

# **PRÉSENTATION DU COURS**

## **SITUATION DU COURS DANS LE PROGRAMME**

Ce cours s'adresse aux élèves de 3<sup>ième</sup> 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<sup>ième</sup> et 6<sup>ième</sup> 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 ( $R = \frac{1}{2}\rho U^2 S K$ ) 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"> <li>Principaux composants d'un hélicoptère.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Association de terme et de définitions sous forme de jeux questionnaires en équipe.</li> <li>Les connaissances font appel à un cours antérieur, i.e. "Introduction à l'aéronautique".</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>L'élève devra reconnaître au moins huit (8) parties sur 10; peu importe les parties demandées.</li> </ul>	
Déterminer les règles de sécurité primordiales autour d'un hélicoptère en situation normale et d'urgence.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Règles de sécurité autour d'un hélicoptère en marche au sol.</li> <li>Règles à suivre en cas de "crash" en forêt.</li> <li>Caractéristique d'un E.L.T.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mise en situation en équipe de 4, les élèves sont des techniciens :               <ol style="list-style-type: none"> <li>Quelles sont les règles à suivre autour des hélicos en marche ?</li> <li>Quelles sont les étapes à suivre en cas d'accident en forêt ?</li> </ol> </li> <li>Retour en plénière et synthèse des règles.</li> <li>Visualisation et manipulation d'un E.L.T.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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.</li> </ul>	
Reconnaître le type de roulement utilisé dans certains composants de l'hélicoptère.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Roulement : à bille, rouleau, aiguille, conique.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Visualisation et manipulation de divers roulements.</li> <li>Repérage sur l'hélicoptère</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>L'élève devra reconnaître et nommer les quatre (4) types de roulement.</li> </ul>	
Expliquer le fonctionnement de certains montages de roulement retrouvés sur un hélicoptère.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Montage dos à dos, face à face et dos, face ou face, dos.</li> <li>Roulement à : à bille, rouleau, conique.</li> <li>Dos, face, cage interne, cage externe.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Démonstration sur acétate.</li> <li>Visualisation et manipulation de divers roulements.</li> <li>Exercice de repérage.</li> <li>Acétate.</li> <li>Visualisation sur des pièces en coupe.</li> <li>Exercice visant à nommer les parties, avec des roulements.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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.</li> </ul>	

## MODULE 2 : Ensemble rotor principal

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

### MODULE 3 : Structure – contrôle de vol

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

### MODULE 4 : Système anti-couple

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

## 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"> <li>Boîte de transmission principale du Bell 206.</li> <li>Boîte de transmission du rotor de queue du Bell 206.</li> <li>Boîte de transmission intermédiaire du Bell 212.</li> <li>Lubrification : barbotage, injection</li> <li>Sonde : température, pression</li> <li>Détecteur de limailles.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Jeux d'association de termes et de définitions.</li> <li>Visualisation par schéma pièce en coupe et manipulation.</li> <li>Exposé magistral.</li> <li>Questions/réponses.</li> <li>Visualisation de pièces en coupe et autres éléments.</li> <li>Démonstration par le prof.</li> <li>Exercices individuels de calcul de taux de réduction.</li> <li>Exposé magistral.</li> <li>Questions/réponses.</li> </ul>		

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

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

### 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** : 1<sup>ère</sup> évaluation sur les objectifs #1, #2 et #3.

**20 points** : 2<sup>ème</sup> évaluation sur les objectifs #3 et #4.

**20 points** : 3<sup>ème</sup> évaluation sur les objectifs #5, #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**

Raletz, 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.