

PRÉSENTATION DU COURS

SITUATION DU COURS DANS LE PROGRAMME

Ce cours s'adresse aux élèves de 3^{ième} session du programme d'entretien.

Les connaissances de base acquises dans ce cours sont indispensables pour tout élève qui travaillera dans (ou cotoiera) le milieu de l'hélicoptère.

Il est **FORTEMENT RECOMMANDÉ** que ce cours soit suivi avant de s'inscrire aux cours de stage des 5^{ième} et 6^{ième} sessions.

OBJECTIFS GÉNÉRAUX

Expliquer les phénomènes mécaniques et aérodynamiques observés sur l'hélicoptère dans différentes configurations de vol. **(40%)**

Expliquer les phénomènes mécaniques et aérodynamiques limitant le vol de l'hélicoptère. **(8%)**

Expliquer les phénomènes mécaniques causant des problèmes particuliers à l'hélicoptère. **(8%)**

Identifier les origines de l'hélicoptère et décrire le milieu de ce dernier. **(4%)**

Expliquer les principes mécaniques particuliers à la conception de l'hélicoptère. **(40%)**

Conformément à la PIÉA, il sera tenu compte de la Politique de valorisation de la langue française.

THÉORIE

INTRODUCTION

Présentation du plan de cours.

Objectif spécifique #1

Expliquer les phénomènes mécaniques et aérodynamiques observés sur un hélicoptère lors d'un point fixe.

CONTENU : - Variation de la vitesse tangentielle ($U = 2\pi RN$) le long d'une pale en rotation.
- Importance de la force centrifuge ($F_c = M\omega^2 R$) exercée sur une pale en rotation.
- Construction d'une pale.
- Résistance de l'air ($R = \frac{1}{2}\rho U^2 SK$) sur une pale en rotation.

Objectif spécifique #2

Expliquer les phénomènes mécaniques et aérodynamiques observés sur un hélicoptère lors d'un vol en stationnaire.

CONTENU : - Variation de la pression différentielle produites par une pale en rotation.
- Effet et solutions de la variation de la force aérodynamique résultante ($F_r = \frac{1}{2}\rho v^2 S C_r$) le long d'une pale (flexion verticale) et sur l'ensemble des pales (conicité, axes, plans, angles...)
- Équilibre des forces et effet de sol lors d'un vol en stationnaire.

Objectif spécifique #3

Expliquer les phénomènes mécaniques et aérodynamiques observés sur un hélicoptère lors d'un déplacement à basse vitesse.

CONTENU : - Changement de l'orientation de la force aérodynamique résultante pour obtenir un déplacement et combattre les parasites.
- Phénomène de la précession gyroscopique.
- Source et solutions du couple de réaction du rotor principal.
- Commandes de vol.

Objectif spécifique #4

Expliquer les phénomènes mécaniques et aérodynamiques observés sur un hélicoptère lors d'un vol en translation.

CONTENU : - Effet et solution à la dissymétrie latérale de la portance.
- Effet du battement des pales (Forces de Coriolis).
- Solutions aux moments de flexion horizontale.
- Types et dispositions des rotors principaux.
- Équilibre des forces en présence.

Objectif spécifique #5

Expliquer les phénomènes mécaniques et aérodynamiques observés sur un hélicoptère lors d'un vol en autorotation.

- CONTENU :
- Définition de l'autorotation.
 - Forces autorotatives et anti-autorotatives.
 - Variation de l'angle d'attaque le long d'une pale en régime d'autorotation.
 - Zones autorotatives et anti-autorotatives.
 - Influence de la vitesse de translation sur la zone autorotative.
 - Contrôle du régime rotor en autorotation.

Objectif spécifique #6

Expliquer les phénomènes mécaniques et aérodynamiques limitant la vitesse de translation et l'altitude de vol des hélicoptères.

- CONTENU :
- Décrochage et compressibilité.
 - Puissances.

Objectif spécifique #7

Expliquer les phénomènes mécaniques causant des problèmes de résonance et de vibrations.

- CONTENU :
- Causes et solutions à la résonance au sol.
 - Variation des sources et de l'intensité des vibrations.
 - Solutions aux problèmes des vibrations.

Objectif spécifique #8

Classifier les moments marquants de l'évolution de l'hélicoptère ainsi que les fabricants et leurs produits. Identifier les diverses missions de l'hélicoptère.

- CONTENU :
- Évolution des hélicoptères à travers l'histoire.
 - Bell, Sikorsky, Hughes, Aérospatiale...
 - Missions civiles, paramilitaires et militaires.

PRATIQUE

MODULE 1 : Nomenclature / sécurité / les roulements

Compétence visée	Contenu	Moyens pédagogiques pour rencontrer la compétence	Évaluation (Seuil de compétence)	Valeur en %
Reconnaître les composants majeurs d'un hélicoptère léger.	<ul style="list-style-type: none"> Principaux composants d'un hélicoptère. 	<ul style="list-style-type: none"> Association de terme et de définitions sous forme de jeux questionnaires en équipe. Les connaissances font appel à un cours antérieur, i.e. "Introduction à l'aéronautique". 	<ul style="list-style-type: none"> L'élève devra reconnaître au moins huit (8) parties sur 10; peu importe les parties demandées. 	
Déterminer les règles de sécurité primordiales autour d'un hélicoptère en situation normale et d'urgence.	<ul style="list-style-type: none"> Règles de sécurité autour d'un hélicoptère en marche au sol. Règles à suivre en cas de "crash" en forêt. Caractéristique d'un E.L.T. 	<ul style="list-style-type: none"> Mise en situation en équipe de 4, les élèves sont des techniciens : <ol style="list-style-type: none"> Quelles sont les règles à suivre autour des hélicos en marche ? Quelles sont les étapes à suivre en cas d'accident en forêt ? Retour en plénière et synthèse des règles. Visualisation et manipulation d'un E.L.T. 	<ul style="list-style-type: none"> L'élève devra identifier toutes les règles de sécurité autour d'un hélicoptère en marche et être en mesure d'expliquer sommairement ce qu'est un E.L.T. 	
Reconnaître le type de roulement utilisé dans certains composants de l'hélicoptère.	<ul style="list-style-type: none"> Roulement : à bille, rouleau, aiguille, conique. 	<ul style="list-style-type: none"> Visualisation et manipulation de divers roulements. Repérage sur l'hélicoptère 	<ul style="list-style-type: none"> L'élève devra reconnaître et nommer les quatre (4) types de roulement. 	
Expliquer le fonctionnement de certains montages de roulement retrouvés sur un hélicoptère.	<ul style="list-style-type: none"> Montage dos à dos, face à face et dos, face ou face, dos. Roulement à : à bille, rouleau, conique. Dos, face, cage interne, cage externe. 	<ul style="list-style-type: none"> Démonstration sur acétate. Visualisation et manipulation de divers roulements. Exercice de repérage. Acétate. Visualisation sur des pièces en coupe. Exercice visant à nommer les parties, avec des roulements. 	<ul style="list-style-type: none"> L'élève devra reconnaître un montage en particulier (ex : dos à dos) et il devra être en mesure d'expliquer les forces impliquées dans ce montage. 	

MODULE 2 : Ensemble rotor principal

Compétence visée	Contenu	Moyens pédagogiques pour rencontrer la compétence	Évaluation (Seuil de compétence)	Valeur en %
Expliquer la fonction des éléments constituant une pale d'hélicoptère typique.	<ul style="list-style-type: none"> • Pale <ul style="list-style-type: none"> - bois - aluminium - composite • Matériaux constituant chaque type de pale ci-haut mentionnée. • Poids de balancement du sens "corde" et envergure. • Tab aérodynamique. • Type de profil et effet sur le centre de pression. 	<ul style="list-style-type: none"> • Questions / réponses. • Questions / réponses. • Exposé magistral. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ L'élève devra expliquer la fonction des poids de balancement, sens corde et sens envergure. ▪ De plus, il devra reconnaître au minimum, s'il s'agit d'une pale de bois, d'aluminium ou de composite. 	
Identifier un mat rotor statique et dynamique sur un hélicoptère.	<ul style="list-style-type: none"> • Mat rotor des appareils de l'ENA. <ul style="list-style-type: none"> - Hughes 500, 300 - Bell 206 - Astar 350 • Mat statique • Mat dynamique 	<ul style="list-style-type: none"> • Visualisation des composants. • Manipulation de l'ensemble rotor du Hughes 500 pour saisir davantage les particularités. • Exercice (à définir). 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ L'élève devra être en mesure de différencier les deux types de mât, et d'en expliquer les avantages et désavantages majeurs. 	
Expliquer le fonctionnement de l'ensemble "tête rotor" sur un hélicoptère.	<ul style="list-style-type: none"> • Contraintes/mouvement : <ul style="list-style-type: none"> - force centrifuge - battement - avance/retard - variation de pas • Articulation de battement • Tête rotor articulée, semi-articulée et semi-rigide. 	<ul style="list-style-type: none"> • Exercice (par équipe de 4) de visualisation et d'identification des termes et concepts appris sur les têtes rotor (3 maquettes). 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ L'élève devra être en mesure de reconnaître les quatre (4) contraintes sur un système rotor. ▪ Il devra identifier et nommer correctement au moins trois (3) composants d'un système rotor. 	
Spécifier l'importance de l'alignement des pales et du balancement statique de l'ensemble rotor semi-rigide.	<ul style="list-style-type: none"> • Axe longitudinal et axe de la corde, d'une pale. • Moment piqueur. • Moment cabreur • Poids d'équilibrage. • Balayage de la pale (sens corde). 	<ul style="list-style-type: none"> • Exposé magistral 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ L'élève devra identifier et nommer les axes d'équilibrage et de balancement d'un rotor semi rigide. ▪ Nommer les effets d'un mauvais équilibrage. 	

MODULE 3 : Structure – contrôle de vol

Compétence visée	Contenu	Moyens pédagogiques pour rencontrer la compétence	Évaluation (Seuil de compétence)	Valeur en %
Distinguer des concepts de construction et de conception structurale sur les hélicoptères de l'ENA.	<ul style="list-style-type: none"> Reprise des charges. Parallélogramme de l'Astar 350. Forme de l'oeuf et de la boîte du Hughes 500. Bell 206 et sa boîte. 	<ul style="list-style-type: none"> Demander aux étudiants, de façon plénière, de reconnaître les concepts vus en classe; de façon magistrale (acétates et explication du prof.) Cet exercice se déroule dans le hangar à la fin du cours. 	<ul style="list-style-type: none"> L'élève devra être en mesure de nommer au moins cinq (5) matériaux différents retrouvés dans la construction de la cellule des hélicoptères. Il devra également formuler une explication quant à la reprise des charges du rotor à la structure 	
Reconnaître les parties d'un système de contrôle de vol.	<ul style="list-style-type: none"> Bielle de changement de pas. Tube de contrôle avec embout fileté réglable. L'ensemble de levier mixte. Plateau cyclique. Collectif, cyclique palonnier. 	<ul style="list-style-type: none"> Visualisation des pièces constituant le système de contrôle de vol sur une maquette réelle d'hélicoptère. 	<ul style="list-style-type: none"> L'élève devra identifier et nommer un minimum de huit (8) composants du système de contrôle de l'appareil. 	
Expliquer le fonctionnement d'un plateau cyclique.	<ul style="list-style-type: none"> Étude du plateau cyclique du Bell 206. 	<ul style="list-style-type: none"> Visualisation ou/et manipulation de composants en coupe d'un plateau cyclique. 	<ul style="list-style-type: none"> L'élève devra être en mesure de démontrer le fonctionnement du plateau cyclique. 	

MODULE 4 : Système anti-couple

Compétence visée	Contenu	Moyens pédagogiques pour rencontrer la compétence	Évaluation (Seuil de compétence)	Valeur en %
Reconnaître des montages particuliers relatifs au rotor de queue classique sur différents hélicoptères.	<ul style="list-style-type: none"> Liaison K. Couplage battement/pas. Couple de rappel à plat. 	<ul style="list-style-type: none"> Visualisation des concepts en plénière avec des maquettes spécifiques à ces énoncés. Mise en situation individuelle sur des hélicoptères au hangar. 	<ul style="list-style-type: none"> L'élève devra être en mesure de différencier la liaison K du couplage battement / pas. 	
Expliquer brièvement des systèmes anti-couple autres que le rotor de queue classique.	<ul style="list-style-type: none"> Système Notar. Effet Magnus ou Coanda sur la poutre de queue de l'Astar 355. Fenestron d'une gazelle AS315. 	<ul style="list-style-type: none"> Acétate et schéma en plénière. Mise en situation : <ul style="list-style-type: none"> lecture d'un document par les étudiants. solution en plénière et schéma (réponse) au tableau. Visualisation d'un Fenestron et ses pièces. 	<ul style="list-style-type: none"> L'élève devra expliquer clairement un moyen autre que le rotor de queue classique, pour contrer le couple de renversement. 	

MODULE 5 : Chaîne mécanique I : boîte de transmission principale – boîte de transmission R/Q

Compétence visée	Contenu	Moyens pédagogiques pour rencontrer la compétence	Évaluation (Seuil de compétence)	Valeur en %
Expliquer le fonctionnement des boîtes de transmission retrouvées sur un hélicoptère.	<ul style="list-style-type: none"> Boîte de transmission principale du Bell 206. Boîte de transmission du rotor de queue du Bell 206. Boîte de transmission intermédiaire du Bell 212. Lubrification : barbotage, injection Sonde : température, pression Détecteur de limailles. 	<ul style="list-style-type: none"> Jeux d'association de termes et de définitions. Visualisation par schéma pièce en coupe et manipulation. Exposé magistral. Questions/réponses. Visualisation de pièces en coupe et autres éléments. Démonstration par le prof. Exercices individuels de calcul de taux de réduction. Exposé magistral. Questions/réponses. 		

MODULE 6 : Chaîne mécanique II : roue libre – embrayage – arbre d'entraînement

Compétence visée	Contenu	Moyens pédagogiques pour rencontrer la compétence	Évaluation (Seuil de compétence)	Valeur en %
Expliquer le fonctionnement de la roue libre re-trouvée dans la chaîne mécanique d'un hélicoptère.	<ul style="list-style-type: none"> Roues libres : à gallet, à bille. 	<ul style="list-style-type: none"> Exposé magistral. Acétates, dessins, schémas. Questions/réponses. Exposé magistral. Acétates, schémas, dessins. Jeux de termes et de définitions. Démonstration avec maquette fonctionnelle. 	<ul style="list-style-type: none"> L'élève devra être en mesure d'expliquer au moins un type de roue libre, et d'en spécifier la fonction. 	
Distinguer le type d'embrayage retrouvé sur certains hélicoptères.	<ul style="list-style-type: none"> Embrayage du rotor principal <ul style="list-style-type: none"> sabot, centrifuge courroie, Hughes 300 turbine libre 	<ul style="list-style-type: none"> Exposé magistral et démonstration, à partir de maquettes fonctionnelles. 	<ul style="list-style-type: none"> L'élève devra être en mesure d'expliquer au moins un type d'embrayage et d'en spécifier la fonction. 	
Reconnaître les types d'arbres d'entraînement ainsi que les accouplements correspondants, retrouvés sur les hélicoptères de l'ENA.	<ul style="list-style-type: none"> Arbre d'entraînement du rotor de queue. Arbre de puissance. Joints flexibles. Joints cardans. Joints à cannelure. 	<ul style="list-style-type: none"> Visualisation sur les hélicoptères. Questions/réponses. 	<ul style="list-style-type: none"> L'élève devra être en mesure de spécifier la fonction des accouplements sur les arbres et d'en donner au moins trois (3) caractéristiques. 	
Esquisser les éléments contenus dans la chaîne mécanique d'un hélicoptère typique.	<ul style="list-style-type: none"> B.T.P. Arbre de puissance. Moteur/turbine libre. Roue libre. Arbre d'entraînement du rotor de queue. B.T.R.Q. 	<ul style="list-style-type: none"> Faire faire un schéma des composants retrouvés sur la chaîne mécanique. 	<ul style="list-style-type: none"> L'élève devra incorporer les sept (7) éléments de la chaîne mécanique dans son schéma. 	

MODULE 7 : Vibrations : moyennes, hautes, basses

Compétence visée	Contenu	Moyens pédagogiques pour rencontrer la compétence	Évaluation (Seuil de compétence)	Valeur en %
Nommer les types de vibrations retrouvées sur un hélicoptère.	<ul style="list-style-type: none"> Basses : verticales, latérales Moyennes. Hautes : verticales, latérales 	<ul style="list-style-type: none"> Exposé magistral. Acétates, schémas. Questions/réponses. 	<ul style="list-style-type: none"> L'élève devra être en mesure de nommer les vibrations tel que décrit par le professeur. 	
Décrire les méthodes de correction des vibrations verticales et latérales.	<ul style="list-style-type: none"> Atténuation automatique : <ul style="list-style-type: none"> atténuateur de vibrations latéral de l'Astar 350 atténuateur de vibrations vertical de l'Astar 350. bielle ajustable Bell 214. Strobex - drapeau - perche - R.A.D.S. 	<ul style="list-style-type: none"> Exposé magistral. Maquette fonctionnelle - CAM 206. Appareil Strobex. Mise en situation avec simulateur, soufflerie et lampe stroboscopique. 	<ul style="list-style-type: none"> L'élève devra expliquer au moins deux méthodes d'atténuations des vibrations retrouvées sur l'hélicoptère. 	

MODALITÉS DES ÉVALUATIONS SOMMATIVES

THÉORIE

TYPE D'ÉVALUATION				
	Examen écrit	Examen oral	Rapport écrit	Travail pratique
1				
2				
3				

La partie théorique est comptabilisée pour **60 points** de la note finale qui seront répartis de la façon suivante :

- 20 points** : 1ère évaluation sur les objectifs #1, #2 et #3.
- 20 points** : 2ième évaluation sur les objectifs #3, #4 et #5.
- 20 points** : 3ième évaluation sur les objectifs #6, #7 et #8.

Le type d'examen sera précisé par le professeur lors du premier cours.

Dans tout examen, dix pour cent (10%) de la note sera attribuée pour la qualité du français et de la propreté si nécessaire.

PRATIQUE

TYPE D'ÉVALUATION				
	Examen écrit	Examen oral	Rapport écrit	Travail pratique
1				
2				

L'évaluation de l'apprentissage de l'élève en laboratoire se fera au cours de 2 examens, soit un à la mi-session regroupant les 3 premiers laboratoires et un second à la fin de la session regroupant les 4 derniers laboratoires. Le type d'examen sera précisé par le professeur de laboratoire lors du premier cours. La partie pratique est comptabilisée pour 40 points de la note finale.

RÉVISION DE NOTES

Se référer aux articles 4.8, 4.12.1 et 4.12.2 de la PIÉA inscrite dans l'AGENDA.

BIBLIOGRAPHIE

Raetz, Roger, Théorie élémentaire de l'hélicoptère, Suresne, Aérospatiale Hélicoptère, 1983, 73 pages.
Réf.: 629.13335 R 163 T

Lefort, Pierre et Hamann J., L'hélicoptère: théorie et pratique, Lyon, Chiron, 1983, 303 pages.
Réf.: 629.13335 L 494 h

Schafer, Joseph, Basic Helicopter Maintenance, Basin Wyo., Aviation Maintenance, © 1980, 343 pages.
Réf.: 629.1346 S 296 b

OU

Schafer, Joseph, Helicopter Maintenance, Jeppesen Sandersen.

Films vidéo :

The story of the helicopter, 629.13335209 S887.

Rotor et son royaume, 629.133352 R848.

Vertical flight, 629.13A958 V. 11 Ex. 2

Les missions d'hélicoptère, 629.13335 P724m.

Manipulation prévol d'hélicoptère, disponible à la bibliothèque.