disponibles, il est nécessaire de recourir à la simulation numérique ont utilisant un outil informatique approprié.

Mode d'évaluation:

Contrôle continu 100%.

Références bibliographiques:

6- FRANÇOIS Dominique, Essais mécaniques et lois de comportement, Traité MIM, série Alliages métalliques, Lavoisier, 2001.
7- MOLIMARD Jérôme, Mécanique expérimentale des solides et des structures, Coll. Génie mécanique et mécanique des solides, ISTE, 2016.
8- Renée Veysseyre, Statistique et probabilités pour l'ingénieur, Aide-mémoire, Eyrolles, 2001.
9- RECHO Naman, "Mécanique de la rupture par fissuration - Aspects théorique, conceptuel et numérique", Editeur : Lavoisier, 2012.
10- Alain Cardou, "Plasticité, fatigue et rupture des matériaux métalliques : modèles mécaniques", Editeur : Loze-Dion éditeur, 2006.
11- Claude Bouhelier, "Mécanique de la rupture seuil de propagation, propagation des fissures par fatigue", Éditeur : CETIM – Centre Technique des Industries Mécaniques, 1989.
12- Stanley Theodore Rolfe, John M. Barsom , Fracture and Fatigue Control in Structures: Applications of Fracture Mechanics, 1986.

Semestre :3
Unité d'enseignement : UEM 3.4
Matière : Optimisation
VHS: 37h30 (Cours: 1h30, TP: 1h00)
Crédits : 3
Coefficient : 2

Objectifs de l'enseignement:

Se familiariser avec les modèles de recherche opérationnelle. Apprendre à formuler et à résoudre les problèmes d'optimisation et maitriser les techniques et les algorithmes appropriés.

Connaissances préalables recommandées :

Notions de bases de mathématiques, Algèbre linéaire, Algèbre matricielle.

Contenu de la matière :

Chapitre I : Rappels mathématique **(2 semaines)**

1. Positivité, Convexité, Minimum
2. Gradient et Hessien
3. Conditions nécessaires pour un minimum
4. Conditions suffisantes pour un minimum

Chapitre II : Optimisation linéaire **(3 semaines)**

1. Formulation générale d'un programme linéaire
2. Exemples de programmes linéaires (Problème de production, Problème de Mélange, Problème de découpage, Problème de transport)
3. Résolution du problème par la méthode Simplexe :
   - Bases et solutions de base des programmes linéaires
   - L'algorithme du simplexe
   - Initialisationde l'algorithme du simplexe (la méthode à deux phases).

Chapitre III : Optimisation non- linéaire sans contraintes **(5 semaines)**

4. Méthodes locales
5. Méthodes de recherche unidimensionnelle
6. Méthodes du gradient
7. Méthodes des directions conjuguées
8. Méthode de Newton
9. Méthodes quasi-Newton

Chapitre IV : Optimisation non-linéaires avec contraintes **(5 semaines)**

10. Multiplicateurs de Lagrange
11. Conditions de Karush-Kuhn-Tucker
12. Méthode du gradient projeté
13. Méthode de Newton projetée (pour des contraintes de borne)
14. Méthode des pénalités
15. Programmation quadratique séquentielle

Organisation des TP :

il est préférable que les TP soient des applications directes dans la spatialité :

TP 1 : Introduction à Matlab et présentation des fonctions références d'optimisation ; Présentation de l'outil d'optimisation optimtool dans matlab ; Définition et traçage des courbes de quelques fonctions test en optimisation
TP 2 : Résolution d'un problème d'optimisation linéaire sans contraintes ; Résolution d'un problème d'optimisation linéaire avec contraintes
TP 3 : Minimisation non linéaire sans contraintes ; Minimisation non linéaire sans contraintes avec gradient, Hessien et autres
TP 4 : Minimisation non linéaire avec contraintes d'égalité ; Minimisation non linéaire avec contraintes d'inégalité ; Minimisation avec contraintes d'égalité et d'inégalité, Programmation quadratique séquentielle
TP 5 : Utilisation de l'outil optimtool ou autre pour la résolution d'un problème d'optimisation non linéaire avec contraintes

Mode d'évaluation:

Contrôle Continu : 40%, Examen : 60%.

Références bibliographiques:

1. *E. Aarts& J. Korst, Simulated annealing and Boltzmann machines : A stochastic approach to combinatorial optimization and neural computing. John Wiley & Sons, New-York, 1997.*
2. *D. Bertsekas, Nonlinear programming. Athena Scientific, Belmont, MA, 1999.*
3. *M. Bierlaire, Introduction à l'optimisation différentiable. Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, 2006.*
4. *F. Bonnans, Optimisation continue : cours et problèmes corrigés. Dunod, Paris, 2006.*
5. *F. Bonnans, J. C. Gilbert, C. Lemaréchal et C. Sagastizàbal, Optimisation numérique : aspects théoriques et pratiques. Springer, Berlin, 1997.*
6. *P. G. Ciarlet, Introduction à l'analyse numérique matricielle et à l'optimisation. Masson, Paris, 1994.*
7. *E. Chong et S. Zak, An introduction to optimisation. John Wiley & Sons, New-York, 1995.*
8. *Y. Colette et P. Siarry, Optimisation multiobjectif. Eyrolles, Paris, 2002.*
9. *J. C. Culioli, Introduction à l'optimisation. Ellipses, Paris, 1994.*
10. *J. Dennis & R. Schnabel, Numerical methods for unconstrained optimization and nonlinear equations. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1983.*
11. *R. Fletcher, Practical methods of optimization. John Wiley & Sons, New-York, 1987.*
12. *P. Gill, W. Murray, & M. Wright, Practical optimization. Academic Press, New-York, 1987.*

Semestre :3
Unité d'enseignement : UET 3.1
Matière : Recherche documentaire et conception de mémoire
VHS: 15h00 (Cours: 1h00)
Crédits : 1
Coefficient : 1

Objectifs de l'enseignement :
Donner à l'étudiant les outils nécessaires afin de rechercher l'information utile pour mieux l'exploiter dans son projet de fin d'études. L'aider à franchir les différentes étapes menant à la rédaction d'un document scientifique. Lui signifier l'importance de la communication et lui apprendre à présenter de manière rigoureuse et pédagogique le travail effectué.

Connaissances préalables recommandées :
Méthodologie de la rédaction, Méthodologie de la présentation.

Contenu de la matière:

Partie I- : Recherche documentaire :

Chapitre I-1 : Définition du sujet (02 Semaines)
- Intitulé du sujet
- Liste des mots clés concernant le sujet
- Rassembler l'information de base (acquisition du vocabulaire spécialisé, signification des termes, définition linguistique)
- Les informations recherchées
- Faire le point sur ses connaissances dans le domaine

Chapitre I-2 : Sélectionner les sources d'information (02 Semaines)
- Type de documents (Livres, Thèses, Mémoires, Articles de périodiques, Actes de colloques, Documents audiovisuels…)
- Type de ressources (Bibliothèques, Internet…)
- Evaluer la qualité et la pertinence des sources d'information

Chapitre I-3 : Localiser les documents (01 Semaine)
- Les techniques de recherche
- Les opérateurs de recherche

Chapitre I-4 : Traiter l'information (02 Semaines)
- Organisation du travail
- Les questions de départ
- Synthèse des documents retenus
- Liens entre différentes parties
- Plan final de la recherche documentaire

Chapitre I-5 : Présentation de la bibliographie (01 Semaine)
- Les systèmes de présentation d'une bibliographie (Le système Harvard, Le système Vancouver, Le système mixte…)
- Présentation des documents.
- Citation des sources

Partie II : Conception de mémoire

Chapitre II-1 : Plan et étapes du mémoire (02 Semaines)

- Cerner et délimiter le sujet (Résumé)
- Problématique et objectifs du mémoire
- Les autres sections utiles (Les remerciements, La table des abréviations…)
- L'introduction (*La rédaction de l'introduction en dernier lieu)*
- État de la littérature spécialisée
- Formulation des hypothèses
- Méthodologie
- Résultats
- Discussion
- Recommandations
- Conclusion et perspectives
- La table des matières
- La bibliographie
- Les annexes

Chapitre II- 2 : Techniques et normes de rédaction (02 Semaines)

- La mise en forme. Numérotation des chapitres, des figures et des tableaux.
- La page de garde
- La typographie et la ponctuation
- La rédaction. La langue scientifique : style, grammaire, syntaxe.
- L'orthographe. Amélioration de la compétence linguistique générale sur le plan de la compréhension et de l'expression.
- Sauvegarder, sécuriser, archiver ses données.

Chapitre II-3 : Atelier : Etude critique d'un manuscrit **(01 Semaine)**

Chapitre II-4 : Exposés oraux et soutenances (01 Semaine)

- Comment présenter un Poster
- Comment présenter une communication orale.
- Soutenance d'un mémoire

Chapitre II-5 : Comment éviter le plagiat ? **(01 Semaine)**

(Formules, phrases, illustrations, graphiques, données, statistiques,...)

- La citation
- La paraphrase
- Indiquer la référence bibliographique complète

<u>Mode d'évaluation :</u>

Examen : 100%

<u>Références bibliographiques :</u>

1. *M. Griselin et al., Guide de la communication écrite, 2e édition, Dunod, 1999.*
2. *J.L. Lebrun, Guide pratique de rédaction scientifique : comment écrire pour le lecteur scientifique international, Les Ulis, EDP Sciences, 2007.*
3. *A. Mallender Tanner, ABC de la rédaction technique : modes d'emploi, notices d'utilisation, aides en ligne, Dunod, 2002.*
4. *M. Greuter, Bien rédiger son mémoire ou son rapport de stage, L'Etudiant, 2007.*
5. *M. Boeglin, lire et rédiger à la fac. Du chaos des idées au texte structuré. L'Etudiant, 2005.*
6. *M. Beaud, l'art de la thèse, Editions Casbah, 1999.*
7. *M. Beaud, l'art de la thèse, La découverte, 2003.*

M. Kalika, Le mémoire de Master, Dunod, 2005

Semestre: 3
Unité d'enseignement : UET 2.1
Matière 1 : Reverse engineering
VHS : 45h00 (Cours : 1h30 et Atelier : 1h30)
Crédits: 2
Coefficient: 2

Objectifs de l'enseignement :

- Comprendre les principes et les objectifs du Reverse Engineering (RE) dans le domaine des sciences et de technologie (ST),
- S'initier aux outils et aux méthodes du RE dans la spécialité concernée.
- Appréhender la valeur et l'éthique des principes du RE dans le design, la fabrication et l'assurance qualité de produits,
- Encourager la pensée critique, la curiosité technique, l'ingénierie inverse raisonnée et l'innovation,
- Apprendre à analyser, documenter et modéliser un système existant sans documentation initiale.

Compétences visées

- Décomposer et analyser un système existant,
- Reproduire fidèlement un schéma technique ou un modèle 3D à partir d'un produit existant,
- Appliquer des outils de diagnostic et de simulation,
- Travailler en groupe sur un projet exploratoire,
- Identifier les limites juridiques de la rétroconception

A**daptabilité aux spécialités du domaine Sciences et Technologie : é**

- Toutes les spécialités du domaine ST sont concernées suivant
- Exemples de taches : Documentation technique numérique, résultats de veille technologique, Gestion de projets techniques, Collaboration autour de plans, Analyses de rapports, Compréhension de procédés industriels, Suivi de données de production, Techniques de reporting, Prototypage, Essais)

Prérequis :

- Connaissances fondamentales dans la spécialité.

Contenu de la matière :

1. Introduction à la Réverse Engineering

- Historique, enjeux légaux et éthiques du RE,
- Définitions et champs d'application : Approches (matériels, logiciels, procédés…)
- Domaines : maintenance, re-fabrication, cybersécurité, veille concurrentielle

2. Méthodologie générale

- Analyse d'un système "boîte noire" (black box)
- Décomposition fonctionnelle
- Diagrammes de blocs, entrées/sorties, flux d'énergie ou d'information

3. Reverse engineering matériel

- Cartes électroniques : inspection visuelle, repérage de composants
- Utilisation d'outils : multimètre, oscilloscope, analyseur logique
- Reconnaissance de schémas électroniques
- Reconstitution de schémas sous KiCad / Proteus

4. Reverse engineering logiciel

- Analyse statique de binaires (ex : .exe, .hex)
- Décompilation, désassemblage (introduction à Ghidra, IDA Free, ou Hopper)
- Observation de comportements : sniffing, monitoring (ex : Wireshark)
- Cas des microcontrôleurs : lecture mémoire flash, extraction firmware

5. Reverse engineering mécanique

- Numérisation 3D : scanner, mesures manuelles
- Reproduction de modèles CAO à partir de pièces existantes
- Logiciels utilisés : SolidWorks, Fusion360

6. Sécurité et détection d'intrusion

- Reverse engineering dans la cybersécurité : détection de malware, vulnérabilités
- Signature de logiciels, protections contre le RE (obfuscation, chiffrement)

7. Cas d'études réels

- Analyse d'un produit obsolète ou inconnu (souris, alimentation, module Bluetooth, etc.)
- Exemple de rétroconception de pièce mécanique ou système simple (ventilateur, boîtier)

Exemples de TP (base les 4 Génies)

- **Génie Electrique :**
  - Rétro-ingénierie d'un module électronique sans schéma
  - Exemple : module Bluetooth, relais temporisé
  - Objectifs : identifier le fonctionnement, dessiner le schéma, proposer une variante améliorée.
  - Identification de composants (IC, transistors, résistances, etc.).
  - Utilisation d'outils : multimètre, oscilloscope, analyseur logique.
  - Lecture et extraction de firmware depuis un microcontrôleur.

- Introduction à la détection de contrefaçons électroniques.

- **Génie Mécanique :**
  - Rétro-ingénierie d'un mécanisme simple
  - Exemples : pompe manuelle, clé dynamométrique, mini-presse..
  - Démontage mécanique d'un système (pompe, engrenage, vérin…).
  - Mesures et reconstruction de plans ou modèles 3D avec logiciel CAO (SolidWorks, Fusion360).
  - Identification de matériaux et modes de fabrication.
  - Simulation fonctionnelle à partir du modèle recréé.

- **Génie Civil :**
  - Analyse d'ouvrages existants sans plans (murs, dalles, structures…).
  - Exemples : escalier métallique, appui de fenêtre, coffrage)
  - Étude et rétroconception d'un élément de structure existant
  - Identification des matériaux, des assemblages et des contraintes.
  - Modélisation de l'ouvrage via Revit, AutoCAD ou SketchUp.
  - Étude de réhabilitation ou reproduction d'éléments structurels anciens.

- **Génie des Procédés :**
  - Rétroconception d'un module de laboratoire
  - Exemples : instruments, distillation, filtration, échangeur, réacteur simples…
  - Analyse de systèmes industriels existants (colonne de distillation, échangeur, réacteur…).
  - Reconstitution des schémas PFD et PID à partir de l'observation d'une installation.
  - Identification des capteurs, actionneurs, organes de commande.
  - Étude de flux de matière/énergie dans un procédé.

Mode d'évaluation :

Examen : 60% , CC: 40%

Références bibliographiques :

- Reverse Engineering for Beginners – Dennis Yurichev (gratuit en ligne)
- The IDA Pro Book – Chris Eagle (logiciels)
- Practical Reverse Engineering – Bruce Dang
- Documentation :
  - https://ghidra-sre.org

- https://www.kicad.org
- https://www.autodesk.com/products/fusion-360

IV- Accords / Conventions

LETTRE D'INTENTION TYPE

(En cas de licence coparrainée par un autre établissement universitaire)

(Papier officiel à l'entête de l'établissement universitaire concerné)

Objet : Approbation du coparrainage de la licence intitulée :

Par la présente, l'université (ou le centre universitaire) déclare coparrainer la licence ci-dessus mentionnée durant toute la période d'habilitation de la licence.

A cet effet, l'université (ou le centre universitaire) assistera ce projet en :

- Donnant son point de vue dans l'élaboration et à la mise à jour des programmes d'enseignement,
- Participant à des séminaires organisés à cet effet,
- En participant aux jurys de soutenance,
- En œuvrant à la mutualisation des moyens humains et matériels.

SIGNATURE de la personne légalement autorisée :

FONCTION :

Date :

LETTRE D'INTENTION TYPE

(En cas de licence en collaboration avec une entreprise du secteur utilisateur)

(Papier officiel à l'entête de l'entreprise)

OBJET : Approbation du projet de lancement d'une formation de Licence intitulée :

Dispensée à :

Par la présente, l'entreprise déclare sa volonté de manifester son accompagnement à cette formation en qualité d'utilisateur potentiel du produit.

A cet effet, nous confirmons notre adhésion à ce projet et notre rôle consistera à :

- Donner notre point de vue dans l'élaboration et à la mise à jour des programmes d'enseignement,
- Participer à des séminaires organisés à cet effet,
- Participer aux jurys de soutenance,
- Faciliter autant que possible l'accueil de stagiaires soit dans le cadre de mémoires de fin d'études, soit dans le cadre de projets tuteurés.

Les moyens nécessaires à l'exécution des tâches qui nous incombent pour la réalisation de ces objectifs seront mis en œuvre sur le plan matériel et humain.

Monsieur (ou Madame)*……..est désigné(e) comme coordonateur externe de ce projet.

SIGNATURE de la personne légalement autorisée :

FONCTION :

Date :

CACHET OFFICIEL ou SCEAU DE L'ENTREPRISE

V - Avis et Visas des organes Administratifs et Consultatifs

Intitulé de la Licence : Génie climatique

Chef de département + Responsable de l'équipe de domaine
Date et visa: Date et visa:
Doyen de la faculté (ou Directeur d'institut)
Date et visa :
Chef d'établissement universitaire
Date et visa:

VI – Avis et Visa de la Conférence Régionale

VII – Avis et Visa du Comité pédagogique National de Domaine