

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Université M'Hamed Bougera Boumerdes
Faculté des sciences de l'ingénieur
Département de Génie Mécanique



Mémoire de fin d'études

En vue d'obtention du diplôme de **Master** en Electromécanique

Option : Electromécanique

Thème

**SIMULATION DU COMPORTEMENT DE SYSTEME DE
COMMANDE HYDRAULIQUE - BOOSTER - D'UN
HELICOPTERE AU NIVEAU DE L'ENTREPRISE E.R.M AERO**

Réalisé par :

BOULEKBACHI Hanane.

BOUGUERIBI Soumia.

Promoteur :

Dr. ALEM Saïd

Encadré par :

Mr. HAFAD Halim

2018-2019

RÉSUMÉ : Les hélicoptères sont le siège de comportements dynamiques difficiles à maîtriser et récurrents en phase de conception. L'objectif principal de ce travail est de simuler le comportement hydraulique de Booster. Ce dernier est l'élément principal du circuit hydraulique de servocommande d'un hélicoptère. Cette étude concerne le comportement hydraulique et l'analyse des réactions agissant sur les pales pour guider le mouvement d'un hélicoptère. Un modèle simplifié et explicite a été proposé pour permettre d'extraire des résultats graphiques entre les variables constituantes de ce modèle. Ce système multidisciplinaire a été simulé sur le logiciel de simulations multiphysiques AMESIM.

Mots clés : Hélicoptère, Circuit hydraulique, Booster, Banc d'essai, AMESIM

SUMMARY: Helicopters are the site of dynamic behaviours that are difficult to control and recurrent during the design phase. The main objective of this work is to simulate the hydraulic behaviour of the Booster. This latter is the main component of a helicopter's servo hydraulic system. This study concerns on the hydraulic behaviour and the analysis of reactions act on the blades to guide the movement of a helicopter. A simplified and explicit model was proposed to extract graphical results between the constituent variables of this model. This multidisciplinary system was simulated on the AMESIM Multiphysics simulation software.

Keywords: Helicopter, Hydraulic system, Booster, Test bench, AMESIM

ملخص: تعد طائرات الهليكوبتر موقعًا لسلوكيات ديناميكية يصعب التحكم فيها ومتكررة أثناء مرحلة التصميم. الهدف الرئيسي من هذا العمل هو محاكاة السلوك الهيدروليكي المعزز. هذا الأخير هو المكون الرئيسي للنظام الهيدروليكي الداعم لطائرة هليكوبتر. تتعلق هذه الدراسة بالسلوك الهيدروليكي وتحليل ردود الفعل على الشفرات لتوجيه حركة المروحية. تم اقتراح نموذج مبسط وواضح لاستخراج النتائج الرسومية بين المتغيرات المكونة لهذا النموذج. تم محاكاة هذا النظام متعدد التخصصات على برنامج محاكاة التعدد الفيزيائي AMESIM.

الكلمات المفتاحية: المروحية، النظام الهيدروليكي، المعزز، مقعد اختبار، أميسيم

Remerciements

***Nous** remercions avant tout Dieu de nous avoir donné le courage, la volonté et la santé pour réaliser de modeste travail.*

*Ce travail a été réalisé à l'entreprise militaire **E.R.M Aéro**, qui travaille dans la rénovation du matériel aéronautique situé à **Dar El-Beida**.*

***Nous** tenons à remercier Monsieur **ALEM SAID**, enseignant à l'université de **Boumerdes**, qui nous a encadré durant ce projet fin d'études. Nous le remercions d'avoir accepté notre projet et de nous avoir prodigué tous les conseils indispensables. Nous le remercions aussi pour avoir suivi, dirigé et encouragé ce travail.*

***Nous** tenons à remercier Monsieur **HAFAD Halim**, de nous avoir accueilli au sein de l'entreprise **E.R.M. Aéro** à **Dar El-Beida** et pour ses conseils précieux, et son intérêt à notre sujet et surtout pour le temps qu'il nous a consacré et son inestimable soutien, sans oublier l'ensemble du personnel et opérateurs de l'entreprise.*

***Nous** remercions aussi les membres de jury pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant de juger notre travail.*

*Les remerciements ne seraient rien sans une mention particulière pour nos collègues de la promotion "**Electromécanique**" sans oublier nos chers enseignants du département génie mécanique à leurs têtes Monsieur le chef de département et le staff administratif.*

Merci pour tout le moment qu'on a passé ensemble.

***Nous** remercions toute personne ayant contribué, de près ou de loin, dans ce travail, merci infiniment.*

Dédicaces

Je

dédie ce travail à mes chers parents que je remercie énormément pour leur soutien, amour, patience et sacrifices que Dieu vous protège.

A mes frères

- ❖ Ahmed, sa femme (Hadjer) et leurs deux petits (Fouad et Djawad)
- ❖ Mohamed Amine

A mes sœurs

- ❖ Hakima, son mari (Mohamed) et leurs petits (Adel et Ayoub)
- ❖ Safia, son mari (Mohamed) et leurs petits (Yasser et Wael)
- ❖ Nadjet, son mari (Ilyes) et leurs petits (Chaima et Ritadj)
- ❖ Nassima, son mari (Walid) et leurs petits (Safa & Marwa et Charaf-Eddine)

A mes collègues et mes amis : Zizou, Nima, Imane, Idjo, Lydia, Amira, Maissa, Ilhem, Houta, Abdelhak, Sidahmed, Soulaimen, Nourelislem.

○

A toute ma famille cousins, cousines, tantes et oncles....

A tous ceux qui j'estime et qui me sont chers et sur tout mes collègues et spécialement ceux de la promotion MEM17 « 2019 »

A toi Soumia et Ryma.

Hanane

Dédicaces

*Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut, tous les mots du monde ne sauraient exprimer la gratitude, l'Amour, le respect, la reconnaissance que je ressens en vous dédiant ce modeste travail
A vous chers parent aucun hommage ne pourrait être à la l'auteur de l'Amour dont vous m'avez comblé. Je vous dédie aujourd'hui ma réussite, et à la mémoire de mon défunt grand père*

*Que dieu, le miséricordieux vous accueille dans son éternel paradis
Tous mes remerciements à ma grand-mère pour son soutien ... que dieu la protège*

A Mon très cher frère Elaid

Ton encouragement et ton soutien étaient la bouffée d'oxygène qui me ressourçait dans les moments pénibles, merci d'être toujours à mes cotés

A mes chers frères Idris et Amine

Et mes belles sœurs

Hanane, son mari (Djamel) et leurs petits (Yasser, Aymen et Faissel)

Karima, son mari (Abdou) est leurs petits (Mouaine, Amrane)

Nadia, son mari (hamza) et sa petite (Malak)

Sans oublier la petite princesse Imane

A mes cousins et mes cousines et toute la famille Bougribia

A mes très chers amis spécialement : Asma, jojo, Lydia, Najo, Sara, Nasi,

Rania Abdo, dido, youyou je vous dis merci pour tous ces moments inoubliables qu'on a passés ensemble et qui seront gravé a jamais dans ma mémoire

A ma meilleure amie Ryma t'es la sœur que la vie a oublié de nous donner

A ma chère binôme Hanane qui a partagé avec moi les bons et les mauvais moments je vous souhaite de bonheur

*A toute la promotion **MEM17- 2019.***

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible, je vous dis merci

A toi Hanane

Soumia

TABLE DES MATIERES

Introduction générale	1
Chapitre I- Représentation de l'entreprise E.R.M AERO	Erreur ! Signet non défini.
I-1. Introduction	3
I-2. Présentation de l'entreprise E. R. M. Aero	4
I-3. Historique	4
I-4. Missions actuelles de l'E.R.M. Aéro.....	5
I-5. Organisation de l'EPIC E.R.M. Aéro.....	5
I-5-1. Les directions	6
I-5-2. Les départements	6
I-5-3. Les unités de production	6
I-6. La division équipements et instruments de bord.....	10
I-6-1. Sa mission	10
I-6-2. Sa composition.....	10
I-7. Les différentes étapes de la révision selon le processus R-30.....	11
I-7-1. La réception pour réparation.....	11
I-7-2. Nettoyage et lavage :.....	12
I-7-3. Détermination de l'état technique (inspection) :.....	12
I-7-4. Révision et Réparation.....	13
I-7-5. Montage et Réglage (Ajustage)	14
I-7-6. Essais (Rodage).....	14
I-7-7. Finition et Emballage	14
I-8. Fonctionnement de l'E R M Aéro	15
I-9. Conclusion.....	15
Chapitre II- Etat de l'art sur l'hélicoptère	16
II-1. Introduction.....	16
II-2. Description technologique et fonctionnelle d'un hélicoptère	16
II-2-1. Définition technique d'un hélicoptère	16
II-2-1. Historique de l'hélicoptère	16
II-3. La force aérodynamique totale.....	19
II-3-1. La circulation de l'air autour d'une pale	19
II-3-2. Définition de la force aérodynamique totale	19
II-3-3. Autres facteurs agissant sur la poussée.....	20

II-4. Les composants d'un hélicoptère.....	20
II-4-1. Rotor principal.....	21
II-4-2. Rotor anti-couple (Queue).....	23
II-4-3. Les articulations de pale.....	23
II-4-4. Le plateau cyclique :.....	25
II-5. Principe de fonctionnement.....	25
II-6. Le système d'alimentation électrique de l'hélicoptère.....	27
II-7. Conclusion.....	28
Chapitre III- Description technologique du système hydraulique BOOSTER.....	29
III-1. Introduction.....	29
III-2. Principes de la servocommande d'un hélicoptère.....	29
III-2-1. La commande de pas cyclique.....	30
III-2-2. La commande de pas collectif.....	30
III-2-3. La commande de palonniers.....	31
III-2-4. Commandes de vol électriques de l'hélicoptère.....	31
III-3. Description de la servocommande.....	32
III-3-1. Généralités sur le système hydraulique Booster.....	33
III-3-2. Principe de fonctionnement du système hydraulique d'un hélicoptère.....	34
III-4. Destination du Booster.....	36
III-4-1. Définition.....	37
III-4-2. Actionneur hydraulique linéaire.....	38
III-4-3. Le rôle.....	38
III-4-4. Choix de l'actionneur hydraulique (Booster).....	39
III-5. Conclusion.....	40
Chapitre IV- Etude du Banc d'essai du BOOSTER disponible au niveau des ateliers	40
IV-1. Introduction.....	41
IV-2. Destination et description du banc d'essai.....	41
IV-2-1. Définition.....	41
IV-2-2. Les composant de banc d'essai d'un Booster.....	41
IV-2-3. Caractéristiques techniques de la machine.....	44
IV-2-4. Carte de manipulation de banc d'essai.....	44
IV-2-5. Mise en marche de banc d'essai.....	45
IV-2-6. Instructions avant la mise en marche du banc d'essai.....	45

Table de Matières

IV-2-7. Tableau technique	46
IV-3. Principe de fonctionnement.....	47
IV-3. Les groupes constitués dans le système hydraulique principal	51
IV-4. Armoire d'alimentation et de commande du Banc d'essai.....	52
IV-5. Conclusion.....	54
Chapitre V- Simulation du système hydraulique BOOSTER avec AMESIM.....	53
V-1. Introduction.....	55
V-2. Description du logiciel ' AMESIM'	55
V-2.1. Définition d'AMESIM	56
V-2.2. Historique	57
V-2.3. Avertissement	57
V-2.4. Utilisation	58
V-2.5. Bibliothèques physiques	58
V-3. Simulation de l'actionneur hydraulique (Booster)	60
V-4. Interprétation des résultats de simulation globale	76
V-5. Conclusion	78
Conclusion générale.....	79
Bibliographie	80
Annexes	82

LISTE DES FIGURES

Figure I-1. Organigramme de l'ERM AERO	8
Figure I-2. Décomposition hiérarchique de l'URREA	9
Figure I-3. Logigramme chronologique de rénovation	14
Figure II-1. Chronologie historique de l'hélicoptère [5]	18
Figure II-2 Flux d'air autour d'une pale [6]	19
Figure II-3 Forces agissantes sur une pale [7]	20
Figure II-4. Les différentes parties d'un hélicoptère [9]	21
Figure II-5. Profil d'une pale d'hélicoptère [9]	22
Figure II-6. Moyeu et mat du rotor principal [9]	22
Figure II-7. Rotor anti couple	23
Figure II-8. Les trois articulations de la Pale	24
Figure II-9. Schéma du principe de fonctionnement d'un plateau cyclique [11]	25
Figure II-10. Efforts aérodynamiques appliqués à une pale [12]	26
Figure II-11. Les deux types de vols de l'hélicoptère [5]	27
Figure III-1. Les commandes principales d'un hélicoptère [16]	29
Figure III-2. Les trois types de commandes [19]	32
Figure III-3. Plateau cyclique et servocommande [20]	33
Figure III-4. Organes composant une chaîne de commande de vol [20]	33
Figure III-5 Schéma détaillé de la servocommande et du système hydraulique [21]	36
Figure III-6. Photo réelle du système Booster de l'hélicoptère Mi-24	37
Figure III-7. Présentation des trois axes de commande [[16]	39
Figure IV-1. Représentation Pupitre de commande d'un banc d'essai	42
Figure IV-2. Tableau de commande électrique	43
Figure IV-3. Pupitre de commande	43
Figure IV-4. Schéma hydraulique de banc d'essai	50
Figure IV-5. Présentation de l'armoire d'alimentation et commande de Banc d'essai	53
Figure V-1. Page de lancement du logiciel AMESIM	56
Figure V-2. Les différents couleurs utilisés dans le logiciel en fonction du domaine	57
Figure V-3. Interface de logiciel AMESIM	58
Figure V-4. Le bloc Simulation d'Actionneur hydraulique pour le contrôle de vol primaire	61
Figure V-5. Partie commande du système hydraulique Booster	62
Figure V-6. Distributeur hydraulique	62
Figure V-7. Simulation de pression au port A par rapport au débit au port P dans le distributeur	64
Figure V-8. Différence de pression entre le port P et le port A	65
Figure V-9. Vérin hydraulique	65
Figure V-10. Variables externes d'un vérin	66

Liste des figures

Figure V-11. Déplacement au port 5 et le débit au port 1 _____	67
Figure V-12. Simulation de débit au port 1 et la vitesse au port 5 _____	67
Figure V-13. Variables externes de la chambre hydraulique. _____	68
Figure V-14. Simulation de comparésent de débit au port 1 et le débit au port 3 _____	69
Figure V-15. Le mouvement unidimensionnel de deux corps _____	69
Figure V-16. Simulation de déplacement et la vitesse au port 1 _____	70
Figure V-17. Système d'amortisseur à ressort idéal. _____	71
Figure V-18. La différence de déplacement au port 1 et 2 _____	72
Figure V-19. Simulation du déplacement au port 1 et port 2 et la force du ressort. _____	72
Figure V-20. Capteur de vitesse _____	73
Figure V-21. La relation entre la vitesse et le déplacement au port 1 _____	73
Figure V-22. Capteur de déplacement _____	74
Figure V-23. La relation entre la sortie de signal et déplacement de port 1 _____	75
Figure V-24. Les caractéristiques du fluide hydraulique _____	75
Figure V-25. Simulation globale de la position désirée et mesurée de la tige du piston . ____	77
Figure V-26. Simulation globale du débit au port A et la vitesse du piston _____	77
Figure V-27. Simulation globale comparai entre la pression de chambre A et B. _____	78

LISTE DES TABLEAUX

Tableau III-1. Déplacements sur les axes _____	39
Tableau IV-1. Caractéristiques techniques de la machine [24] _____	44
Tableau IV-2- Fiche technique de banc d'essai du Booster _____	46
Tableau V-1. Paramètre de distributeur hydraulique _____	63
Tableau V-2. Paramètre de Partie d'un vérin _____	66
Tableau V-3. Paramètres d'une chambre hydraulique. _____	68
Tableau V-4. Paramètres de mouvement unidimensionnel de deux corps. _____	70
Tableau V-5. Paramètre de Système d'amortisseur à ressort idéal _____	71
Tableau V-6. Paramètres du capteur de vitesse _____	73
Tableau V-7. Paramètres du capteur de déplacement _____	74
Tableau V-8. Les paramètres du fluide (l'huile) _____	76
Tableau V-9. Les paramètres de simulation globales _____	76

*Introduction
générale*

INTRODUCTION GENERALE

Les actionneurs hydrauliques sont utilisés dans de nombreuses applications telles que les commandes de vol d'hélicoptère. Cet actionneur, lorsqu'il est couplé à un système de rétroaction, s'appelle une servocommande. La réponse de l'actionneur hydraulique dans le temps est importante, en particulier lorsque l'actionneur est utilisé pour les opérations des commandes de vol. Cela aide également le concepteur à arriver à des paramètres de conception optimaux de l'actionneur hydraulique. Dans cette mémoire, un actionneur linéaire électrohydraulique de contrôle de position est sélectionné. Cet actionneur est utilisé pour contrôler les mouvements de l'hélicoptère. La modélisation mathématique de l'actionneur hydraulique et de ses composants est effectuée et basée sur les équations mathématiques Des modèles et simulations sur le logiciel Simcenter AMESIM de l'actionneur hydraulique appelé BOOSTER et de ses composants ont été réalisés et la réponse en fonction du temps de l'actionneur linéaire est obtenue en utilisant le logiciel AMESIM.

A ce jour, et par rapport à la littérature consultée, rares sont les travaux qui ont étudiés le système hydraulique de servocommande appelé « Booster » pour les hélicoptères et les aéronefs. C'est pour cette raison nous avons choisis ce thème notre projet fin d'étude. Ce travail a été effectué au sein de l'entreprise militaire de rénovation et réparation du matériel aéronautique EPIC E.R.M Aero, située à Dar El-Beida.

Nous avons consacré une partie importante de notre temps durant le stage à l'entreprise pour comprendre et étudier le fonctionnement du système de commande hydraulique des mouvements de l'hélicoptère. On a eu la chance de travailler sur l'hélicoptère Mi24 qui été disponible au niveau des atelier de réparation. Nous avons constaté que le système BOOSTER, est le composant le plus critique dans l'installation étudiée. Nous avons pris la décision pour le choisir comment élément d'étude. Au niveau des ateliers nous avons trouvés un banc d'essai pour le diagnostic et la testabilité de ce système. Le comportement et la décomposition de ce banc d'essai a été présenté dans ce mémoire afin de comprendre ces avantages et limitations. Nous avons constaté que ce banc d'essai est limité à la détection de défaut et ne peut pas décrire ou identifier les changements sur le comportement interne du Booster Pour cela on a décidé de simuler le comportement du Booster afin de proposer un modèle multiphysique du comportement et commande de ce système. A cause de la multidisciplinarité de ce mécanisme électro-mécano-hydraulique, nous avons réalisé une modélisation et des simulations du système hydraulique Booster sur le logiciel Simcenter AMESIM.

Introduction Générale

Ce logiciel est une plateforme de modélisation et de simulation multiphysique très puissante qui vient avec des modèles et une bibliothèque de composants validés avec des modèles physiques. Nous avons introduit dans ce modèle des valeurs réelles et des données expérimentales qu'on a collectés au niveau des ateliers de réparation au niveau de l'entreprise E.R.M. Aero. Pour des raisons de confidentialité et propriétés industrielles nous avons limité notre étude à la simulation du comportement interne du système hydraulique Booster qui permet de contrôler le mouvement d'un hélicoptère

Ce mémoire est divisé en cinq parties.

Le 1^{er} chapitre est consacré à la présentation du lieu de stage et l'entreprise EPIC E.R.M Aero qui nous a accueilli durant ce stage de fin d'études.

Le 2^{eme} chapitre, représente une étude théorique et historique sur le développement des hélicoptères et son comportement aérodynamique. Le 3^{eme} chapitre représente le système hydraulique et la servocommande d'un hélicoptère. Le Booster a été considéré comme le composant le plus critique dans cette chaîne fonctionnelle. Il a été décomposé structurellement et fonctionnellement afin de comprendre son utilité et sa position centrale dans le système de commande de mouvement d'hélicoptères.

Le quatrième chapitre, est consacré à la représentation technologique du système de contrôle et de test du booster. Le banc d'essai disponible au niveau des ateliers de réparation a été détaillé afin de comprendre le système hydraulique globale d'un hélicoptère simulé dans ce banc d'essai. Le dernier chapitre, est consacré à la modélisation et la simulation du comportement interne d'un système hydraulique Booster à l'aide de logiciel de simulation multiphysiques AMESIM.

Nous avons terminé avec une conclusion générale et des perspectives.

Chapitre 1 :
Présentation de
l'entreprise E.R.M
Aero

CHAPITRE I – PRESENTATION DE L'ENTREPRISE E.R.M AERO

I-1. Introduction

Dans le cadre du projet fin d'étude en Master électromécanique, nous avons obtenu une visite à quelques établissements militaires attachés à l'arme aérienne du l'ANP. Ainsi, nous avons choisis d'effectuer notre stage pratique au sein de l'Entreprise de Rénovation du Matériel Aéronautique (E.R.M. Aero) située à Dar El BEIDA, une des entreprises militaires Algériennes la plus performante dans ce secteur. C'est une entreprise militaire à caractère industriel et commercial qui travaille sur la maintenance des aéronefs spécifiques de la 4ème région militaire, tels que l'avion de chasse L-39, les hélicoptères Mi-2, Mi-17, Mi-171, Mi-171Sh et Mi-24.

Ce stage nous a permis de s'adapter à un environnement professionnel rigoureux et stricte, et surtout d'approfondir nos connaissances théoriques et pratiques acquises durant ces cinq (05) années d'études supérieures. Après une visite de tous les services de cette entreprise, nous avons été dirigés vers l'Unité de Réparation et Rénovation (U.R.R.E.A) où nous avons effectué la totalité de notre partie pratique durant ce stage du PFE [1].

Tout d'abord, nous avons consacré notre première semaine à l'identification du matériel et équipements les plus critiques et les plus intéressants pour une étude d'ingénierie en Electromécanique. Nous avons décidé après recommandation de l'encadreur industriel et l'avis favorable de l'encadreur pédagogique de lancer une étude sur le fonctionnement d'un Banc d'essai pour la pompe Booster d'un hélicoptère. Après une analyse structurelle et fonctionnelle, nous avons constatés que le Booster est le sous-système le plus important dans un système hydraulique pour la servocommande des mouvements de l'hélicoptère. Ce travail a débuté par une présentation générale de l'hélicoptère Mi-24 qui a été choisie pour sa disponibilité et son accessibilité sur place dans les ateliers de maintenance. Par la suite nous avons terminés notre visite dans les différents ateliers de maintenance pour apprendre et enregistrer les différentes actions de maintenance préventives et correctives que fait chaque opérateur et chaque équipe afin d'avoir une idée complète sur la stratégie de maintenance de cette entreprise dans ce secteur.

Nous avons choisi de faire notre étude sur la partie maintenance et testabilité du système Booster d'un hélicoptère militaire Mi-24 via un banc d'essais adéquat fabriqué par l'armée russe afin d'évaluer son efficacité et ses limitations en termes de diagnostic (à savoir la détectabilité et la localisation des défauts internes et externes au Booster).

I-2. Présentation de l'entreprise E. R. M. Aero

Afin de valoriser notre formation universitaire, l'entreprise de rénovation des matériels aéronautiques offre pour ses nouvelles recrues et ses stagiaires une formation de deux (02) mois qui sert à leur faire connaître l'environnement professionnel, et aussi de mettre en œuvre toutes les connaissances théoriques dans les domaines liées à l'aéronautique vus durant le cursus universitaire et de connaître leurs applications.

Dans une première étape, on a visité l'unité de production et de rénovation et on a renseigné sur les procédures internes du suivi et contrôle du travail et on a terminé par lire et approuver le règlement intérieur de l'entreprise. Après on a commencé par visiter les différentes divisions et on a suivi une formation courte durée au niveau de l'Unité de rénovation et réparation URREA, et une autre au niveau de la division accessoires et pièces de rechanges, afin d'avoir une image bien détaillée sur les différents ateliers et leurs activités.

L'entreprise de Rénovation des Matériels Aéronautiques se trouve à Dar el Beida [1], mitoyenne de l'aéroport international de Houari Boumediene, construite en 1939 sous forme d'un atelier industriel aéronautique par les français, récupérée en 1962 par la république Algérienne puis transférée en un établissement sous tutelle du ministère de la défense nationale en 1977 et finalement devenu une entreprise autonome en 1992. Elle a été créée pour satisfaire les besoins de notre flotte militaire aérienne, et depuis le jour où elle a été mise en fonction, elle n'a pas cessé de chercher le développement de ses unités. C'est une entreprise militaire à caractère industriel et commercial dotée de la personnalité morale et de l'autonomie financière. Ce qui est considéré comme le moyen principal pour la satisfaction complète des besoins de notre armée aérienne et pour avoir une indépendance totale ce qui concerne la rénovation des avions militaires Algériens.

I-3. Historique

L'entreprise de rénovation de matériel aéronautique (EPIC E.R.M. Aéro) est une entreprise à caractère économique et commercial se trouvant sous la tutelle du ministère de la défense nationale. Elle a pour missions :

- ❖ Réviser et réparer le matériel aéronautique
- ❖ Fabriquer des outils, des composants et des accessoires pour les avions
- ❖ Mener toutes les études en relation avec ses objectifs
- ❖ Approcher toute contribution jugée utile par l'autorité de tutelle à la mise en place de l'industrie aéronautique.

L'entreprise de rénovation de matériel aéronautique date de l'époque coloniale en Algérie créée en 1939 par la France sous le nom de l'atelier de réparation de matériels aéronautique « ARMA », elle avait pour mission la maintenance de matériels aériens de guerre pendant la deuxième guerre mondiale [1]. Elle passera ensuite selon les périodes et les étapes suivantes en :

1^{ère} étape : 1939-1945 : Ateliers de Réparation des Matériels Aéronautique ARMA

2^{ème} étape : 1945-1962 : Ateliers Industriels de l'Air AIA

3^{ème} étape : 1962-196 : Héli Service (Filiale Sud Aviation)

4^{ème} étape : 1964-1967 : Société Mécanique et Aéronautique SOMEA

5^{ème} étape : 1967-1977 : Etablissement Central de Réparation des Matériels ECRM

6^{ème} étape : 1977-1992 : Etablissement Centrale de Rénovation des matériels Aéronautique (ECRMA)

7^{ème} étape : 1992—au 27/04/2009 : Entreprise de Rénovation des Matériels Aéronautique (E.R.M. Aéro)

8^{ème} étape : 27/04/2009 à ce jour : Etablissement Public à caractère Industriel et Commercial Etablissement de Rénovation des Matériels Aéronautique (E.R.M. Aéro)

I-4. Missions actuelles de l'E.R.M. Aéro

La mission principale de l'entreprise est la révision, la réparation et la Maintenance des avions militaires tels que les avions de chasse (Mig-21, Mig-23, L-39, le Sou-24) et les hélicoptères (MI-2, MI-8 MI-17, MI-171 et l'écureuil), les avions de transport, ainsi que les avions étrangers, et cette ils peuvent être résumés en :

- ❖ Réviser les appareils aéronautiques.
- ❖ Fabriquer les pièces aéronautiques et les accessoires des avions pour les bases des forces aériennes.
- ❖ Fabriquer les accessoires outils et les composantes nécessaires à la réalisation de son objet.
- ❖ Menez toutes les études en relation avec sa mission. à ce titre, l'entreprise réalise des plans d'approvisionnement, de production et de commercialisation, ainsi l'acquisition et l'aménagement des moyens industriels nécessaires.

I-5. Organisation de l'EPIC E.R.M. Aéro

L'organisation générale de l'EPIC E.R.M. Aéro est conçue sur la base d'une direction générale qui est ainsi composée [1].

I-5-1. Les directions

Elle constitue quatre (04) directions comme n'importe quelle entreprise à caractère EPIC.

- Administration générale
- Direction commerciale
- Direction finance et comptabilité
- Direction technique

I-5-2. Les départements

En plus aux quatre directions centralisées, on trouve quatre (04) départements hiérarchiques qui travaillent en collaboration avec les directions sous une organisation administrative différente.

- Département informatique & transmission
- Département gestion et contrôle
- Département maintenance
- Département sécurité industrielle

I-5-3. Les unités de production

- Unité de rénovation aéronefs URA.
- Unité de rénovation et réparation URREA
 - Division radio
 - Division équipements et instrumentations de bord
 - Division accessoire
 - Division armement
- Unité de Fabrication industrielle UFI
- Unité de réparation des avions de transport URAT à Boufarik
- Unité de Réparation et de Rénovation URREA

Elle prend en charge la révision et la réparation des équipements et accessoires déposés au niveau des unités opérationnelles des forces Aériennes ainsi que les interventions sur place.

En résumé, elle a pour mission de :

- La régénération des potentielles vies des :
 - ✓ Accessoires de bord ;
 - ✓ Equipements, instruments de bord ;
 - ✓ Equipements radio radar de bord ;
 - ✓ Et des systèmes d'armes des aéronefs de combats.

- Dans le cadre du soutien technologiquement des unités du commandement des forces aériennes, l'URR a pour mission également la réparation et la mise au point des articles cités ci-dessus.

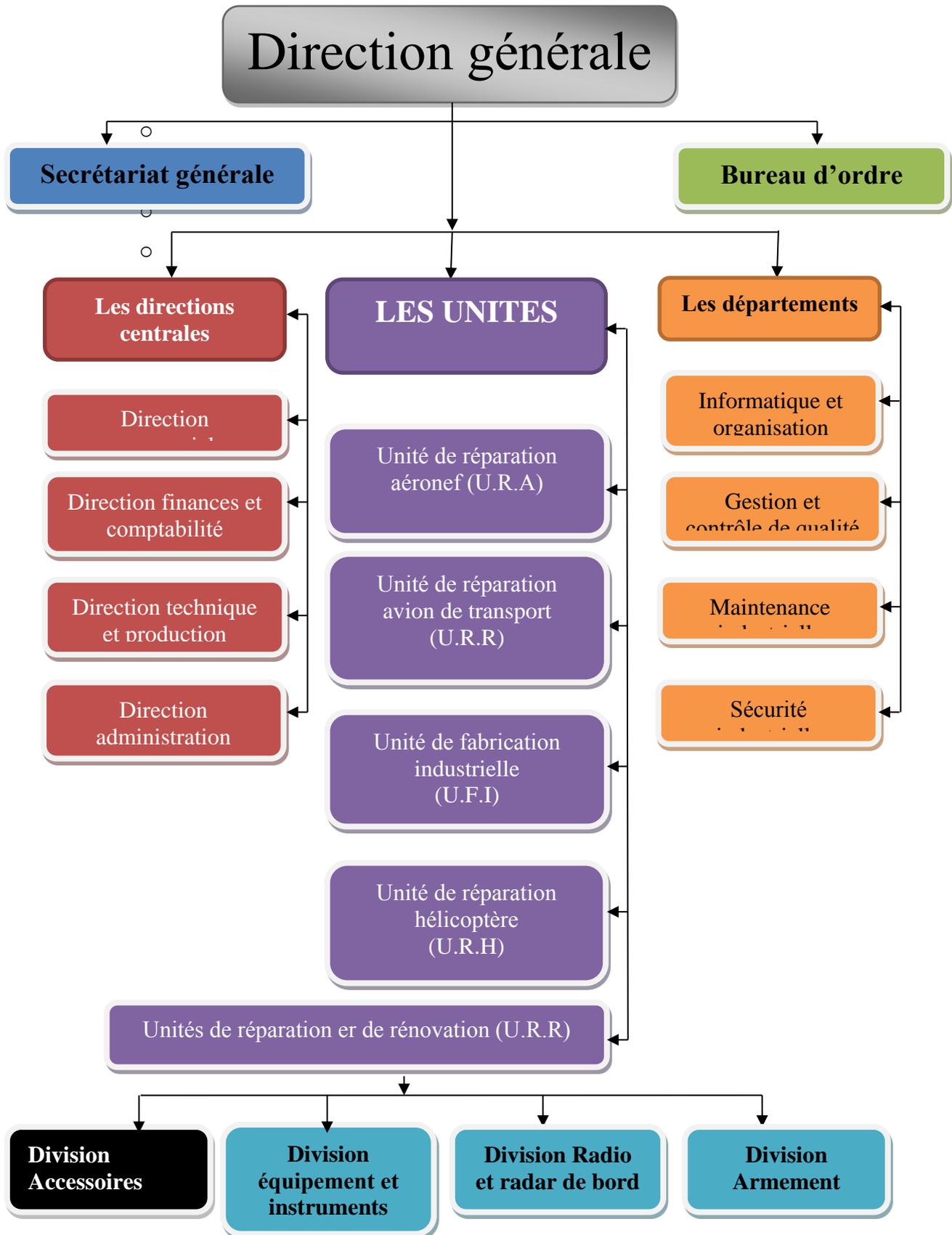


Figure I-1. Organigramme de l'ERM AERO

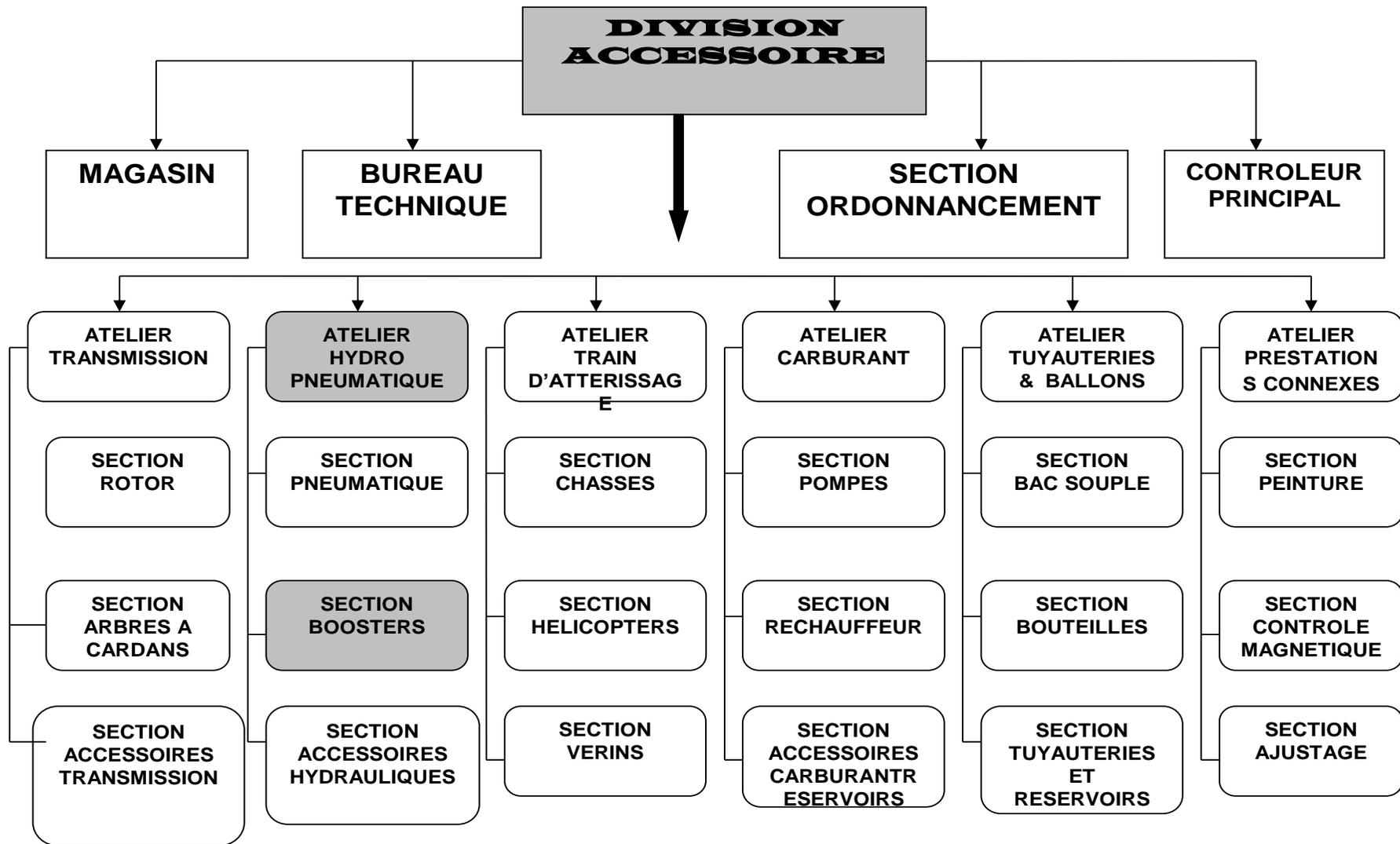


Figure I-2. Décomposition hiérarchique de l'URREA

I-6. La division équipements et instruments de bord

I-6-1. Sa mission

- La rénovation des équipements électriques et instruments de bord des différents aéronefs
- La réparation de tous équipements en provenance des unités opérationnelles
- La rénovation des instruments de bord et système d'oxygène en provenance de différentes chaînes.

I-6-2. Sa composition

- Atelier instruments de bord
- Atelier énergétique
- Atelier équipements électriques
- Atelier automatisme
- Bureau d'études et méthodes
- Contrôleur principal
- Section ordonnancement
- Magasin avancé

Chaque atelier se compose de plusieurs sections.

❖ Atelier énergétique :

Il assure le bon fonctionnement des sources d'énergie électrique qui alimentent l'avion « alternateurs, génératrices, convertisseurs », et il est composé de deux sections : Moteurs et Energies.

❖ Atelier automatisme :

Il est composé de deux sections : Autopilote et Gyroscope

Il a pour missions :

- Les rénovations et la maintenance de tout l'ensemble pilote automatique.
- Essayer et vérifier le bon fonctionnement de tout l'ensemble pilote automatique et ses accessoires sur banc d'essai
- La rénovation et la réparation de l'instrument gyroscopique sur des bancs d'essai.

❖ Atelier instruments de bord

Il se compose de quatre sections : instruments de bord, instruments anéroïdes, enregistreur de paramètres de vol et section oxygène

Il a pour mission : la réparation et la rénovation des enregistreurs de paramètres de vol (la boîte noire SARPP) et la réparation des instruments de bord et les équipements d'oxygène de l'avion

❖ Atelier équipements électriques

Il se compose de trois sections : panneaux électrique, commutation, câblage électrique.

Il a pour mission la réparation et la rénovation des instruments de bord tels que les panneaux électriques.

I-7. Les différentes étapes de la révision selon le processus R-30

Le processus technologique de la révision et réparation opérationnel au niveau des différentes unités se compose de sept (07) étapes décrites comme suivant :

I-7-1. La réception pour réparation

On envoi en réparation les accessoires qui sont en fin de ressources ou qui ont des défauts et des détériorations de pièce et des unités de montage dont l'élimination n'est possible que dans les organismes de réparation. Chaque accessoire envoyé en réparation doit être accompagné des documents suivants :

- Le livret sur lequel doivent être inscrire toutes les informations concernant l'exploitation de l'accessoire
- L'acte technique (en cas de retrait anticipé de l'accessoire de l'exploitation) avec indication des causes du retrait.

Lors de l'arriver en réparation, l'accessoire doit avoir un dossier de réparation constitué des documents suivants :

- Acte de l'état technique de l'accessoire ou son fascicule
- Acte de réparation ou son fascicule
- Les cartes de montage et de démontage
- Liste de l'état technique des pièces et des unités de montage (liste d'inspection)
- Carte des mesures
- Carte de contrôle des unités de montage par les dispositifs de contrôle
- Carte de contrôle magnétique et des aspects spéciaux de contrôle
- Carte de rodage
- Liste ré complètement de l'accessoire réparé.

Lors de l'arrivée en réparation de l'accessoire, il est nécessaire de :

- De contrôler l'existence des documents de l'accessoire

- Contrôler l'état de l'emballage et la conservation externe de l'accessoire
- Faire une carte d'inspection externe de l'accessoire, sur lequel sera mentionné l'aspect extérieur de l'emballage et de la conservation de l'accessoire.

I-7-2. Nettoyage et lavage :

Lavage préliminaire : avant le démontage, laver la surface externe de l'accessoire avec de l'essence et ce à l'aide des pinceaux à crin, de brosses et de serviette à Cotton propre.

Lavage de l'accessoire démonté : le lavage des pièces et des unités de montage au cours de la réparation de l'accessoire est à effectuer :

- Après le démontage de l'accessoire
- Après l'exécution du contrôle magnétique
- Après l'élimination des défauts et la réparation des pièces et des unités de montages
- Lors du de stockage des pièces et des unités de montages
- Avant le montage de l'accessoire ayants subit le rodage
- A l'issue du rodage de contrôle et avant la peinture de l'accessoire

Le lavage des pièces et des unités de montage, lors de la réparation et avant le montage de l'accessoire est effectué par les procédés suivants

- Par solution aqueuse dans des machines à laver, dans des armoires de lavage ou dans des cuves
- Par jet d'essence sous pression dans des cuves pour lavage par jet
- A l'aide des brosses en en crin dur dans des cuves contenant de l'essence
- Par nettoyage des pièces et des unités de montages à l'aide de serviette imbibées d'essence
- Décapage de la couche de peinture.

I-7-3. Détermination de l'état technique (inspection) :

- A l'issue du démontage et du lavage, les pièces et les unités de montage de l'accessoire (à l'exception des pièces sujettes au changement obligatoire) sont soumises à l'inspection.

L'inspection comprend les opérations suivantes :

- Examen extérieur des pièces et unités de montage
- Mesure micrométrique des pièces pour la détermination de la valeur de l'usure
- Vérification des unités d'assemblage au moyen des dispositifs de contrôle
- Contrôle magnétique des pièces.

- Vérification de l'étanchéité des unités de montage.

Les résultats des vérifications de chaque opération sont inscrits sur la fiche d'inspection du dossier de réparation de l'accessoire. Sur la fiche on indique en face de chaque pièce, son aptitude ou le caractère de la réparation exigé.

La fiche d'inspection doit caractériser l'état des pièces et unités de montage. C'est le principal document pour la réparation et pour la mise au rebut de la pièce. La décision concernant la possibilité d'utilisation future des pièces possédant une usure ou des détériorations se prend à la fin de l'inspection.

Lors de l'inspection des pièces et ensemble des unités de montage, se guider par ce qui est inclus dans les thèmes suivants :

- Listes des pièces sujettes au changement obligatoire
- Normes techniques d'inspection
- Tableau de mesure micrométrique
- Tableau des mesures de roulement
- Fiche de contrôle magnétique
- Indication sur les essais hydraulique et pneumatique
- Tableau des jeux et des serrages (ajustage et raccordement)

I-7-4. Révision et Réparation

Sur les pièces et unités d'assemblage des accessoires en fin de potentiel peuvent subvenir les défauts suivants :

- Emiettement de matière sur la surface des dents des pignons ou usure des dents
- Ecorchure et traits profonds dus au montage sur les surfaces de contact des pièces.
- Détérioration des goujons.
- Rupture du filetage.
- Ecroûissage sur les surfaces de contact sous les roulements et dans les cannelures

Ne sont admis en révision que les pièces et les ensembles qui ont subi les types de contrôle (inspection) et jugé aptes à la révision.

Après la révision, avant le remontage, il faut procéder au mesurage des pièces conformément aux cartes de mesurage micrométrique. Les opérations de réparation se résume à :

- Réparation des liaisons filetés
- Réparation des pièces (fabrication des pièces, traitement de surface...)
- Elimination des produits de la corrosion des surfaces des pièces
- Restauration des revêtements de protection

- Peinture de l'accessoire

I-7-5. Montage et Réglage (Ajustage)

- Avant le début du montage, contrôler l'état, la composition et le marquage des pièces, ainsi que l'élimination des défauts marqués sur le canevas d'inspection. L'ajustage doit s'effectuer en conformité avec le tableau des jeux et des serrages des pièces de L'accessoire inscrit dans le guide de révision de l'accessoire.

I-7-6. Essais (Rodage)

- L'accessoire réparé conformément au guide est soumis aux essais sur un banc d'essais dans le but de roder les pièces et des contrôler la qualité de la réparation ainsi que la correction du montage. Les essais représentent un ordre de succession de régime de chargement et de déchargement de l'accessoire définie par le programme de rodage correspondant.

La carte des essais s'établie à chaque étape et elle est jointe au dossier de réparation.

- Elle relève :

- Les travaux avant le démarrage et après arrêt du banc d'essais
- Les paramètres mesurés

Sur la carte des essais sont aussi fixés tous les paramètres nécessaires, ainsi que tous les défauts décelés lors des essais.

I-7-7. Finition et Emballage

- Le stockage des accessoires conservés et emballés est permis pour une durée bien déterminée par le guide de révision dans des aires de stockage. La carte et la durée de conservation sont indiquées dans les livrets.
- La rénovation qui est la vocation même de l'entreprise se fait selon la chronologie_suivante :

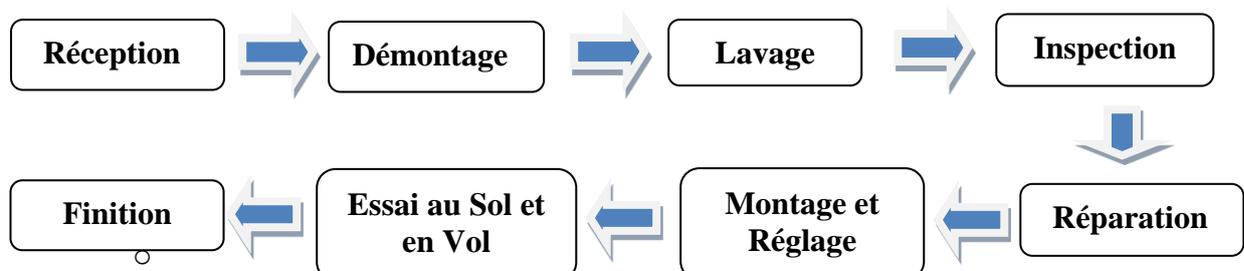


Figure I-3. Logigramme chronologique de rénovation

I-8. Fonctionnement de l'E R M Aéro

L'E.R.M. Aéro est spécialisée dans la maintenance et la rénovation des matériels aéronautiques, elle dispose de moyens très importants sur le plan des ressources humaine et moyens matériels. La procédure de rénovation des aéronefs se déroule dans l'ordre suivant :

- Réception : l'accueil des aéronefs à réviser ou à réparer venant des différentes bases aériennes. Un ensemble d'experts font un contrôle général pour voir l'état initial de l'appareil, suivi d'un compte rendu.
- Démontage : se fait au niveau de l'unité de rénovation des aéronefs (URA) après la vidange totale de carburant.
- Inspection : envoyer chaque pièce démontée à l'unité correspondante pour la révision précise et détecter toutes les pannes si elles existent (accessoire, radio, ...)
- Réparation : réparer les pannes des pièces et les contrôler suivant les paramètres de bon fonctionnement de chacune à l'aide des bancs d'essais spéciaux.
- Mise au point : après la réparation, l'aéronef est monté au niveau de l'unité (URA) pour faire les réglages nécessaires avant le démarrage.
- Essais en vol : tester l'aéronef réparé par des essais en vol.
- Livraison : si l'essai de vol se fait avec succès, l'avion sera autorisé de rejoindre sa base avec une nouvelle durée de vie [1].

I-9. Conclusion

Lors de ce stage pratique de dix (10) semaines, on se soit familiarisés avec un environnement aéronautique agréable à E.R.M. Aéro, particulièrement au sein de la division accessoire où on a pu enrichir nos connaissances théoriques complémentaires à notre formation universitaire. Après une rapide intégration dans l'équipe, on a eu l'occasion de réaliser plusieurs tâches qui ont constitué une mission de stage globale. Chacune de ces tâches, utiles au service et au bon déroulement de l'activité de l'entreprise, se sont inscrites dans la stratégie de celle-ci et plus précisément dans celle du service accessoire en mettant en avant les différentes techniques de la maintenance. On garde de ce stage un excellent souvenir, il constitue désormais une expérience professionnelle valorisante et encourageante pour notre avenir. On pense que cette expérience à l'entreprise nous a offert une bonne préparation à notre insertion professionnelle car elle fut pour nous une expérience enrichissante et complète qui conforte notre désir d'exercer un futur métier d'ingénieur dans le domaine de l'aéronautique, et dans le domaine de la maintenance et l'ingénierie électromécanique.

Chapitre 2 :
Etat de l'art sur
l'hélicoptère

CHAPITRE II – ETAT DE L’ART SUR L’HELICOPTERE

II-1. Introduction

- Ce chapitre présente une description théorique de l’hélicoptère, sa décomposition technologique et son comportement aérodynamique. Avant d’aller vers l’entretien et la réparation des composants d’un hélicoptère, néanmoins le système hydraulique qu’on considère dans notre étude, il est important de connaître de proche la constitution d’un hélicoptère et ses modes de fonctionnement.

II-2. Description technologique et fonctionnelle d’un hélicoptère

L’hélicoptère restera un véhicule expérimental jusqu’aux années 1940. Les vrais développements de l’hélicoptère ont été apportés par les militaires après la deuxième guerre mondiale vu l’importance tactique de cet engin dans les combats.

Un hélicoptère est un aéronef à voilure tournante dont la propulsion et la sustentation sont assurées seulement par des rotors, durant toute la phase de vol. Cet appareil peut effectuer des manœuvres qu’un avion ne peut faire : vol stationnaire, décollage et atterrissage vertical. A basse altitude, il peut soit avancer, reculer ou se déplacer latéralement ce qui lui permet d’atteindre des endroits inaccessibles pour un avion. Tous ces manœuvres contribuent à son succès que ce soit dans le domaine militaire ou civil. Cependant, l’hélicoptère est d’une conception plus complexe que celle d’un avion. IL représente un système fortement instable et couplé avec un temps de repenser très long. La conception d’un autopilote capable de stabiliser et de contrôler tous les mouvements de l’hélicoptère devient une tâche extrêmement difficile [2].

II-2-1. Définition technique d’un hélicoptère

Un hélicoptère est un aéronef dont la sustentation et la propulsion sont assurées par des voilures tournantes, couramment appelées rotors, et entraînées par un ou plusieurs moteurs.

La majorité des hélicoptères utilise un seul rotor de sustentation et un rotor anti couple, les autres solutions sont bi-rotors contrarotatifs placés sur le même axe, sur deux axes convergents, en tandem ou sur les côtés [3].

II-2-1. Historique de l’hélicoptère

Vers 1500, Léonard de Vinci effectue la première étude connue sur le vol des oiseaux une imitation mécanique. Il conçoit et il dessine des machines volantes, proches de l’avion, de

l’hélicoptère et du parachute. Mais il comptait sur l’énergie musculaire pour faire tourner le rotor, ce qui jamais suffi.

Au XVIIème siècle, le philosophe Descartes ne croit pas trop que l’homme puisse voler par ses propres moyens. Il pense que l’homme n’est pas assez fort et ne dispose pas de moyens assez puissants pour s’élever dans les airs : il faudrait des ressorts trop subtils et tous ensemble trop fort pour être fabriqués par des hommes.

Les chercheurs du XVIIIème siècle s’orientent dans deux directions qui vont progressivement se combattre. En 1782, Lalande et quelques savants de l’époque démontrent avec beaucoup d’autorité et de fatuité, preuves à l’appui, qu’il est impossible qu’un homme puisse s’élever dans les airs et s’y maintenir. Mais l’année suivante, le 19 septembre 1783, les frères Montgolfier feront la démonstration du contraire.

Le 26 Avril 1784, les Français Launoy et Bienvenu font voler devant l’Académie royale des sciences un petit modèle très simple mu par un mécanisme de ressort à arc qui anime deux hélices contrarotatives en forme de plumes d’oiseau [4]. L’effort se poursuit jusqu’à ce que le pilote français Paul corné réussisse une autre expérience et décolla en 1907 avec un hélicoptère de 260 Kg.

Les vrais développements de l’hélicoptère ont été apportés par les militaires après la deuxième guerre mondiale vu l’importance tactique de cet engin dans les combats. Son rôle devient de plus en plus important au milieu des années cinquante avec l’apparition des premiers modèles propulsés par des turbomoteurs ce qui leur donne une grande souplesse et une forte puissance. Au début des années quatre-vingts d’autres perfectionnements viennent s’ajouter comme le pilote automatique. Aujourd’hui, l’hélicoptère est devenu un moyen de transport vital dans tous les domaines [2].



Figure II-1. Chronologie historique de l'hélicoptère [5]

II-3. La force aérodynamique totale

II-3-1. La circulation de l'air autour d'une pale

La force aérodynamique totale résulte du flux d'air circulant sur et sous la pale. L'endroit où se divise le flux d'air en deux est appelé le point d'impact :

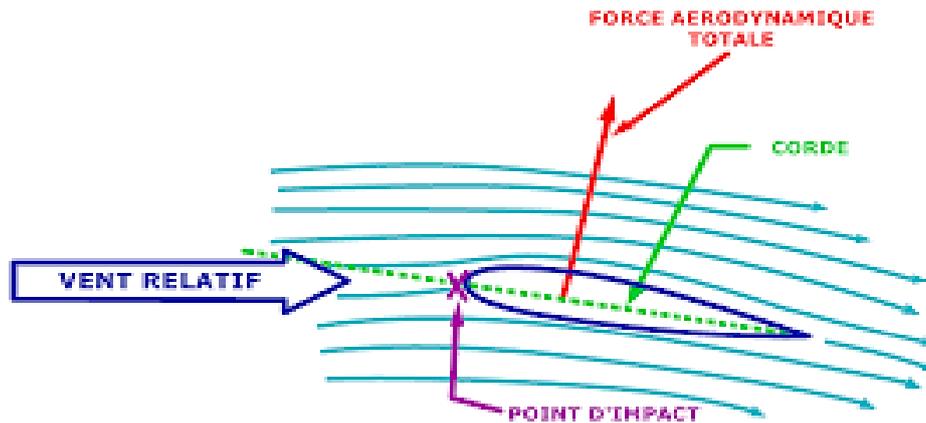


Figure II-2 Flux d'air autour d'une pale [6]

Le schéma ci-dessus illustre la circulation de l'air autour d'une aile. A l'extrémité de la pale le flux d'air est dévié vers le bas. Or, d'après la troisième loi de Newton, toute action provoque une réaction égale et opposée. Ainsi une force égale et opposée agit sur l'aile et s'ajoute à la force aérodynamique.

Cette force est créée par l'air circulant au-dessus de l'aile. D'après le principe de Bernoulli, la forme de l'aile provoque une zone de basse pression sur la surface supérieure. Cette baisse de pression engendre une force dirigée vers le haut. De plus, la différence de pression entre les surfaces supérieure et inférieure, bien qu'elle soit très faible (de l'ordre d'un pour cent 1%), ajoute une force montante non négligeable

Étant donnée la surface d'une pale. Ainsi la surface de la pale joue également un rôle important. [7]

II-3-2. Définition de la force aérodynamique totale

La force aérodynamique totale (aussi appelée force résultante) qui est la somme des forces décrites précédemment, peut être divisée en deux : la traînée et la poussée. La poussée agit dans une direction perpendiculaire au vent relatif, et la traînée est une force résistante qui s'oppose au mouvement de l'aile dans l'air. La traînée est parallèle à la direction de la vente relative [7].

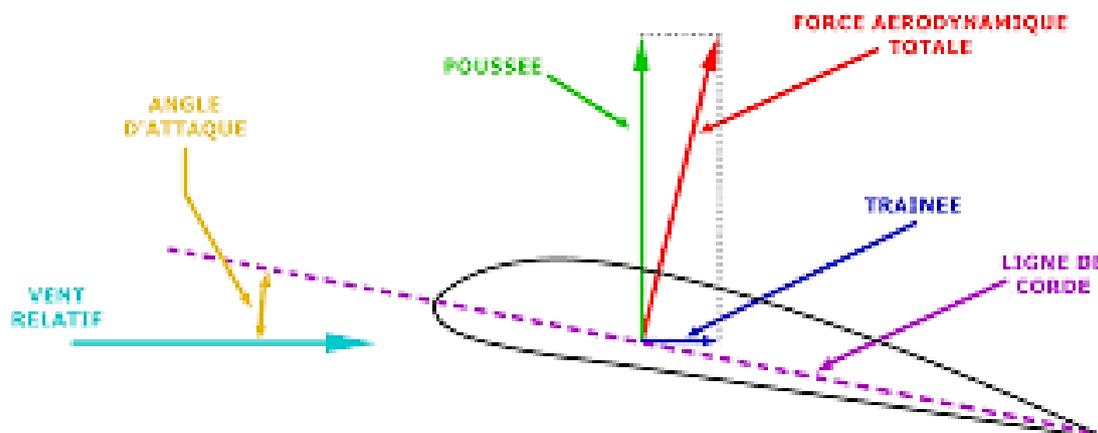


Figure II-3 Forces agissantes sur une pale [7]

II-3-3. Autres facteurs agissant sur la poussée

De nombreux facteurs contribuent à la poussée de l’hélicoptère. Une augmentation de vitesse entraîne une poussée plus importante car la différence de pression produite entre les surfaces supérieure et inférieure augmente. La poussée n’évolue pas de manière proportionnelle à la vitesse. Ainsi, une pale tournant à 900 km/h produit 4 fois plus de poussée qu’une pale tournant à 450 km/h.

Plus l’angle d’attaque est important, plus la poussée est importante jusqu’au décrochage (lorsque l’angle devient trop important, la portance étant réduite, l’hélicoptère peut ne plus être tenu en l’air). La forme et la surface d’une pale sont donc deux facteurs essentiels qui détermineront la poussée et la traînée produites. Tout changement de conception de ces éléments aura une conséquence directe sur le vol de l’appareil. De plus, l’augmentation de poussée provoque généralement une augmentation de traînée. D’où l’intérêt de concevoir une pale ayant le meilleur rapport poussée / traînée. [8]

II-4. Les composants d’un hélicoptère

L’hélicoptère se compose d’un fuselage constitué du poste de pilotage, d’un réservoir D’énergie, d’un moteur et d’un train d’atterrissage pour faciliter les manœuvres au sol. Le fuselage est la partie de l’hélicoptère qui représente la masse la plus significative du Système et l’énergie cinétique de rotation la plus faible. Un ou plusieurs rotors fournissent la force nécessaire à l’avancement. Pour un hélicoptère à deux rotors, le rotor principal génère la force de sustentation et permet à l’hélicoptère de décoller et de se maintenir à une certaine hauteur. Le rotor de queue sert à produire le couple qui annule le couple de réaction généré.

Lors de la rotation des pales du rotor principal et qui ferait faire des rotations du fuselage si le rotor d’anti-couple n’existait pas. La portance est produite par la rotation des pales du rotor Principal. Pendant le vol, l’hélicoptère peut voler vers l’avant à partir d’une vitesse d’avance nulle, il peut aussi voler vers l’arrière.

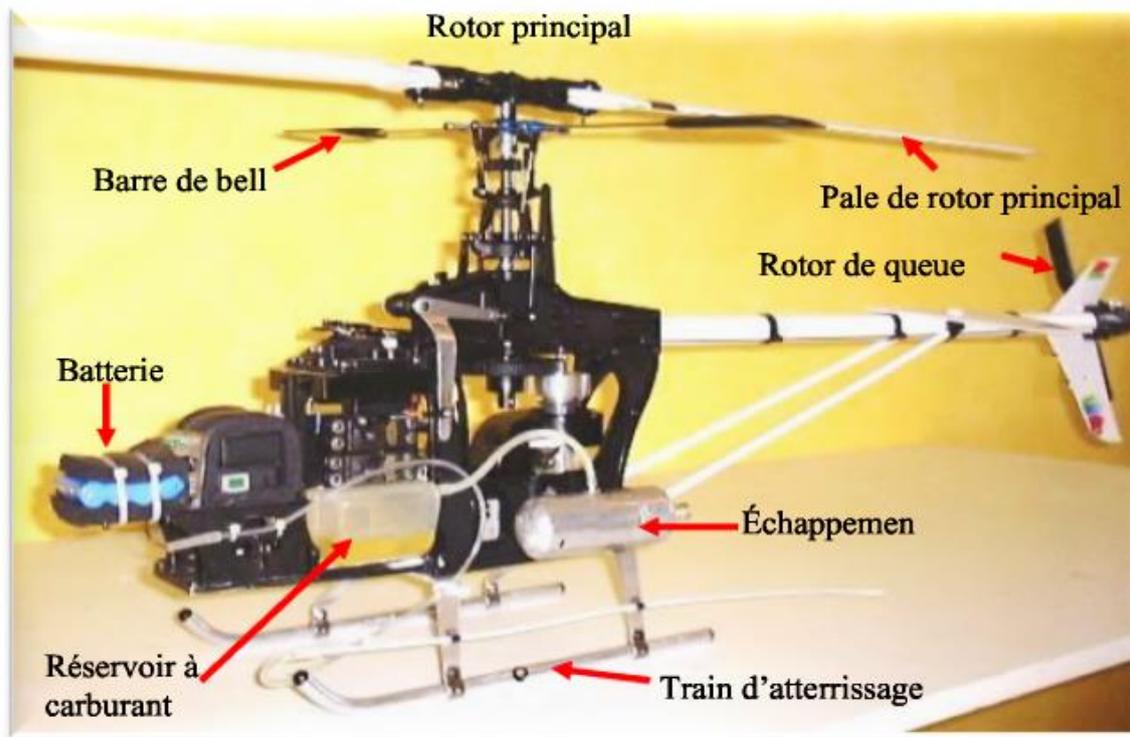


Figure II-4. Les différentes parties d’un hélicoptère [9]

Afin de mieux comprendre le fonctionnement de l’hélicoptère, un bref rappel sur des éléments constituant l’hélicoptère s’impose. En général, un hélicoptère se compose essentiellement de :

II-4-1. Rotor principal

Le rotor est un ensemble de pièces mécanique complexes, il existe plusieurs types de rotors, les plus connus sont le rotor rigide et le rotor articulé. Le rotor principal d’un hélicoptère est dit :

- **Rigide** : quand le battement, la trainée et la variation du pas des pales sont réalisés par torsion grâce à l’emploi des matériaux composites souples.
- **Articulé** : lorsque l’articulation de battement, de trainée et de pas sont constituées par des axes mécaniques.

Par ailleurs, il existe un troisième type de rotors qui est le rotor sans articulation à pales souples, un tel rotor se place entre le rotor parfaitement articulé et le rotor parfaitement rigide.

Le rotor est donc constitué de deux ou plusieurs pales tournant autour d’un axe vertical, dans un plan perpendiculaire à cet axe. Chaque pale de rotor doit être assimilée à une aile. Pour être efficace, la pale doit présenter les mêmes caractéristiques, c’est-à-dire être définie par son bord d’attaque, son bord de fuite et sa corde (**Fig II.5**).

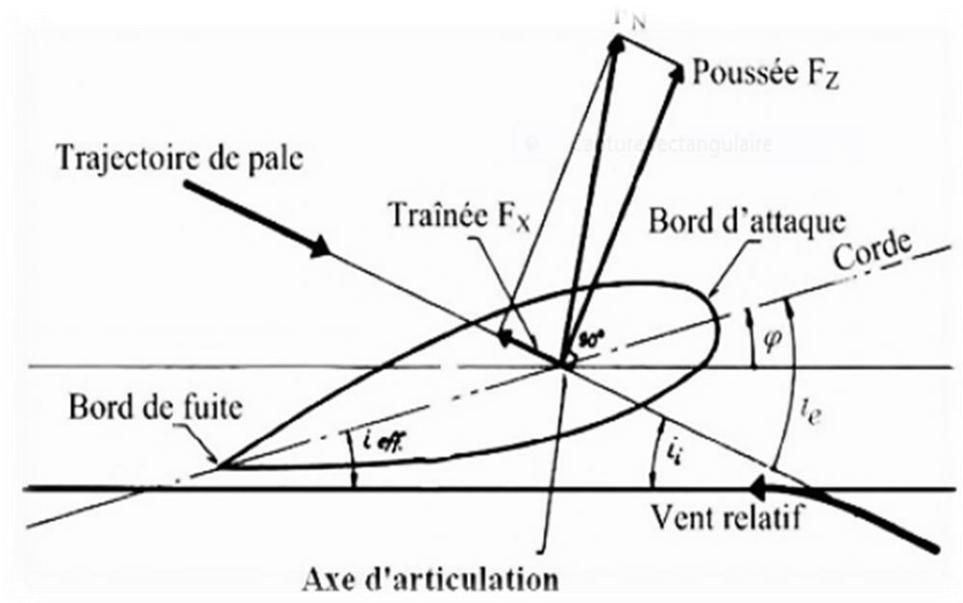


Figure II-5. Profil d'une pale d'hélicoptère [9]

Les pales d'un même rotor sont en principe fixées sur un « moyeu » par l'intermédiaire de « fusées ». Le moyeu à son tour est relié directement à « l'arbre » ou mat du rotor (**Fig II.5**).

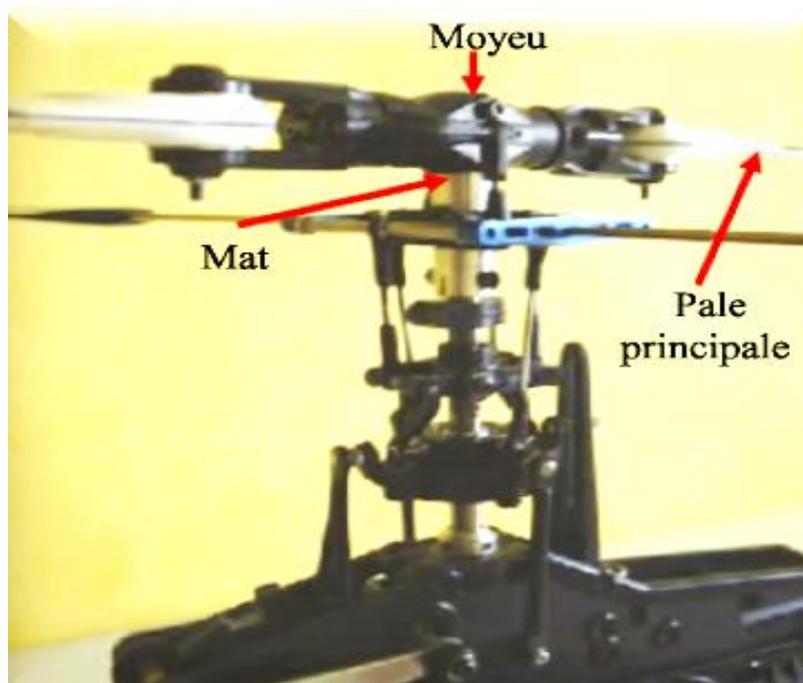


Figure II-6. Moyeu et mat du rotor principal [9]

Chaque élément de pale supporte une force aérodynamique élémentaire (poussée et trainée). La résultante de toutes ces forces élémentaires correspond, pour une pale complète à une force aérodynamique appliquée au centre de poussée. En tournant autour de leur axe vertical de rotations, les pales décrivent, sur un plan perpendiculaire, un cercle appelé le Disque Rotor. [9]

II-4-2. Rotor anti-couple (Queue)

Dans un hélicoptère bi-rotor, le fuselage est soumis à des couples d'entraînement dus à la rotation du rotor principal. Afin de maîtriser ce couple, un rotor est installé au niveau de la queue d'hélicoptère. Ce dernier tournant dans le sens contraire du rotor principal, sur le même axe tournant en sens inverse l'un de l'autre, il permet donc à la fois d'annuler le couple de réaction du rotor principal et de contrôler l'appareil sur son axe de lacet.

L'hélicoptère est constitué d'autres organes importants qui sont toujours le siège d'études et de perfectionnement comme le fuselage, moteur et boîte de transmission. Pour notre exposé seulement les deux rotors sont à retenir [10].

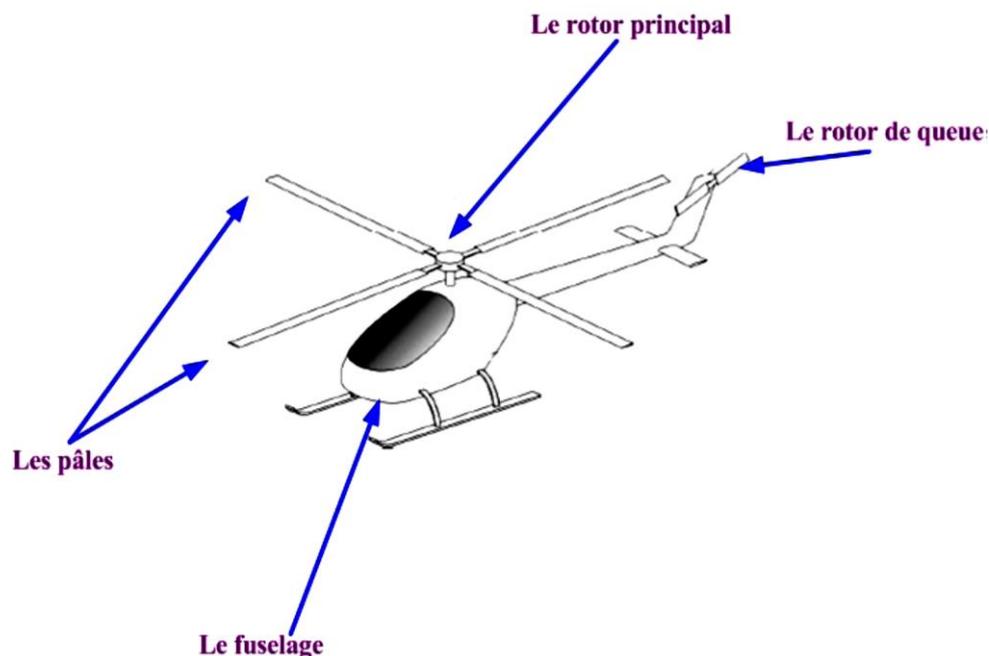


Figure II-7. Rotor anti couple

II-4-3. Les articulations de pale

Comme montré sur la (figure II.8), ces articulations sont au nombre de trois :

- Articulation de battement : elle permet le mouvement de la pale dans un plan perpendiculaire au plan initial du disque rotor (**fig. II.8a**). L’angle β est défini comme l’angle entre la pale et le plan de référence.
- Articulation de traînée : elle contre les efforts de flexion liés au couplage entre l’articulation de battement et la rotation du rotor. On note δ l’angle entre la pale et sa position avant le mouvement de traînée (**fig. II.8b**).
- Articulation de pas : elle permet le contrôle des mouvements de l’appareil (**fig. 1.8c**) en jouant sur les harmoniques θ_0 , θ_{1c} , θ_{1s} de l’angle θ défini par :

$$\theta = \theta_0 + \theta_{1c} \cos(\psi) + \theta_{1s} \sin(\psi)$$

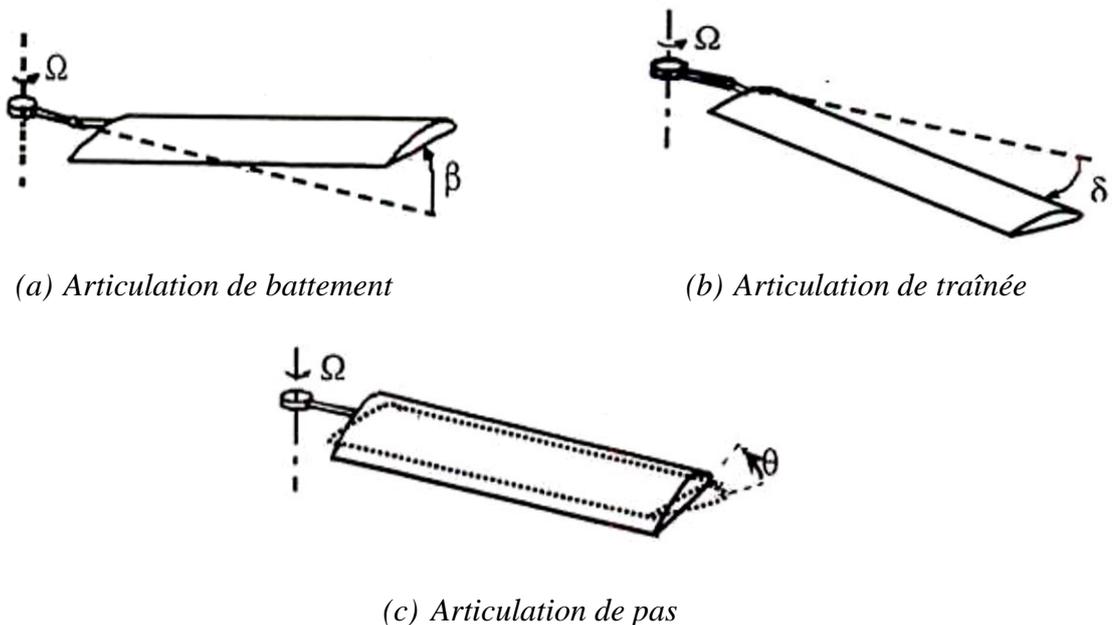


Figure II-8. Les trois articulations de la Pale

Les trois composantes de l’angle θ permettent le contrôle de la force de traction issue de la rotation des pales aussi bien en direction qu’en intensité. En effet, d’une part, l’angle de pas collectif θ_0 permet de modifier l’incidence globale des pales de façon constante au cours de la rotation, ce qui modifie l’intensité de la traction. D’autre part, les angles de pas cyclique longitudinal θ_{1c} et latéral θ_{1s} permettent une variation cyclique de l’incidence. Ceci a pour effet d’incliner le disque rotor et ainsi l’orientation de la traction. La force de traction – FN peut se décomposer sous la forme :

- ✓ D’une force de sustentation FS qui permet de compenser le poids de l’appareil et ainsi le contrôle du mouvement vertical.
- ✓ D’une force de propulsion FP qui s’oppose à la traînée de l’appareil et permet le mouvement de translation [11].

II-4-4. Le plateau cyclique :

L’importance de cette partie de l’hélicoptère est telle qu’elle lie la partie immobile (cellule de l’hélicoptère) et le rotor en mouvement. Le plateau est principalement composé de deux demi-plateaux superposés :

- ✓ La couronne fixe qui coulisse autour de l’axe du mât du rotor.
- ✓ La couronne mobile qui est solidaire du rotor.

Des biellettes de pas fixées sur le demi-plateau supérieur sont reliées chacune à une pale pour faire varier leur angle d’incidence, selon l’action du pilote sur les commandes cycliques et des compas mobiles fixés sur le moyeu rotor entraînant le plateau en rotation. Un compas fixe est fixé sur le plateau inférieur dans le but d’empêcher la rotation autour de l’axe rotor.

L’effet gyroscopique est un problème qui s’applique aux pales de l’hélicoptère, c’est-à-dire que ces dernières résistent aux changements de leur orientation. On doit donc appliquer l’incidence requise sur la pale 90° avant le point d’application de l’incidence souhaitée pour que celle-ci prenne la position désirée.

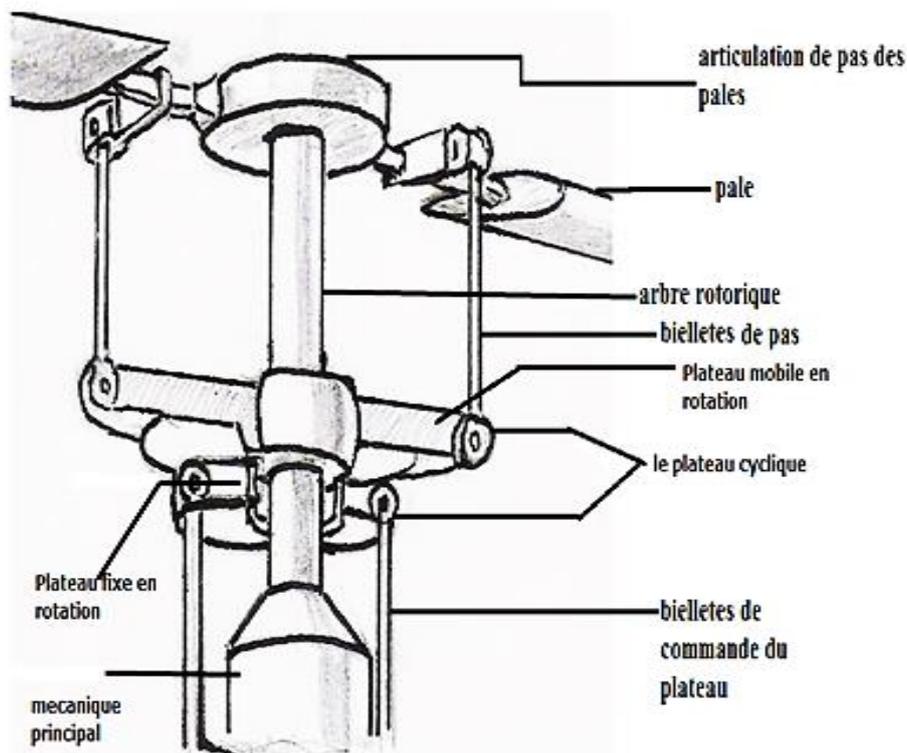


Figure II-9. Schéma du principe de fonctionnement d’un plateau cyclique [11]

II-5. Principe de fonctionnement

Le principe simplifié de fonctionnement d’un hélicoptère est le suivant. Pour assurer la sustentation, l’hélicoptère, comme l’avion, utilise l’effort aérodynamique produit par le déplacement relatif de leur voilure dans la masse d’air environnante. Cependant, alors que

l’avion doit pour cela être en mouvement par rapport au sol car sa voilure est fixe par rapport à l’appareil, l’hélicoptère quant à lui peut produire cet effort sans mouvement relatif par rapport au sol. En effet, la sustentation d’un hélicoptère naît de la portance aérodynamique des pales voir (**Figure II.10**) mises en rotation par l’arbre du rotor principal.

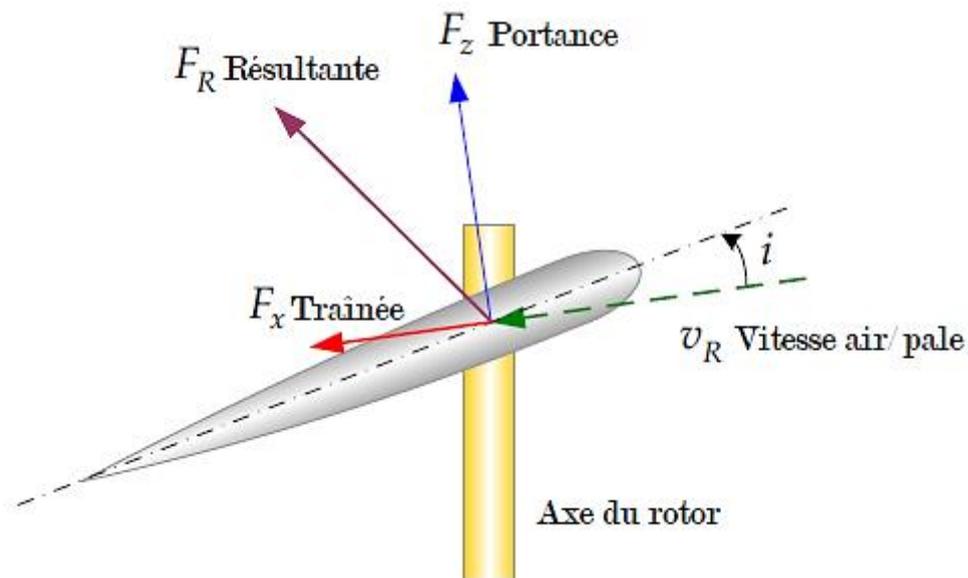


Figure II-10. Efforts aérodynamiques appliqués à une pale [12]

Le rotor constitue donc l’organe essentiel de l’hélicoptère : il permet d’assurer la sustentation et la propulsion de l’appareil comme on peut le voir sur la (Figure II.10). Sa spécificité repose sur la liaison entre les pales et le moyeu constituée chacune de trois rotations. L’articulation de pas qui correspond à la rotation propre de la pale autour de son axe longitudinal est commandée par le pilote. Elle permet le contrôle de la portance du rotor. Les deux autres articulations appelées trainée et battement sont liés aux efforts aérodynamiques appliqués à la pale dans son mouvement.

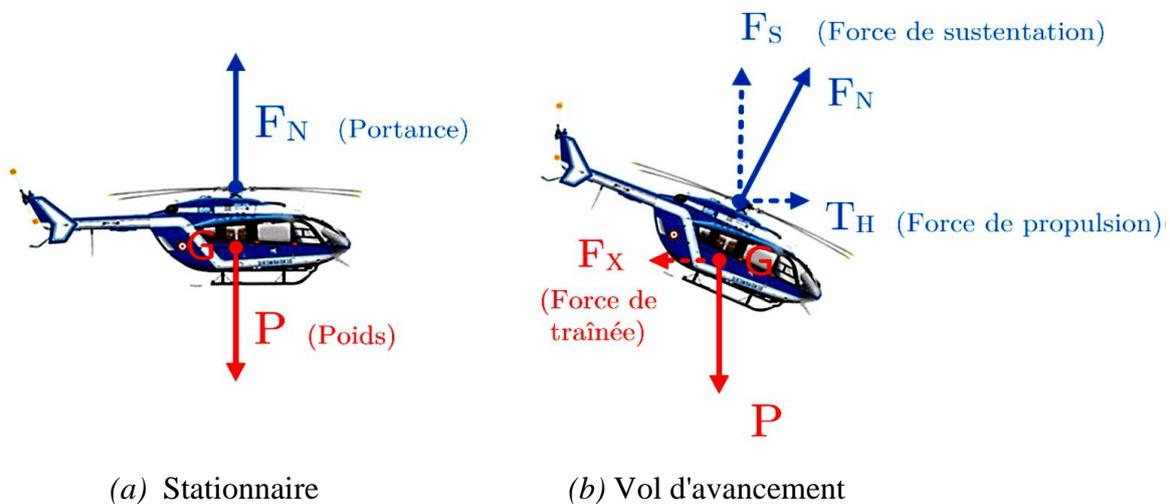


Figure II-11. Les deux types de vols de l’hélicoptère [5]

En vol stationnaire, les pales balaient un disque rotor horizontal. La poussée engendrée compense alors le poids.

En vol d’avancement, le disque rotor est incliné vers l’avant et génère alors une poussée dont la composante verticale équilibre le poids et la composante horizontale équilibre la traînée aérodynamique du véhicule.

Pour contrer le couple créé par le rotor de sustentation sur le fuselage, la majorité des hélicoptères utilise un rotor anti couple. Cependant, d’autres architectures existent comme les bi-rotors contrarotatifs placés sur le même axe, sur deux axes convergents, en tandem ou sur les côtés.

Ce principe de fonctionnement de l’appareil suppose donc la mise en rotation de nombreux éléments ayant de fortes inerties qui sont sources de vibrations et de bruits. Depuis tout temps et encore aujourd’hui, un effort considérable est fourni pour parvenir à réduire ces vibrations qui constituent l’un des handicaps majeurs de ce type d’aéronefs, tant pour la tenue mécanique de ses composants que pour le confort de son équipage [12].

II-6. Le système d’alimentation électrique de l’hélicoptère

Se compose des systèmes primaires et secondaires, ainsi que le système d’alimentation à partir des sources d’alimentation au sol.

Le système d’alimentation électrique primaire est représenté par le système de génération du courant alternatif triphasé 115/200 V 400 Hz. Deux alternateurs ТГ40ПЧ8В (TG40PCH8V) sont les sources d’alimentation électrique du système. Le système de génération se compose de deux canaux fonctionnant séparément. La puissance nominale du système est de 80 KVA. En cas de panne du système de génération dans l’ensemble, l’alimentation des consommateurs nécessaires pour l’achèvement du vol et l’atterrissage en sécurité est assuré par à partir des sources d’alimentation de secours. La durée de vol en cas de panne du système d’alimentation électrique primaire n’est possible que durant 20 à 25 minutes, les batteries d’accumulateurs et le générateur

Les moteurs ne fonctionnant pas, l’alimentation du réseau de bord au sol est effectuée en tension alternative triphasée 115/200 V 400 Hz à partir du groupe électrogène au sol.

Le pilote automatique à quatre Booster assure la stabilisation automatique de l’hélicoptère pendant le vol en roulis, en cap, en tangage, en altitude et en vitesse. Le pilote automatique représente un dispositif percevant l’information sur le changement des positions angulaires de

l'hélicoptère, sur la variation de l'altitude barométrique et de la vitesse aérodynamique de l'hélicoptère et possède quatre boosters indépendants [13], [14].

II-7. Conclusion

Dans cette brève introduction, on a présenté les principales composantes d'hélicoptère et son principe de fonctionnement. Nous avons laissé la description du système de guidage au prochain chapitre. Un système de guidage d'un hélicoptère est aussi appelé la servocommande hydraulique. Le sous-système le plus important dans cette chaîne fonctionnelle, est le Booster qui va être l'axe centrale du prochain chapitre.

Chapitre 3 :
Description
technologique du
système hydraulique
BOOSTER

CHAPITRE III – DESCRIPTION TECHNOLOGIQUE DU SYSTEME HYDRAULIQUE BOOSTER

III-1. Introduction

De nombreuses applications mobiles, aéroportées et stationnaires utilisent des composants de commande hydrauliques et des servocommandes. Les servocommandes peuvent générer des forces très élevées, présenter des réponses rapides et avoir un rapport puissance/poids élevé par rapport aux autres technologies. D'autre part, la description du système hydraulique hélicoptère et le fonctionnement du système boosters.

III-2. Principes de la servocommande d'un hélicoptère

Dans un hélicoptère on trouve quatre (04) commandes de vol standards. Chaque action sur une commande génère une réaction qu'il faut éventuellement corriger avec une ou deux des commandes restantes. Le pilote possède trois (03) systèmes principaux de commande qui agissent tous sur l'angle des pales (le pas des pales), soit celles du rotor principal ou du rotor anti-couple. On cite les commandes standards suivantes [15] :

- La commande de pas cyclique.
- La commande de pas collectif.
- La commande de palonniers.

L'angle d'attaque d'une pale correspond à l'angle que fait la pale par rapport à la direction de l'air circulant sur les pales. Si l'angle est trop grand c'est le décrochage.

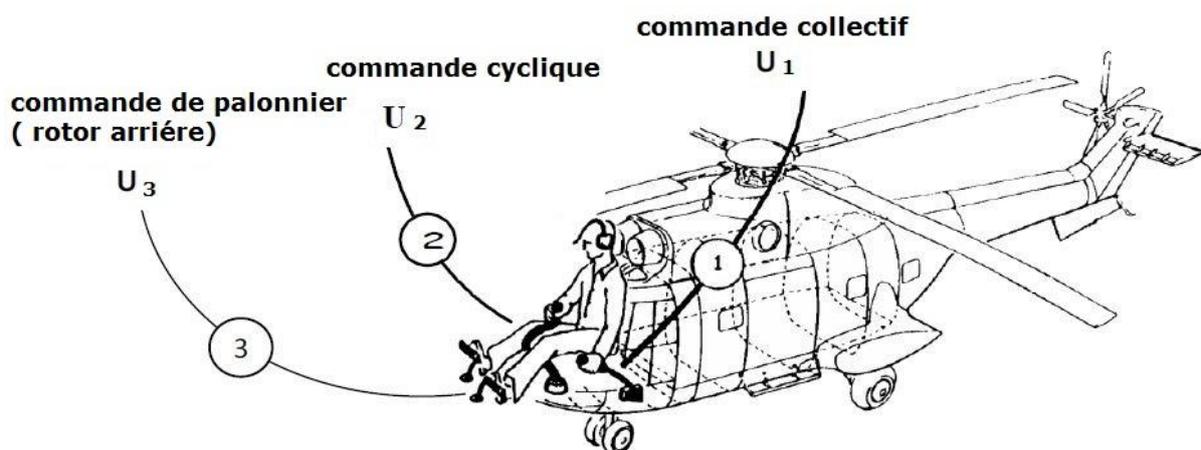


Figure III-1. Les commandes principales d'un hélicoptère [16]

III-2-1. La commande de pas cyclique

- La commande de pas cyclique affecte l'angle de chaque pale de rotor individuellement, à différents points au cours d'une révolution de 360°. L'angle de chaque pale individuelle augmente au cours de la première moitié de chaque révolution, puis diminue au cours de la seconde moitié. Le pas le plus prononcé des pales génèrent davantage de portance au cours d'une partie de la révolution, ce qui entraîne les pales à battre plus haut. Lors du reste de leur révolution, les pales ne s'élèvent pas autant parce que l'angle des pales et la portance est moins prononcé.
- Le résultat de ce changement est que l'ensemble du disque du rotor adopte une nouvelle inclinaison. Cela modifie effectivement la direction de la poussé, permettant au pilote de prendre de la vitesse vers l'avant, de donner une inclinaison latérale à l'appareil ou de modifier son assiette.

Vous ne pouvez incliner le disque du rotor que jusqu'à un certain point. Une fois que l'angle d'attaque est trop grand, les pales ne génèrent plus assez de portance, c'est ce que l'on appelle le décrochage [15].

III-2-2. La commande de pas collectif

- La commande de pas général ou collectif est le manche qui se situe sur le côté gauche du pilote, qui est assimilable à un frein à main, mais qui a une tout autre fonction. La commande de pas collectif change l'angle des pales du rotor " collectivement ".
- Cela signifie que toutes les pales sont affectées en même temps par la même quantité. Le pas des pales reste constant pendant chaque révolution de la pale, c'est ce que l'on appelle un changement statique. Le fait d'accroître l'angle des pales ou d'augmenter le pas collectif, augmenter le pas collectif, augmentent la portance. Le fait de diminuer l'angle des pales ou de réduire le pas collectif, réduit la portance. Lorsqu'un pilote augmente le pas collectif, l'hélicoptère monte à la verticale. Mais s'il augmente trop le pas collectif, l'angle des pales peut devenir trop fort et créer en fait de la trainée au lieu de crée de la portance. Le fait de réduire le pas collectif entraîne une diminution de la portance et résulte en une descente progressive.
- Lorsque le pilote l'actionne, cela a pour conséquence d'augmenter le flux d'air qui traverse le rotor, c'est comme cela que naît la portance [17].

III-2-3. La commande de palonniers

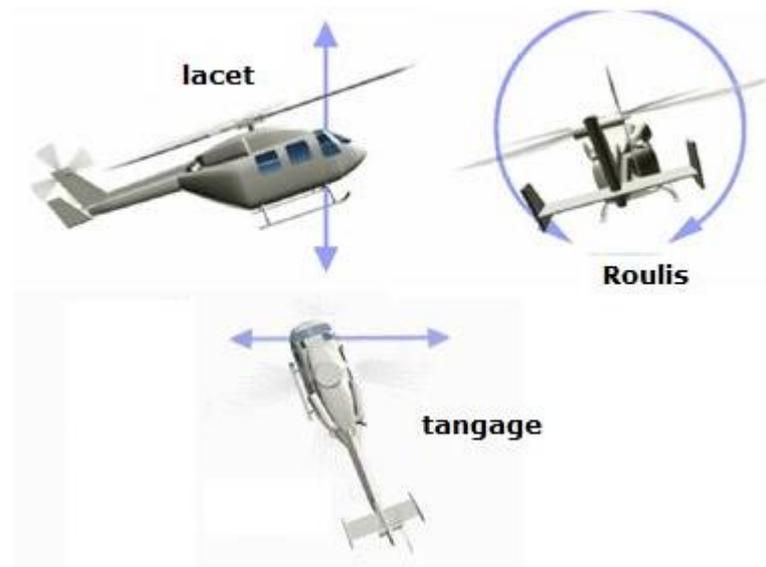
- Le rotor anti-couple contrôle la direction dans laquelle est pointé le nez de l'appareil. Cette direction peut être différente du cap de la trajectoire de l'hélicoptère. Les pilotes utilisent surtout les pédales pour faire tourner l'hélicoptère pendant un vol stationnaire. Cependant les pédales sont également utilisées en conjonction avec le manche de pas cyclique pour effectuer un virage serré à faible vitesse. A vitesse élevée, les pédales ne font plus guère d'effet.
- Le pas des pales du rotor d'anti-couple est tel que, lorsque les pédales sont au neutre, les pales produisent juste assez de portance pour compenser le couple produit par le rotor principal. Lorsque le pilote pousse les pédales d'un côté ou de l'autre, il change le pas de toutes les pales du rotor anti-couple.
- C'est identique à la manière dont le manche de pas collectif contrôle le pas des pales du rotor principale. En appliquant plus de pression sur la pédale de droit, vous faites tourner le fuselage de l'hélicoptère vers la droite. En appliquant davantage de pression sur la pédale de gauche, vous réduisez le pas collectif vous faites tourner l'hélicoptère vers la gauche [17].

III-2-4. Commandes de vol électriques de l'hélicoptère

- Les commandes de vol électriques consistent à transmettre les commandes des pilotes grâce à des signaux électriques jusqu'aux actionneurs via des calculateurs de contrôle de vol. Pour cela, il est important de conserver les interfaces pilotes (manches et pédaliers) et les interfaces d'actionnement mais de réaliser un « re-engineering » de la fonction complète. En effet, l'ensemble des couplages de commandes de vol et limites des lois de pilotage sont intégrés dans le calculateur et peuvent donc être plus facilement modifiés. Ceci conduit donc à une fonction réalisée de manière plus adaptée à l'appareil induisant de meilleures qualités de vol en termes de stabilité et facilité de pilotage.
- Paradoxalement, malgré les problèmes de stabilité de mécanique du vol hélicoptère, en comparaison des caractéristiques aérodynamiques avions – plus stables – l'installation de commandes électriques sur avion est une solution banalisée, des avions militaires aux avions civils, alors que cette technologie reste marginale dans le monde hélicoptère. La difficulté de

transposition de la technologie d'actionneurs du monde avion au monde hélicoptère provient essentiellement du fait qu'il n'y a pas de redondance d'actionnement possible sur hélicoptère, et qu'en surcroît les actionneurs hélicoptère sont dans un environnement très sévère. Ceci revient à considérer les technologies actuellement mise en œuvre dans un contexte avion à la lumière des contraintes particulières du contexte hélicoptère [18].

○



○

Figure III-2. Les trios types de commandes [19]

III-3. Description de la servocommande

Le système de commande du rotor principal (Figure III.3) comprend les systèmes de commande de l'incidence de pas collectif et de pas cyclique du rotor, tous les changements de pas des pales sont déclenchés par le pilote à travers les mouvements du manche de commande de pas cyclique et de pas collectif.

Avec des doubles commandes, les commandes de pas cyclique et de pas collectif du copilote sont reliées mécaniquement aux commandes du pilote.

Les commandes sont transférées via un levier combinateur de pas, le plateau cyclique et les liaisons de pas rotatifs sont transférées par une série de guignols et de bielles de commandes aux pales du rotor principal installées sur la tête de rotor principal.

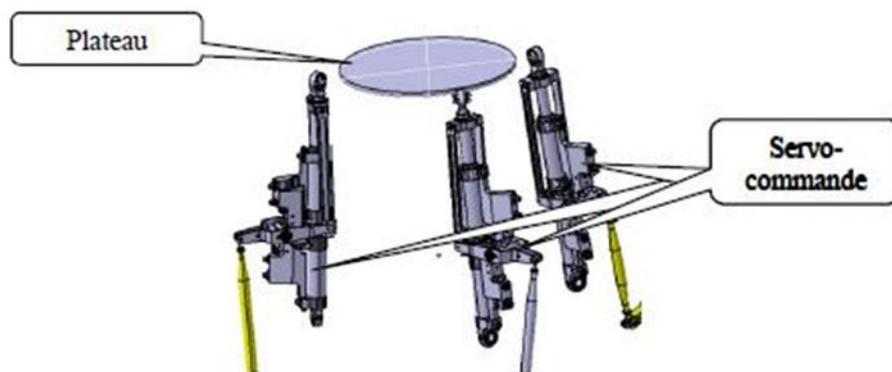


Figure III-3. Plateau cyclique et servocommande [20]

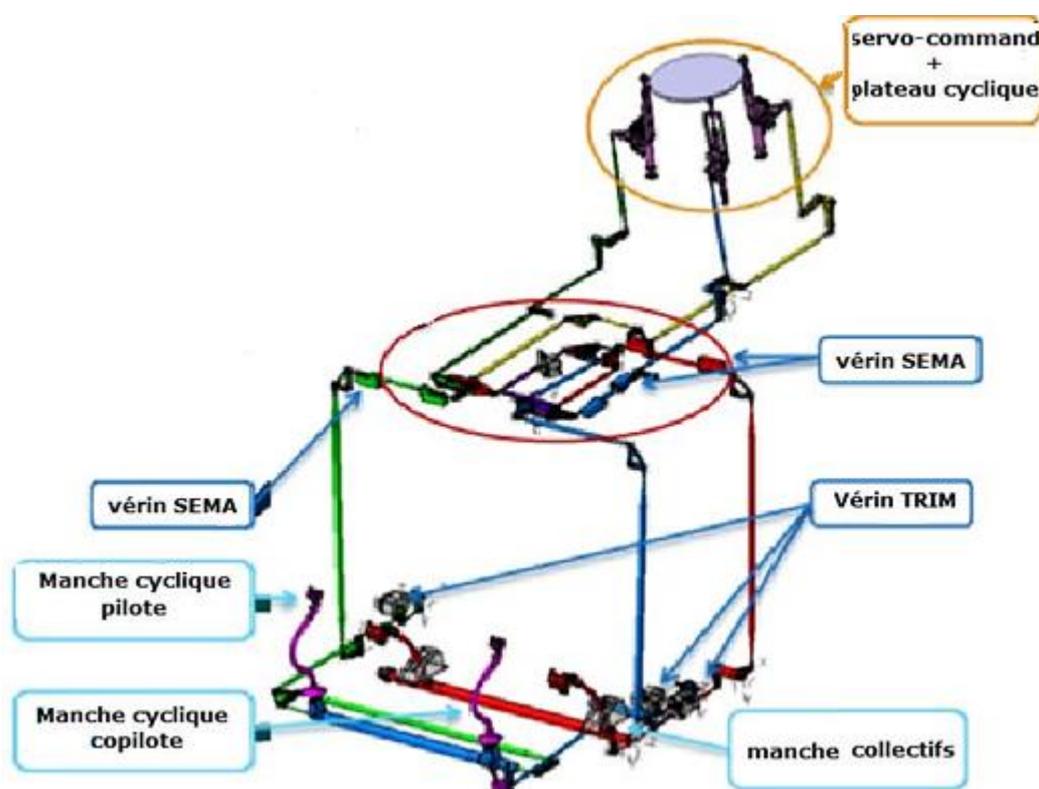


Figure III-4. Organes composant une chaîne de commande de vol [20]

III-3-1. Généralités sur le système hydraulique Booster

Le circuit hydraulique assure le fonctionnement des boosters à partir de système hydraulique principal qui fonctionne de la manière suivante :

L'huile hydraulique du réservoir arrive à la pompe hydraulique par la ligne d'aspiration à partir de la pompe, l'huile arrive sous pression via le clapet anti-retour au robinet de commutation qui possède deux positions. Le système hydraulique est constitué d'un système principal et d'un système auxiliaire.

Les groupes et les tuyauteries du système hydraulique principal sont doublés par des groupes et des tuyauteries du système hydraulique axillaire excepté les groupes de commutation des servocommandes à la commande de l'hélicoptère par pilote automatique, les groupes de mise en marche de l'amenée du liquide vers les vérins hydrauliques de commande du plateau à friction de bouton.

En 1er position l'hydraulique passe à travers la soupape automatique de décharge de la pompe, tarée de pression de 45 ± 3 jusqu'à 62 à 73 kg/cm² et l'accumulateur hydraulique atteint la valeur 73 kg/cm² l'automate de décharge déconnecte la pompe par rapport à l'accumulateur puis la connecte au réservoir.

La pompe hydraulique fonctionne sous pression provoquée uniquement par la résistance du liquide dans la partie de canalisation où circule le liquide.

Dans le cas de la pression de l'huile dans l'accumulateur, suite à sa consommation les boosters en fonctionnement, diminue jusqu'à 42 kg/cm² l'automate de décharge déconnecte la pompe par rapport au réservoir et la branche de l'accumulateur hydraulique.

En cas de panne de fonctionnement de la soupape de sûreté tarée sur 55-78 kg/cm² et installée dans le même boîtier, se déclenche.

Si le robinet de commutation est en 2eme position l'huile hydraulique passe à travers le clapet de sûreté dans ce cas, l'accumulateur sert à la douceur des pulsations du liquide dans le système ensuite l'hydraulique passe à travers le filtre, et le robinet d'isolement à la tubulaire amenée du système principale de l'accessoire. Dans ce cas les boosters sont en commande manuelle. Lors du branchement du robinet de coupure l'hydraulique pénètre dans la tubulaire du pilote automatique et les boosters fonctionnent en régime de commande combinée [19] [20].

III-3-2. Principe de fonctionnement du système hydraulique d'un hélicoptère

Cet hélicoptère est équipé d'un seul circuit hydraulique.

Afin de réduire les efforts au niveau des commandes de pas général, de pas cyclique et du palonnier, les commandes de vol sont assistées hydrauliquement. Il y a quatre servocommandes à simple tiroir sur le rotor principal, ainsi qu'une servocommande à simple tiroir de rotor arrière pour la commande en lacet (3). Le durcissement des commandes dans le cadre de cet exercice, ce n'est pas une panne. Chaque servocommande du rotor principal est équipée d'un boîtier de sécurité

(Accumulateur) qui permet, en cas de perte de pression hydraulique dans le circuit, de prolonger l'assistance hydraulique pour une durée limitée. Cette durée est Suffisante pour

permettre au pilote d'atteindre un régime de vol pour lequel les efforts en retour sur les commandes sont acceptables sans assistance hydraulique.

Le rotor arrière anti couple est équipé, en plus de sa servocommande, d'un système de compensation d'effort qui permet de réduire les efforts en retour sur les palonniers, sans limitation de durée en cas de perte de pression hydraulique dans le circuit.

Le circuit hydraulique est commandé au moyen de deux interrupteurs, actionnés lors des vérifications avant vol, des procédures d'urgence ainsi que pour l'exercice de panne hydraulique :

L'interrupteur de coupure hydraulique, monté sous cache sur la commande de pas général. Il a deux positions MARCHE (ON) et ARRET (OFF). Il reste normalement en position MARCHE. Sur cette position, il permet l'assistance hydraulique aux servocommandes principales lorsque le circuit hydraulique fonctionne normalement. Sur la position ARRET(4), le circuit hydraulique se dépressurise complètement et les accumulateurs des boîtiers de sécurité associés aux servocommandes principales se déchargent simultanément. Le système de compensation d'effort pour le rotor arrière conserve toutefois sa fonction d'assistance.

Le bouton poussoir de test accumulateurs ACCU TST, monté sur le pupitre central.

Il a deux positions TEST (enfoncé) et ARRET (sortie). Il reste normalement en position ARRET. Sur la position TEST(5), il provoque l'ouverture de l'électrovanne associé à l'unité de régulation, ce qui dépressurise le circuit hydraulique. Il ouvre également l'électrovanne de servocommande du rotor arrière, dépressurant le vérin de compensation d'effort pour le rotor arrière. L'assistance hydraulique aux servocommandes principales à partir des accumulateurs associés est conservée pendant un temps limité.

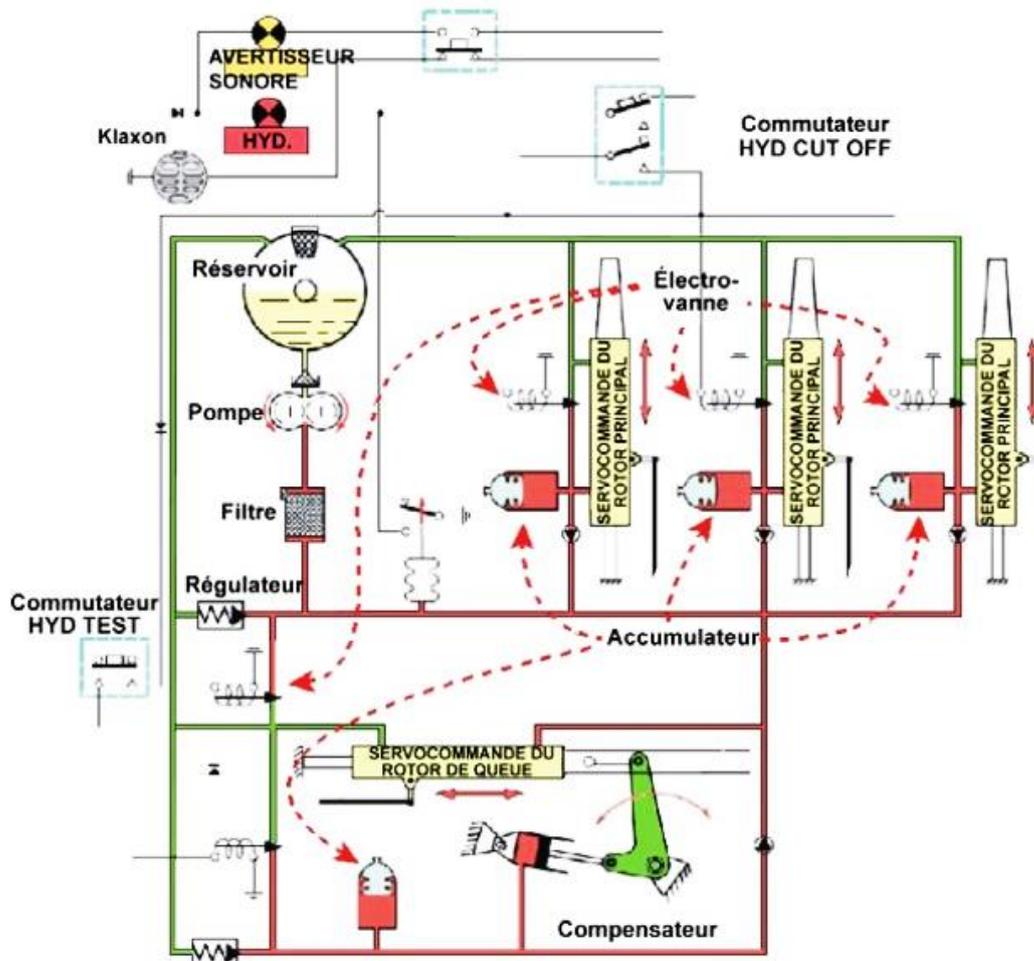


Figure III-5 Schéma détaillé de la servocommande et du système hydraulique [21]

III-4. Destination du Booster

Le groupe KAY-110 (Booster) est installé dans les systèmes de commande longitudinale, transversale et de commande du pas général du rotor principal. Ils permettent d'effectuer la commande combinée – la commande manuelle avec la stabilisation de la valeur des signaux du pilote automatique.

En mode de commande combinée, pour les groupes KAY-110 la gamme de déviation des surfaces des pales du rotor anti-couple est limitée par la valeur de 17% par rapport à la course complète du piston, en fonction des signaux de stabilisation du pilote automatique

Les groupes de servocommande KAY-110 fonctionnent depuis le système hydraulique principal de l'hélicoptère. Si ce système tombe en panne les groupes de servocommande sont automatiquement permutés sur le système d'auxiliaire. En cas de désactivation des deux systèmes hydrauliques, les booster sont automatiquement transformés en tringles rigides du câblage de commande.

III-4-1. Définition

Le Booster est un amplificateur hydraulique de type KAY-110 généralement utilisé pour faciliter les tâches de commande des hélicoptères et aussi est un accessoire principal dans l'hélicoptère.

L'actionneur hydraulique à actionnement du distributeur par amplification hydraulique de la commande, appelé Booster en anglais.

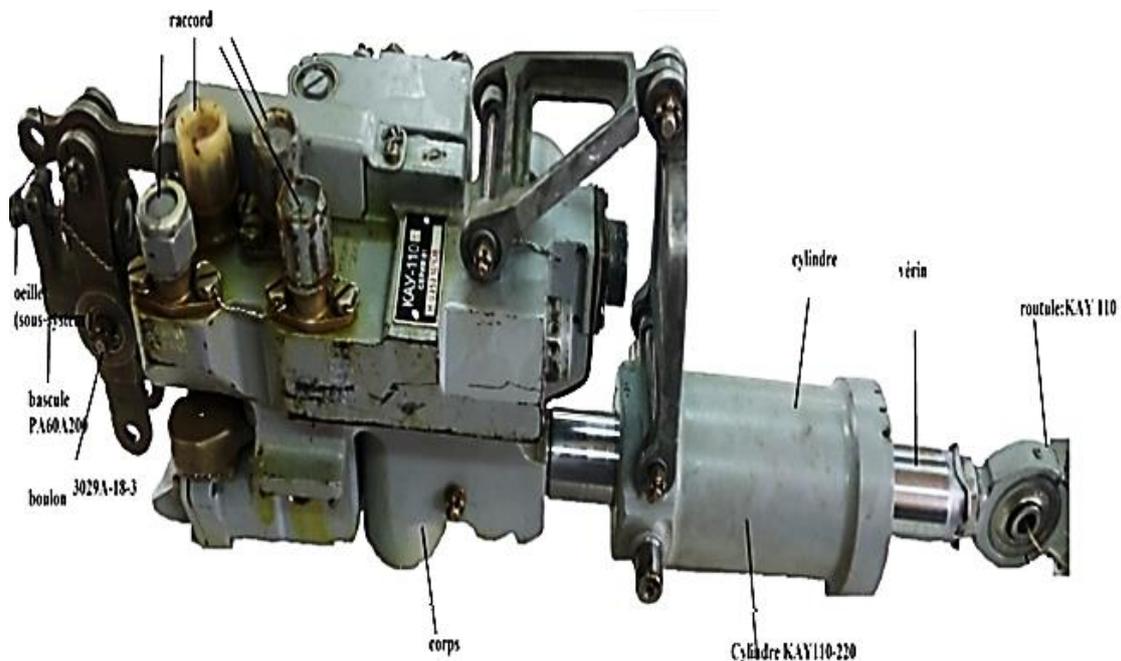


Figure III-6. Photo réelle du système Booster de l'hélicoptère Mi-24

1. Vérin double effet

- Cylindre
- Piston avec segment d'étanchéité
- Deux chambres séparées
- Une tige
- Capteurs fins de course

2. Corps de commande :

- Filtre d'huile hydraulique.
- Soupape de commutation.
- Soupape de réduction pour chuter la pression.
- Partie électrique pour auto-commander le Booster (distributeur électrohydraulique).

III-4-2. Actionneur hydraulique linéaire

Les actionneurs linéaires sont les dispositifs permettant de convertir la puissance des fluides en mouvement linéaire. Ils peuvent être utilisés pour exercer une force, pour tenir ou serrer, et pour déclencher ou arrêter un mouvement. Tous les actionneurs linéaires sont une modification d'un vérin pneumatique ou hydraulique et peuvent être simple ou double effet. Le vérin simple effet reçoit la puissance à une extrémité seulement et est ramené à sa position originale par gravité ou par action du ressort, tandis que le vérin double effet est actionné dans les deux sens. Les vérins à double effet permettent un contrôle plus complet du mouvement. Le vérin est une forme de vérin simple effet dont les tiges de piston ont le même diamètre [22].

Le vérin à double tige est muni d'une tige fixée des deux côtés du piston. Ce type de vérin est monté au centre et est normalement utilisé lorsque la même tâche est effectuée à l'une ou l'autre extrémité sur des cycles décalés. Évidemment, la force et la vitesse seront les mêmes à chaque extrémité, est un système de commande en boucle fermée.

III-4-3. Le rôle

Gère les commandes de vol suivant :

1. Suivant l'axe 'Z' de lacet : la rotation autour de l'axe par une commande située au pied, et appelée palonnier, en le poussant à droite ou à gauche. Le pilote actionne une surface mobile située sur la dérive : la commande de direction.
2. Suivant l'axe 'X' de roulis : une rotation autour permet d'incliner les ailes, cette manœuvre sert à mettre l'hélicoptère en virage.
3. Suivant l'axe 'Y' de tangage : de tangage et provoque la variation correspondante de l'angle de tangage de l'hélicoptère.

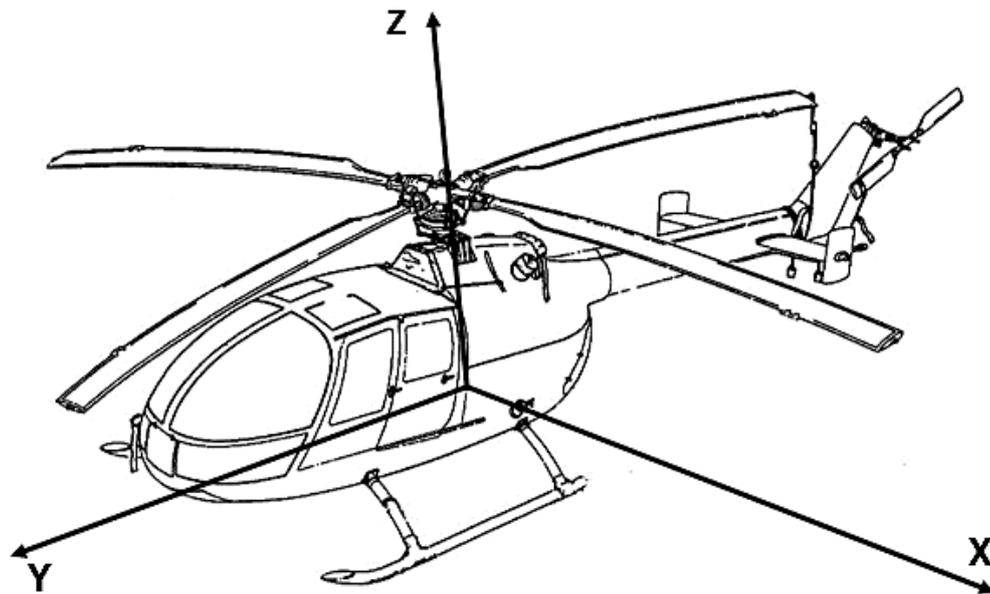


Figure III-7. Présentation des trois axes de commande [[16]]

Commandé les pales de rotor :

- Principale.
- Anti –couple.

Tableau III-1. Déplacements sur les axes

○ Déplacement	○ Action sur
○ Translation sur l'axe z	○ Pas collectif
○ Rotation sur l'axe y	○ Pas cyclique longitudinal
○ Rotation sur l'axe z	○ Rotor anti couple

III-4-4. Choix de l'actionneur hydraulique (Booster)

L'actionneur est l'élément clé du système d'asservissement hydraulique [19].

- Sa taille doit être suffisamment grande non seulement pour supporter les charges attendues pendant le cycle d'utilisation, mais aussi pour assurer la vitesse de charge requise. Il est également important de ne pas surdimensionner les actionneurs afin que le débit requis pour atteindre la vitesse maximale soit maintenu au minimum. Dans le cas contraire, l'alimentation hydraulique devient encombrante avec de grandes pertes de puissance à vide.

- La charge doit être adaptée à la puissance de sortie du système. L'adaptation de la charge utilise efficacement la puissance de sortie de la source hydraulique et améliore les performances du système hydraulique.
- D'autres caractéristiques importantes de performance de l'actionneur, qui peuvent être importantes, sont la vitesse, la portée, la rigidité de la douceur (c'est-à-dire l'absence de variations de vitesse aux vitesses de fonctionnement).
- Fiabilité
- Contrecoup
- Pression nominale
- Coût

III-5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons introduit à la servocommande d'un hélicoptère et au circuit hydraulique responsable de toutes les actions de guidage des pales d'un hélicoptère. Le composant le plus important dans ce circuit est appelé le Booster. Il a été choisi comme élément d'étude dans ce travail. Le prochain chapitre concerne la partie diagnostic et testabilité de ce système Booster au niveau de l'entreprise où on a effectué ce stage. Un banc d'essai utilisé pour ce but sera présenté avec des détails sur les différents modes de fonctionnement du Booster dans le circuit hydraulique d'un hélicoptère.

Chapitre 4 :
Etude de banc d'essai
du Booster disponible
au niveau des ateliers

CHAPITRE IV- ETUDE DU BANC D'ESSAI DU BOOSTER DISPONIBLE AU NIVEAU DES ATELIERS

IV-1. Introduction

Nous allons présenter dans ce chapitre le banc d'essai utilisé pour tester les boosters et les caractéristiques générales ainsi que les différents modes de fonctionnements de ce dernier. Ce Banc d'essai est le seul équipement disponible au niveau de l'entreprise E.R.M Aéro qui permet de tester le Booster en le déplaçant aux ateliers de réparation où se trouve ce banc d'essai.

IV-2. Destination et description du banc d'essai

Assistance à la maintenance des bancs d'essai Aéronautique accessoire mécanique de système hydraulique et électrique des Hélicoptères marque russe.

Le banc d'essai est un ensemble d'un circuit électrique moteur Asynchrone, cette dernière entraîne le moteur d'entraînement de l'alternateur Hélicoptère, bloc de charge commandé par un pupitre, qui 'est alimenté avec une tension de 380V (alternative \approx) et la commande de manipulation avec une tension de 27V (continu $-$).

IV-2-1. Définition

Les booster sont testés sur des bancs d'essai soit destiné aux essais, soit pendant pour le rodage de l'accessoire KAY-110. Exemples de bancs d'essai Booster sont l'Y-1188-Y- 3-89 (**figure IV. 1.**).

Un banc d'essai est un système complexe avec un réservoir d'huile et des interfaces visant à reproduire l'environnement du booster sur le lanceur, aussi est une machine de fabrication russe, de référence Y-1188-Y- 3-89.

L'objective c'est pour destiner au contrôle de l'accessoire Booster. Ce dernier est composé de plusieurs élément parmi aux : Pupitre de commande, Armoire électrique, Panneaux hydraulique [23].

IV-2-2. Les composent de banc d'essai d'un Booster

Les différent composent de la machine banc d'essai comme suivant :

- Pupitre de commande.
- Armoire électrique.
- Panneaux hydrauliques.

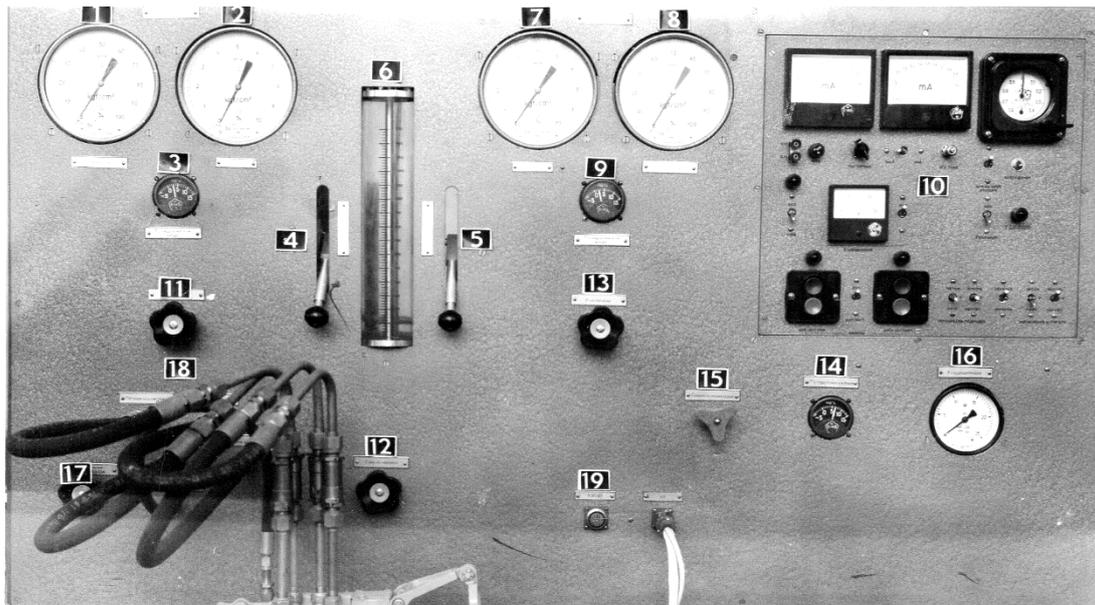


Figure IV-1. Représentation Pupitre de commande d'un banc d'essai

- 1 & 8- Monomètre de pression de travaille Booster.
- 2 & 7- Monomètre de vidange
- 9 & 3- Indicateur de température
- 5 & 4- Robinet de position (débitmètre)
- 6- Débitmètre
- 10- Tableau de commande électrique
- 12- Robinet de vidange de éprouvait
- 11 & 13- Robinet de pression
- 14- Indicateur température de réservoir
- 15- Robinet manuelle
- 16- Indicateur de pression
- 17- Robinet de pression pour le system combiné (course complet)
- 18- Amplificateur hydraulique (Booster)
- 19- Filtre d'alimentation électrique

Les instruments de contrôle et les manettes de commande sont installés sur le panneau principal du banc d'essai. Les tumblers de branchement de la commande combinée et manuelle, les fiches 27 V et le chronomètre électrique se trouvent sur le panneau auxiliaire. Les fiches de 36 et 220 V sont disposées sur le côté latéral du banc d'essai.

Sur le plateau du banc d'essai, sont montés :

- Le dispositif pour la fixation des booster.
- Le dispositif de charge.

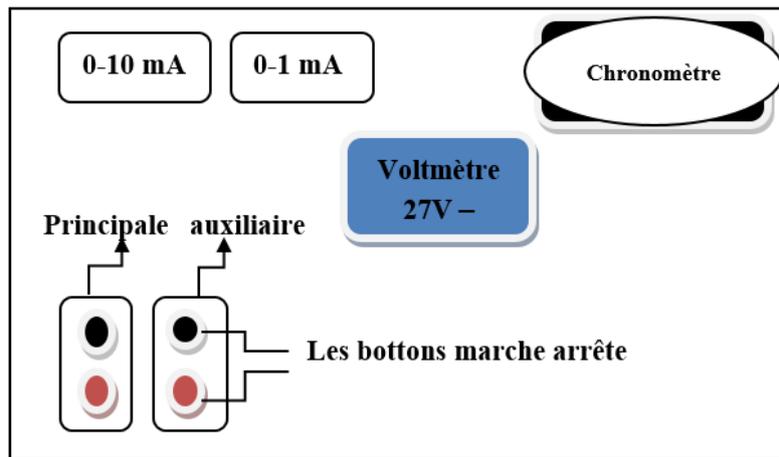


Figure IV-2. Tableau de commande électrique

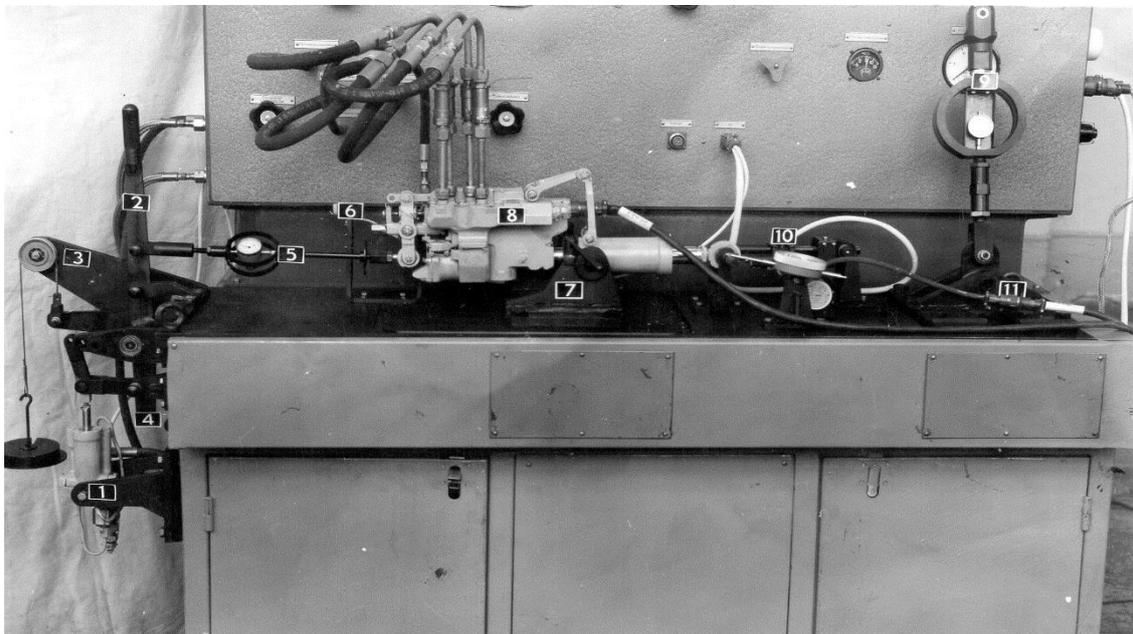


Figure IV-3. Pupitre de commande

1. Vérin pour le mouvement automatique (signal électrique)
2. Bras pour le mouvement manuel
3. Dispositif de point $P= 1 \dots 50$ kg
4. Dispositif de vérin
5. Dispositif de comparateur pour calculer la zone de déplacement de booster
6. Dispositif pour calculer le temps de déplacement de la tige
7. Dispositif de fixation de booster
8. Booster
9. Dispositif dynamomètre pour calculer les forts
10. Dispositif électrique pour indique le temps de déplacement

11. Dispositif de fixation de dynamomètre

IV-2-3. Caractéristiques techniques de la machine

Tableau IV-1. Caractéristiques techniques de la machine [24]

Dimension	2800×1600×2000 mm
Dénomination	Banc d'essai de Booster KAY-110.
Référence	Y-1188Y3-89
Destination	Essais de Booster KAY-110 (MI-24)
Type	Système hydraulique
Provenance (pays, fournisseur et/ ou fabrication)	F. Russe
Energie électrique	380V ~ 50 HZ
Liquide de fonctionnement	ASF 41
Pression de fonctionnement	100 Kg F /cm ²

IV-2-4. Carte de manipulation de banc d'essai

Avant de commencer le travail, il faut remplir l'accumulateur hydraulique jusqu'à la pression de 30 kgf/cm². Le réservoir hydraulique doit être rempli de liquide de fonctionnement propre.

Compléter le remplissage du système hydraulique en liquide de fonctionnement et procéder à la purge de l'air le remplissage du système hydraulique doit se faire par procéder de pompage, et pour ce, il faut mettre en circuit entre eux les raccords du panneau "Alimentation " et " Vidange ", tandis que le raccord " A " de la commande combinée doit être obturée. Fermer les vannes de réduction. Mettre les robinets (17/1) et (17/2) en position " Régime de fonctionnement de l'agrégat " et le tumbler (6) en position "Pression dans le système "

Mettre en marche le moteur électrique et pomper le système pendant 10 minutes. Au cours de ce délai, procéder au changement de position des robinets à trois voies (5/1) et (5/2) dans la position " Vidange par le radiateur". Mettre à l'arrêt le moteur électrique, mettre les robinets (17/1) et (17/2) en position "Régime de contrôle des paramètres" et procéder au pompage du système hydraulique.

Lorsque le système hydraulique du banc d'essai est rempli, le niveau du liquide de fonctionnement ne doit pas, dans le réservoir, être inférieur à 2/3 du volume du réservoir.

A la fin du pompage, le banc d'essai est considéré prêt à l'emploi.

- ✓ Pour contrôler les paramètres, il faut installer l'agrégat, soumis aux essais, sur le banc d'essai, raccorder les raccords A de la commande combinée.

- ✓ Contrôle les paramètres de l'agrégat à deux régimes :
 - En régime de commande combinée avec le tumbler (6) dûment branché
 - En régime de commande combinée avec le tumbler (2), dûment branché

Pour le contrôler en second régime, il faut raccorder le pupitre de commande [III]-14 au connecteur à fiches (III) de l'agrégat.

- ✓ Procéder à l'envoi du liquide de fonctionnement à la vidange par l'intermédiaire de l'éprouvette lors du contrôle des fuites, à la vidange à l'aide de la contre-pression lors du contrôle du clapet de réduction et à travers le radiateur, par commutation des robinets à trois voies (5/1) et (5/2) dans la position exigée.
- ✓ Pour le fonctionnement de l'agrégat en " Régime de contrôle des paramètres ", il faut afficher la pression de 652 kgf /cm² au moyen de la vanne des clapets de sécurité.

Le réglage de la température nécessaire du liquide fonctionnement est assuré par les robinets à deux voies raccordées aux radiateurs des systèmes hydrauliques. Dans la première position, le robinet est raccordé à la vapeur d'eau et dans la seconde - à l'eau froide des canalisations du circuit général [24].

IV-2-5. Mise en marche de banc d'essai

- Vérification de l'installation du banc d'essai.
- Vérification les manomètres et les indicateur (étalonnage : pour donner les paramètres correct)
- Nettoyage de banc d'essai
- Vérifier le niveau de l'huile
- Nettoyage des filtres (5 filtres sur le banc d'essai)

IV-2-6. Instructions avant la mise en marche du banc d'essai

Claque jour, avant de commencer le travail sur le banc, procéder au contrôle du liquide de fonctionnement au niveau des bancs et s'assurer de l'absence d'humidité et d'impuretés.

Le prélèvement du liquide, pour vérification de l'humidité, doit se faire à partir du fond du réservoir au moyen du tube en verre spécial avant de commencer le pompage du liquide.

Pour le contrôle du liquide de fonctionnement sur l'absence d'impureté interconnecter la conduite d'alimentation avec la conduite de vidange du banc à travers le filtre spécial de contrôle :

Mettre le banc en fonctionnement et pomper le liquide pendant 10 minutes à travers le filtre de contrôle. Après le pompage, arrêter le banc et grille du filtre.

La présence d'un copeau ou autres particules métalliques n'est pas admissible.

En cas de présence d'impuretés mécaniques quelconques sur la grille de contrôle, laver les éléments filtrants en procédant à l'interconnexion du système du banc et au pompage du liquide à travers les filtres pendant 30 minutes. A l'issue, contrôler de nouveau la pureté du liquide dans le banc.

Dans le cas où les résultats ne s'avèrent pas satisfaisants lors du second contrôle, le banc est jugé inapte à l'exploitation et son système hydraulique doit être soumis à un lavage complet [25].

IV-2-7. Tableau technique

La fiche technique de banc d'essai est :

Tableau IV-2- Fiche technique de banc d'essai du Booster

Coté opérateur :

Quotidiennement avant le début de l'exploitation

- ✓ Vérifier l'intégrité des instruments.
- ✓ Vérifier l'intégrité de la mise à la terre.
- ✓ Vérifier le niveau du liquide de formation fonctionnement dans le réservoir de consommation.
- ✓ Vérifier et éliminer les fuites dans le système hydraulique.
- ✓ Nettoyer l'installation de l'extérieur.
- ✓ Graisser les roulements, douilles de guidage et ressort du dispositif de charge.

Coté maintenance

Après 25 heures de fonctionnement et pas moins d'une fois par semaine :

- ✓ L'huile doit effectuer un contrôle d'analyse au laboratoire après 25 heures de fonctionnement dans le banc d'essai.

Après 50 heures de fonctionnement et pas moins d'une fois par semaine :

- ✓ Vérifier la qualité des jonctions de contact du circuit électrique
 - ✓ Laver les éléments filtrants
 - ✓ Vérifier la fiabilité de fixation de tous les ensembles de l'installation.
 - ✓ Remplis le réservoir de consommation.
 - ✓ Vérifier la pression d'azote des accumulateurs hydraulique et recharger si nécessaire
 - ✓ Graisse les charnières des tringles de force et de commande
 - ✓ Vérifier l'état des flexibles (surtout de haute pression)
 - ✓ Vérifier le serrage des boulons de fixation
 - ✓ Du moteur électrique et les pompe.
-

Après 200 heures de fonctionnement et pas moins d'une fois mois :

- ✓ Vidanger le réservoir du liquide de fonctionnement et laver, remplir de nouveau et en même temps laver tous les éléments filtrants.
- ✓ L'huile doit être changée suivant les conditions :
 - a. Baisse de viscosité cinématique à 50°C et moins de 8 CCT.
 - b. Augmentation d'acidité dans l'huile à plus de 0,15 mg sur 1 gr d'huile.
 - c. Contient des impuretés mécaniques plus de 0.005% selon le poids de l'échantillon (si les impuretés ne sont pas filtrées)
- ✓ Nettoyer l'intérieur des machines et appareils électrique de la poussière avec de l'air comprimé et sec
- ✓ Vérifier à l'aide de mégohmmètre et sur 500 V la résistance d'isolation du bobinage des machines électriques et doit être pas moins de 0.5 Ohm

Après 2000 heures de fonctionnement et pas moins d'une fois par an :

- ✓ Effectuer une réparation planifiée et de prévention de l'équipement en changeant les pièces usées.
- ✓ Nettoyer les calamines des contacts des démarreurs et des contacteurs de type industriel

IV-3. Principe de fonctionnement

Le principe de fonctionnement du banc d'essai référence Y-1188-Y3-89 est basé sur le contrôle de l'accessoire Booster des hélicoptères.

Le contrôle du bon fonctionnement du banc d'essai est indiqué par l'état des booster après les canevas.

Le schéma hydraulique du banc d'essai assure le fonctionnement de l'agrégat à partir des systèmes principal et auxiliaire. Le système hydraulique principal fonctionne selon le procédé suivant : le liquide de fonctionnement passe par la ligne d'aspiration du réservoir hydraulique 6 vers la pompe hydraulique H1. A partir de la pompe hydraulique, le liquide de fonctionnement traverse le collecteur, le clapet anti-retour K01 le filtre $\phi 1$ et robinet de commutation P3, qui présence deux position : " Régime de fonctionnement de l'agrégat " (en russe) et " régime de contrôle des paramètres " (en russe). Lorsque le robinet de commutation P3 se trouve dans la position " Régime de fonctionnement de l'agrégat ", le liquide de fonctionnement traverse l'automate de décharge de la pompe H1, réglé sur le diapason des pressions de 45.3 à 65kgf /cm² et l'accumulateur hydraulique AK1

Lorsque la pression atteint 73 kgf /cm² dans l'accumulateur hydraulique, l'automate de décharge interrompt la relation de la pompe avec l'accumulateur hydraulique et raccorde cette dernière avec le réservoir. La pompe fonctionne sous la pression, induite exclusivement par la résistance du liquide dans cette partie de la canalisation par laquelle circule le liquide.

Si la pression du liquide de fonctionnement diminue jusqu'à 42 kgf/cm² dans l'accumulateur hydraulique suite à sa consommation par l'agrégat en fonctionnement, l'automate de décharge interrompt la relation de la pompe avec le réservoir et raccorde cette dernière au remplissage de l'accumulateur hydraulique.

En cas de panne de l'automate de décharge de la pompe, le clapet de sécurité, réglé à la pression de 55 à 78 kgf/cm² et installé dans ce même corps, entrer en fonctionnement.

Si le robinet de commutation P3 se trouve dans la position " régime de contrôle des paramètres", le liquide de fonctionnement traverse le clapet de sécurité KM l'accumulateur hydraulique AK1, la vanne de réduction BH1. Dans ce cas, l'accumulateur hydraulique sert à adoucir les pulsions du liquide dans le système.

Ensuite, le liquide de fonctionnement passe par le filtre $\phi 2$ vers le raccord d'alimentation du système principale de l'agrégat. Dans ce contexte, l'agrégat fonctionne à partir d à e la commande manuelle. Lorsque le clapet K02 est branché, le liquide de fonctionnement passe dans le raccord de la commande combinée et l'agrégat fonctionne en régime de commande combinée.

Dans la canalisation de refoulement du banc d'essai sont monomètre MH1 de haute pression 0 à 100 kgf/cm² et le couple thermoélectrique de contrôle de la température du liquide de fonctionnement. La vidange du liquide peut se faire par trois circuits à travers le robinet à trois voies qui présentent deux positions :

- Dans la première position, la vidange du liquide de fonctionnement intervient à travers l'éprouvette dans le réservoir.
- Dans la seconde position à travers le clapet anti-retour K03, réglé à la pression de 5 à 7 kgf /cm² et le radiateur AT1 dans le réservoir

Le schéma du système hydraulique auxiliaire est identique au schéma du système hydraulique principal. Il présente la même destination que le système hydraulique principal.

Le fonctionnement du système hydraulique auxiliaire est identique au fonctionnement du système hydraulique principal.

Le schéma hydraulique du banc d'essai se compose des systèmes principale et auxiliaire chaque système est alimenté à partir de la station à pompe avec deux pompes

Chapitre IV- Etude du Banc d'essai du Booster disponible au niveau des ateliers

HW-39 qui entraînent la fréquence de rotation $n = 1450$ tours/min.

L'essai se fait avec la pression de fonctionnement de $P = 60$ à 80 Kg F/cm².

La température du liquide de fonctionnement de $T = 40$ à 60°C et du milieu ambiant de $25 \pm 10^\circ\text{C}$. Ce système hydraulique est présenté dans la figure suivante :

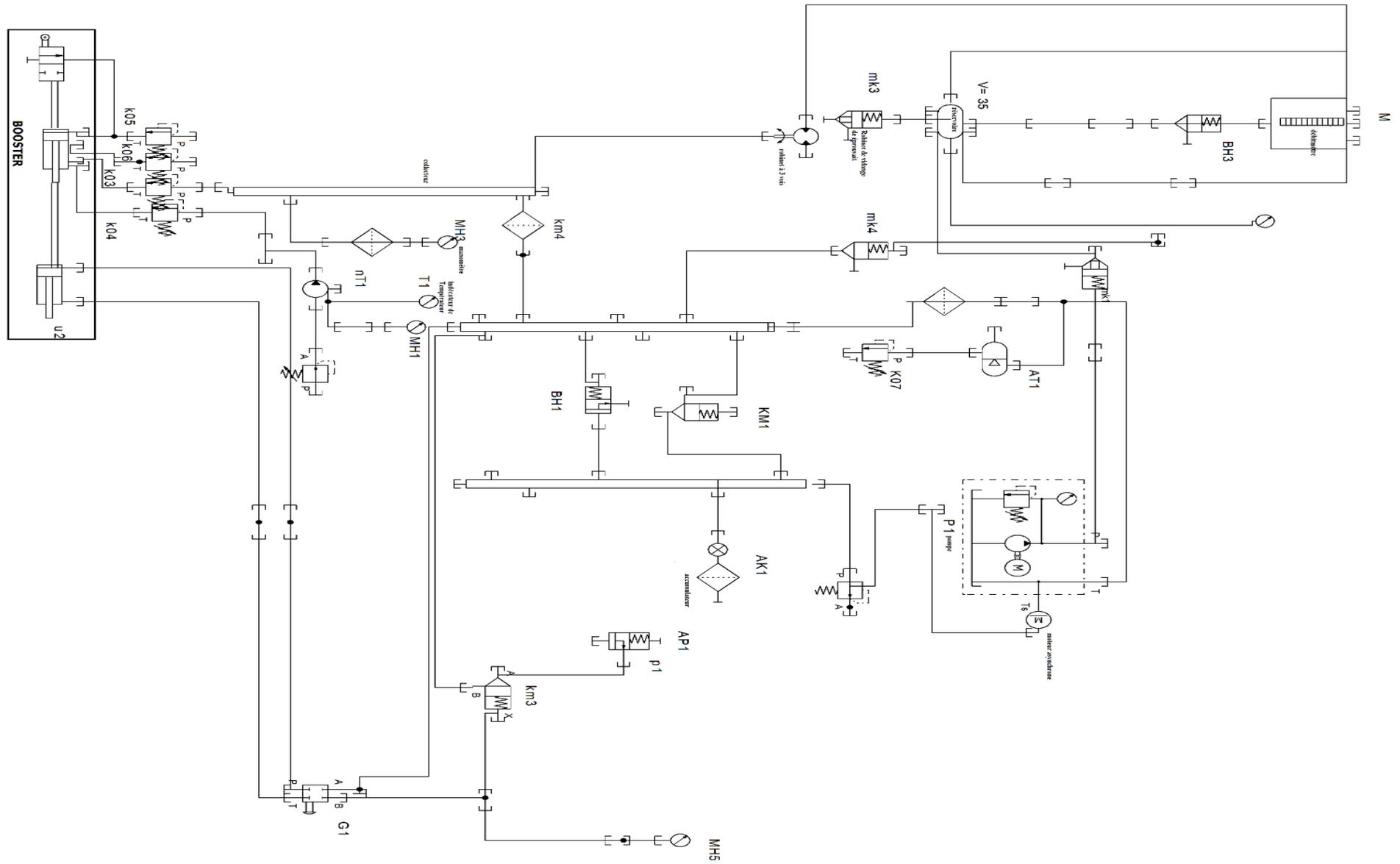


Figure IV-4. Schéma hydraulique de banc d'essai

IV-3. Les groupes constitués dans le système hydraulique principal

Un réservoir hydraulique, d'un moteur électrique Asynchrone, d'une pompe HW-39, d'un régulateur de déchargement. De deux accumulateurs hydrauliques , de (6) clapet anti-retour OK -10A, et (2) d'un autre référence OK-16 , et (2) de référence OK-20A, D'un filtre 8Д2.966-015-2 et (4) autre filtre référence 8Д2.966.017-2 , d'un filtre d'épuration fine φГ11БН, d'un robinet à trois positions ГA -74M/5 , de quatre robinets électromagnétiques 922A Г-5, et (3) autre robinet électromagnétique ГA-186M , et (1) de référence ГA-230, et des collecteur et distributeur des clapets de bord de refoulement et d'aspiration, des canalisations et de l'équipement de contrôle [24].

- Un moteur asynchrone à cage
- **Une pompe à engrenages** Hw-39 de haute pression sert à amener l'huile ASF 41 du réservoir dans le système hydraulique.
- **Un régulateur de déchargement** de la pompe sert à maintenir automatique la pression sélectionnée dans le système hydraulique
- **Un accumulateur hydraulique** du système hydraulique principal est constitué d'un corps sphérique soudé, d'un couvercle et d'un diaphragme en caoutchouc .il est installé à l'intérieur du corps, fermé par le couvercle et serré à l'aide d'un écrou à poignées ce qui assure la fiabilité et l'étanchéité de raccordement le couvercle et le corps sont munis d'une prise pour une cheville de protection du couvercle contre le brassage au cours de serrage de l'écrou. Il sert à diminuer la pulsation de la pression de système hydraulique. La capacité de l'accumulateur hydraulique 4.6 L.
- **Les soupapes anti-retour (en russe OK-10A)** installées dans le système hydraulique servent à faire passer le liquide moteur dans un sens sélectionné et à alimenter la canalisation du système hydraulique au retour du liquide.
- **Un filtre 8M2.966017-2 (en russe 8Д2.966017-2)** sert à nettoyer le liquide moteur des additions mécanique. Le filtre est à décantation et est muni d'un robinet by-pass et d'un clapet d'interdiction. Le robinet by-pass déclenche suite à l'augmentation de la différence de la pression provoquée par le colmatage d'un élément de filtre.
- **Un filtre d'épuration fine (en russe φГ11БН)** sert à nettoyer l'huile ASF 41 des particules solides. L'élément filtrant représente une grille métallique en sergé avec une grille inférieur en nickel fixée sur une ossature en acier .la finesse de filtration est de 12 à 15 µm.

- **Un robinet électromagnétique** à deux positions $\Gamma A -74M/5$ sert à alimenter les servomoteurs de gouvernes en liquide moteur de système hydraulique conforme et à couper l'alimentation.
- **Les robinet électromagnétiques (en russe $\Gamma A-192$)** servent à amener le liquide moteur (*Huile type ASF41*) vers les servocommandes au régime de fonctionnement combiné, vers les vérins hydrauliques de commande du plateau à friction de bouton GAZ-PAS et de commande de la butée hydraulique de commande latérale. Quand l'alimentation électrique est branchée le liquide moteur passe vers les groupes, quand elle est débranchée le liquide est vidé dans le réservoir du système hydraulique.
- **Les collecteurs** servent à amener le liquide moteur vers les servocommandes et à amener le liquide dans le réservoir.
- Distributeur
- **Le réservoir hydraulique** fabriqué en alliage (AMIIIM) a la structure soudée.
- **Un raccord codé avec une valve de remplissage** de l'accumulateur d'azote industriel est vissé dans le couvercle.
- Les canalisations de refoulement sont branchées au raccordé 1.
 - Panneau hydraulique est composée de deux accumulateurs hydrauliques ; deux systèmes hydraulique principale et auxiliaire, des filtres, deux pompes ; des Gatt manuel et électromagnétique.

IV-4. Armoire d'alimentation et de commande du Banc d'essai

L'armoire d'alimentation et de commande est composé de plusieurs parties (voir **Figure IV-5**) :

- **Alimentation** : Le circuit d'alimentation comprend.
- **Un transformateur** : de $220\text{ V} \approx 24\text{ V} \approx 3\text{A}$, On pratique, il suffit d'utiliser un transformateur fournissant une tension efficace de .3 10% à 20% supérieur à la sortie du redressement
- **Un redresseur à double alternance** : Pour le redressement de courant, on a utilisé un pont de diodes, à chaque alternance, le courant passe dans deux diodes du pont. Le pont redresseur doit supporter un courant max de 8A.
- **Un condensateur de filetage** : Un condensateur de capacité $C = Q / V$ polarisé est mis en place pour filtrer le courant à la sortie du redresseur et minimiser les ondulations, on tolérer 10% sur la tension de sortie du redresseur.

- **Contacteur** : Le contacteur est un relais électromagnétique qui permet grâce à des contacts (pôles) de puissance d'assurer le fonctionnement de moteurs, de résistances ou d'autres récepteurs de fortes puissances.
- **Transformateur** : Un transformateur est un convertisseur « alternatif-alternatif » qui permet de modifier la valeur d'une tension alternative en maintenant sa fréquence et sa forme inchangées.
- **Relais thermique** : Est un relais de protection contre les surcharges lorsque le courant dépasse la valeur de réglage du relais celui-ci s'excite ses contacts son accrochage mécanique.
- Plaque d'isolation
- Convertisseurs (AC/DC)
- Disjoncteur

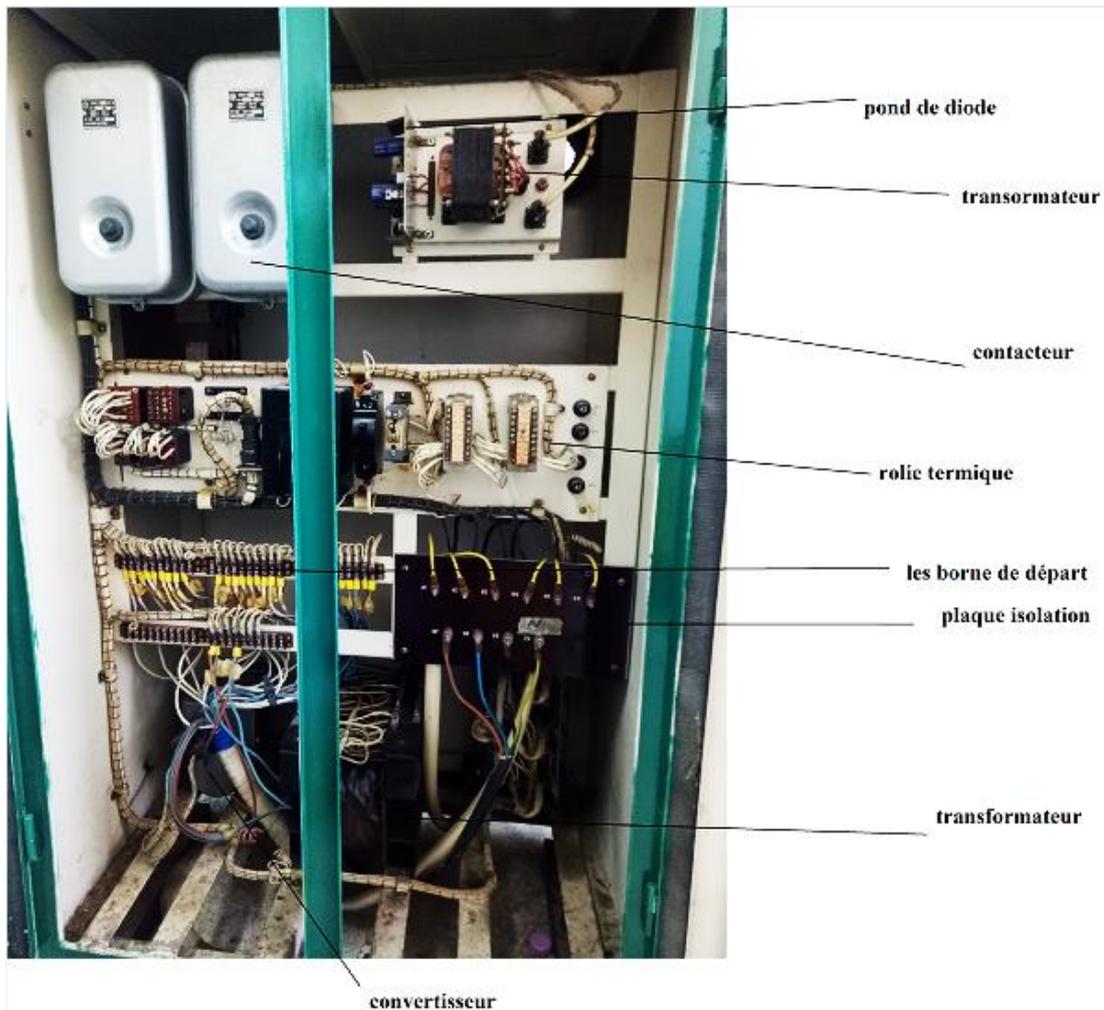


Figure IV-5. Présentation de l'armoire d'alimentation et commande de Banc d'essai

IV-5. Conclusion

En conclu que le banc d'essai est une machine très importante pour le contrôle et la testabilité de bon fonctionnement du Booster avant chaque vol. Sauf qu'il n'est pas vraiment efficace car il demande de déplacer le Booster de l'hélicoptère vers les ateliers de maintenance pour une simple vérification. De plus il n'est pas capable de localiser ni d'identifier la défaillance que ce soit interne ou externe au Booster. Il n'indique pas si la cause de cette défaillance est primaire ou secondaire. Il est donc important de proposer une nouvelle approche pour faire un diagnostic et une testabilité de fonctionnement du Booster à travers un simulateur qu'on va présenter dans le chapitre suivant

Chapitre 5 :
Simulation du système
hydraulique Booster
avec AMESIM

CHAPITRE V- SIMULATION DU SYSTEME HYDRAULIQUE BOOSTER AVEC AMESIM

V-1. Introduction

Avec les grandes avancées technologiques et en particulier dans le domaine l'aérospatial, beaucoup de travail a été fait sur le contrôle, le fonctionnement et les essais des systèmes électro hydrauliques. Avec l'évolution des techniques de simulation par ordinateur, ce processus est devenu beaucoup plus simple. Il existe de nombreux rapports décrivant l'expérience de terrain liée à l'analyse des actionneurs hydrauliques à l'aide des logiciels simulation. Dans ce chapitre, nous allons simuler le comportement de l'actionneur hydromécanique Booster qui permet de contrôler le mouvement des pales d'un hélicoptère. Ce mécanisme multidisciplinaire ne peut être simulé que dans des plateformes multiphysiques. Le logiciel Simcenter AMESIM a été choisi pour cette raison

V-2. Description du logiciel ' AMESIM'

AMESIM (Advanced Modeling Environment for performing SIMulations), il représente une plateforme virtuelle complète d'analyse du système unidimensionnel qui permet aux utilisateurs de concevoir des systèmes multi-domaines. Il permet d'étudier à l'aide d'une interface d'environnement graphique, les comportements statiques et dynamiques de n'importe quel composant ou système. Ces possibilités font d'AMESIM une plateforme efficace pour concevoir des systèmes comme les véhicules, l'aérospatial et les groupes d'équipement lourds. AMESIM est organisé dans des bibliothèques contenant des composants. Ces composants, représentés symboliquement par des icônes, peuvent être reliés ensemble pour concevoir le système à étudier. AMESIM a été appliqué la première fois sur des systèmes électro hydrauliques et des systèmes mécaniques unidimensionnels simples (comme l'inertie, les ressorts, et les amortisseurs en translation ou en rotation). Il a récemment ouvert ses bibliothèques à une variété de composants dans différents domaines. A titre d'exemple, on peut maintenant modéliser, analyser et exécuter les simulations d'un système pneumatique, hydraulique, électrique, électromagnétiques ou encore de refroidissement [26], [27].



Figure V-1. Page de lancement du logiciel AMESIM

V-2.1. Définition d'AMESIM

Simcenter AMESIM (Advanced Modeling Environment for performing SIMulations), est un logiciel de simulation commercial pour la modélisation et l'analyse de systèmes multi-domaines. Il fait partie du domaine de l'ingénierie des systèmes et relève du domaine de l'ingénierie mécatronique.

Le progiciel est une suite d'outils utilisés pour modéliser, analyser et prédire la performance des systèmes mécatroniques. Les modèles sont décrits à l'aide d'équations analytiques non linéaires dépendantes du temps qui représentent le comportement hydraulique, pneumatique, thermique, électrique ou mécanique du système (voir **fig. V-2**). Comparée à la modélisation 3D, cette approche permet de simuler le comportement des systèmes avant que la géométrie CAO détaillée ne soit disponible, ce qui signifie qu'elle est utilisée plus tôt dans le cycle de conception du système ou dans le modèle cycle en V (V-Model).

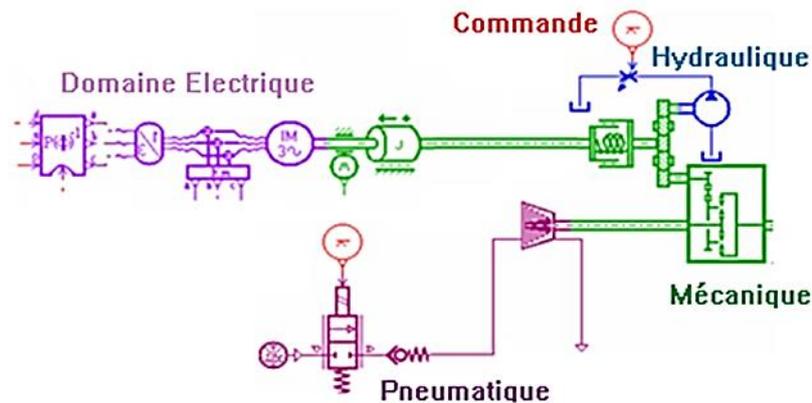


Figure V-2. Les différents couleurs utilisés dans le logiciel en fonction du domaine

V-2.2. Historique

Le logiciel Simcenter AMESIM[®] a été développé par Imagine[®] S.A., une société acquise en juin 2007 par LMS International[®], elle-même acquise en novembre 2012 par Siemens AG[®]. La société Imagine S.A. a été créée en 1987 par le Dr Michel Lebrun de l'Université Claude Bernard en France, pour piloter des systèmes dynamiques complexes couplant des servomoteurs hydrauliques à des structures mécaniques à éléments finis. Le projet d'ingénierie initial comprenait l'élévation du pont des plates-formes pétrolières de la mer du Nord d'Ekofisk qui coulaient. Au début des années 1990, l'association avec le Pr C. W. Richards, de l'Université de Bath en Angleterre, a conduit à la première commercialisation de Simcenter AMESIM en 1995, qui était alors dédiée aux systèmes de contrôle des fluides. Simcenter AMESIM est utilisé par des entreprises des secteurs de l'automobile, de l'aérospatiale et d'autres industries manufacturières de pointe.

V-2.3. Avertissement

Les simulations AMESIM sont exécutées à l'aide d'exécutables compilées à partir du modèle que vous souhaitez simuler et des sous-modèles qu'il contient. La simulation de modèles ou de sous-modèles malveillants peut endommager votre ordinateur et / ou votre réseau.

Avant d'effectuer des simulations de modèles reçus d'une source externe ou contenant des éléments reçus d'une source externe, assurez-vous qu'ils proviennent d'une source fiable et qu'ils ne présentent pas de danger.

V-2.4. Utilisation

Simcenter AMESIM est un logiciel multi-domaine. Il permet de relier entre eux différents domaines de la physique (hydraulique, pneumatique, mécanique, électrique, thermique, électromécanique). Il est basé sur la théorie des Bond graphes.

La modélisation d'un système se fait en quatre étapes :

- Mode croquis : dans lequel les différents composants sont liés,
- Mode sous-modèle : dans lequel le sous-modèle physique associé à chaque composant est choisi,
- Mode paramétrage : dans lequel les paramètres de chaque sous-modèle sont définis,
- Mode exécution : dans lequel la simulation est lancée et les résultats analysés.

Entre le mode sous-modèle et le mode paramètre, le modèle Simcenter AMESIM est compilé (voir **fig. V-3**). Sous la plate-forme Windows, Simcenter AMESIM fonctionne avec le compilateur Gcc gratuit fourni avec le logiciel. Il fonctionne également avec le compilateur Microsoft Visual C++ et son édition Express gratuite. Depuis la version 4.3.0 Simcenter AMESIM utilise le compilateur Intel sur toutes les plateformes.

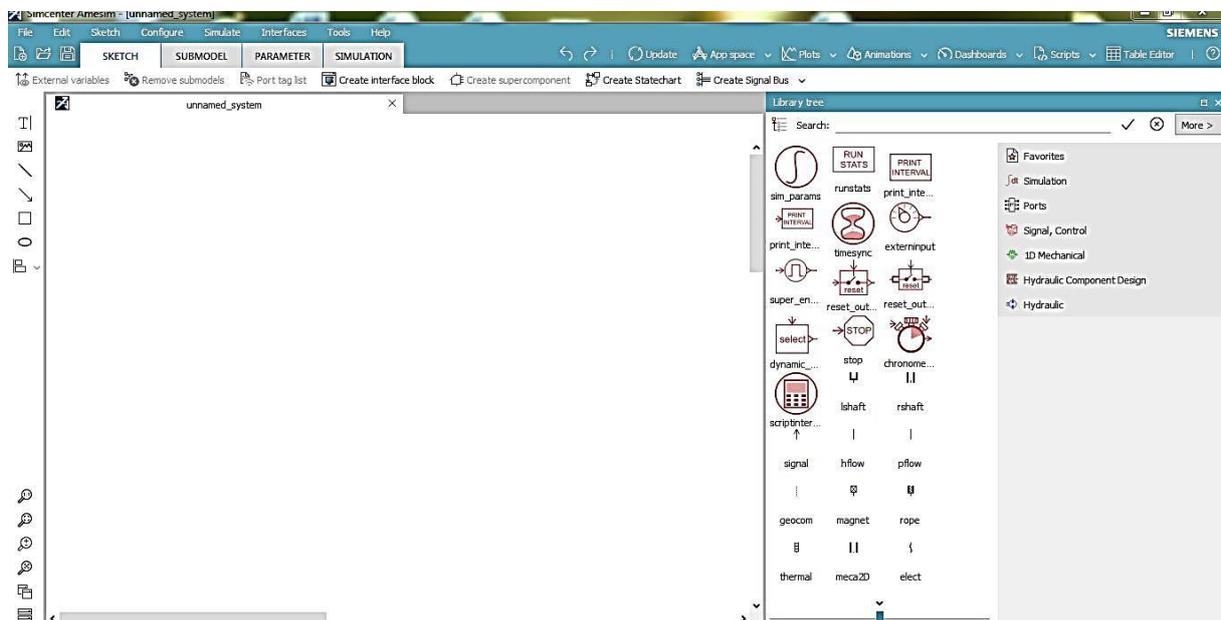


Figure V-3. Interface de logiciel AMESIM

V-2.5. Bibliothèques physiques

Pour créer un modèle de simulation de système dans Simcenter AMESIM, des composants de différents domaines physiques sont assemblés. Les bibliothèques physiques

ont été développées grâce à des services d'ingénierie et des partenariats avec les clients. En version 2019.1, Simcenter AMESIM propose 48 bibliothèques (> 6500 modèles multi-physiques) pour répondre aux différentes exigences des applications.

Quelques bibliothèques Simcenter AMESIM :

- **Contrôle :**

Bibliothèques : signal et commande, commande du moteur, commande du signal.

Composants : blocs continus, tableaux, fonctions, logiques, hystérésis, signal discret, routage, bus, composants cycliques,

- **Électrique :**

Bibliothèques : moteurs et entraînements électriques, stockage électrique, bases et convertisseurs électriques, conversion statique électrique, électromécanique, électricité automobile, piles à combustible.

Composants : résistance, inductance, condensateur, transformateur, batterie, alternateurs, machines synchrones, machines à induction, machines à courant continu, générateurs, générateur, direct Park, reverse Park, redresseurs, onduleurs, hachoirs, gradateurs, fils, fusibles, relais, ventilateurs, soufflantes, lampes, systèmes de lève-vitre, bobines magnétiques, entrefer, fuites, actionneurs piézo électriques, etc.

- **Mécanique :**

Bibliothèques : Mécanique 1D, mécanique 2D, mécanique 3D, mécanique 3D, came et suiveurs, chaîne cinématique, dynamique du véhicule

Composants : masses, ressorts, amortisseurs, cames, culbuteurs, culbuteurs, suiveurs, crémaillère et pignon, écrou à vis, vis sans fin, leviers, engrenages, roulements, joints, joints, accouplements, embrayages, châssis, pneumatiques,

- **Fluides :**

Bibliothèques : hydraulique, conception de composants hydrauliques, résistance hydraulique, remplissage, pneumatique, conception de composants pneumatiques, mélange de gaz, air humide.

Composants : réservoirs, volumes, orifices, pertes de charge, coudes, dilatations, contractions, jonctions en T, roulements, clapets, bobines, pistons, pistons, vérins, membranes, fuites, joints, ... tuyaux hydrauliques/pneumatiques avec effet de vagues et effet marteau hydraulique, tuyaux flexibles, vitesse du son, chocs, base de données des propriétés fluides et gaz, etc.

- **Thermodynamique :**

Bibliothèques : thermique, thermo hydraulique, conception de composants thermo hydrauliques, écoulement biphasé, climatisation, système de refroidissement, outil d'assemblage d'échangeurs thermiques.

Composants : capacités thermiques, conduction, convection, rayonnement, échangeurs, radiateurs, radiateurs, condenseurs, pompes, thermostats, compresseurs

- **Moteur à combustion interne :**

Bibliothèques : Entraînement IFP, moteur IFP, échappement IFP, CFD1D

Composants : drivers, boîtes de vitesses, vilebrequin, arbre à cames, cylindre, cylindre, combustion, échangeurs thermiques muraux, circuit d'air, soupapes moteur, compresseurs, turbocompresseurs, tuyaux, injecteurs, post-traitement, catalyseur,

- **Aérospatiale et défense :**

Bibliothèques : aéronautique et espace, turbines à gaz, systèmes à carburant d'aéronefs, propulsion liquide, électricité d'aéronefs.

Composants : définition de la mission de vol, modèles d'atmosphère, dynamique de vol (longitudinale, latérale, 6DOF), hélices (utilisation de XFOIL pour calculer les caractéristiques de portance et de traînée), compresseurs, turbines, réservoirs de carburant avec accélération, orifices, clapets, compresseurs/ pompes/turbines, chambres de combustion, buse, VFG électrique, redresseurs pour transformateur, charge triphasée, charge générique DC...

V-3. Simulation de l'actionneur hydraulique (Booster)

Le modèle mathématique du système hydraulique est réalisé à l'aide des caractéristiques du système et de son comportement. A l'aide de ces modèles mathématiques, différents systèmes hydrauliques ont été analysés à l'aide de logiciels AMESIM.

La solution industrielle actuellement utilisée sur un hélicoptère de fort tonnage fait appel à des servocommandes. Leur principe de fonctionnement est celui exposé ci-dessus (voir **fig. V-4**). La chaîne de transmission fait apparaître un organe de distributeur et un organe d'actionnement (vérin) lié au déplacement relatif du distributeur.

Cet organe d'actionnement représente un actionneur hydro-électromécanique. Ce mécanisme multidisciplinaire a été modélisé avec des composants multi-domaines. L'objectif de la simulation est de trouver des relations analytiques entre les trois (03) domaines différents. Cela n'est pas possible sans l'utilisation d'un langage multidisciplinaire comme le Bond Graphe. Le logiciel AMESIM basé sur ce langage permet de simuler avec un seul outil les différents domaines en utilisant un interface graphique simple et ergonomique.

Le résultat obtenu à travers ce modèle permet de comparer entre les valeurs simulées avec les valeurs expérimentales. Afin de valider ce modèle nous avons choisi quelques paramètres réels extraits de la documentation technique trouvé à l'entreprise et en consultant l'équipe responsable sur le Booster au niveau des ateliers de réparation de l'E.R.M Aero. Afin d'expliquer le modèle global, on va commencer par détailler les composants utilisés dans ce modèle un par un et représenter des simulations individuelles de leurs comportement dynamiques par rapport au temps. A la fin une simulation globale de ce modèle est présentée.

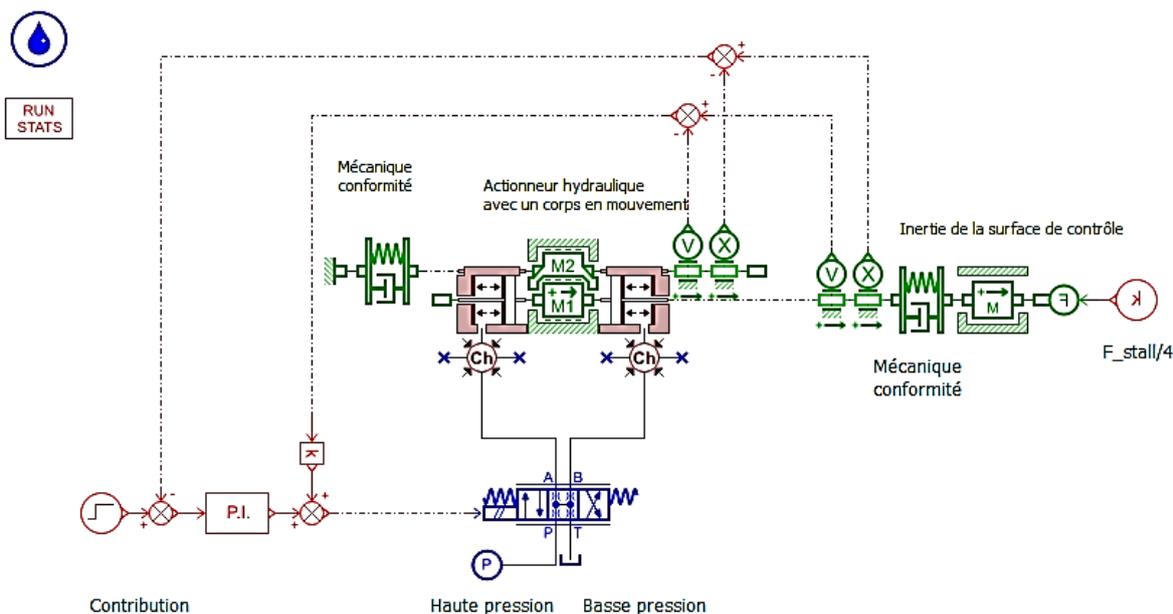


Figure V-4. Le bloc Simulation d'Actionneur hydraulique pour le contrôle de vol primaire

La figure V-4, représente le modèle sur AMESIM d'un actionneur hydraulique Booster. Le but de ce modèle est de réaliser :

- Le prédimensionnement des actionneurs (piston, chambres et servo-vannes) pour comprendre le comportement interne d'un Booster.
- Estimer la consommation hydraulique en fonction de la pression et débit sur l'actionneur, et en fonction des propriétés du fluide, et de la charge et de la vitesse.

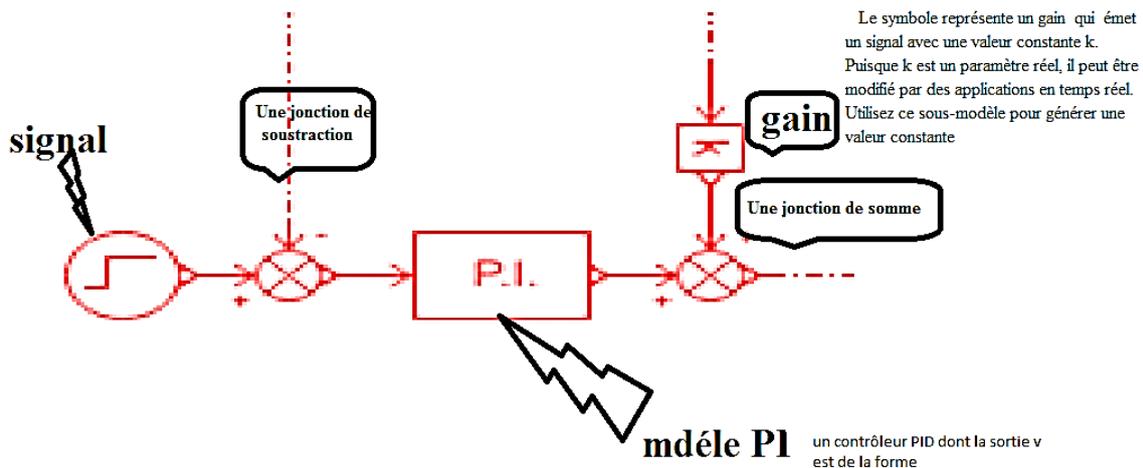


Figure V-5. Partie commande du système hydraulique Booster

La figure V.5 représente la partie commande de Booster. Elle est composée de :

- Un gain (k) utilisé pour multiplier efficacement deux (02) signaux scalaires.
- Une jonction de soustraction à trois (03) ports (Le signal de sortie au port 2 est la différence entre les signaux d'entrée aux ports 1 et 3, on a utilisé ce sous-modèle pour soustraire les deux (02) signaux.
- Une jonction de sommation à trois (03) ports (Le signal de sortie au port 2 est la somme des entrées aux ports 1 et 3) utilisé pour additionner les deux (02) signaux.
- Un contrôleur PI peut être utilisé lorsque les gains doivent être modifiés pendant la simulation. Ce contrôleur a été choisi pour simplifier le comportement dynamique en évitant les dérivés sur les signaux d'entrées. Le signal d'entrée dans ce cas a été choisi sous forme d'un échelon ou une rampe pour donner un signal de déclenchement d'actions sur le composant commandable.

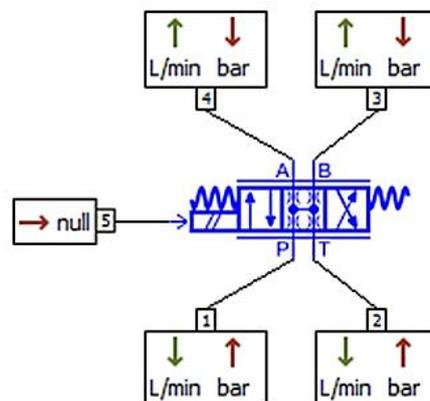


Figure V-6. Distributeur hydraulique

La figure V.6 présente un simple sous-modèle d'un distributeur hydraulique à trois (03) chambres. Un débit en [L / min] et une chute de pression correspondante en [bar]

Pour les deux autres positions, les chemins de flux sont les suivants :

- De P à A et de B à T dans le bloc de gauche
- De P à B et de A à T dans le bloc droit

Le tableau V-1 représente les paramètres de simulation de distributeur hydraulique qui représente des deux chambres internes d'un booster. Ce distributeur commande les deux chambres de l'actionneur hydraulique et permet de changer la direction du flux d'une position vers l'autre afin de commander à travers la différence de pression interne la position de la tige du vérin qui commandera en fonction de la course de ce dernier la déclinaison et l'orientation de la pale d'un hélicoptère ce qui conduit à contrôler son mouvement..

Tableau V-1. Paramètre de distributeur hydraulique

Paramètre	Valeur	Unité
Pression au port P	206	Bar
Débit au port P	0.000767439	L/m
Débit au port T	-0.000764412	L/m
Pression au port T	3.5	Bar
Débit au port B	79.4296	L/m
Pression au port B	79.4296	Bar
Débit au port A	0.000764412	L/m
Pression au port A	130.055	Bar

Le tableau V.1 présente aussi les meilleures valeurs obtenues pour les paramètres les paramètres débit et pressions dans les ports P, T, B, A. Ces paramètres ont été calculés au temps réel à l'aide des sous-modèles préprogrammés des bibliothèque de AMESIM.

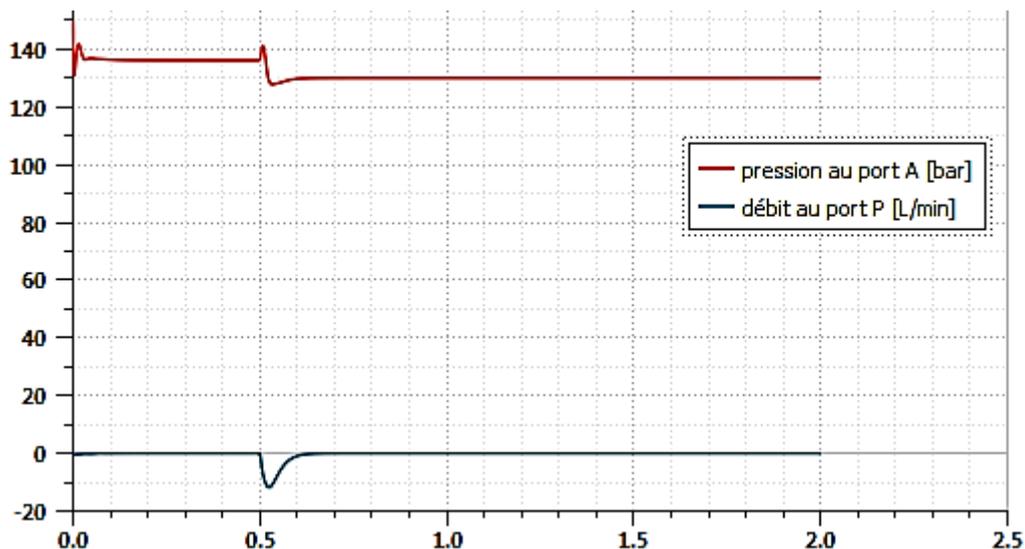


Figure V-7. Simulation de pression au port A par rapport au débit au port P dans le distributeur

On peut voir sur le graphe précédent (figure V-7), une convergence de la pression au port A à la $t = 0.5$ seconde par contre on observe une chute de débit au port P, et après quelques secondes on observe une chute de pression à environ 130 [bar] au même temps que le débit reste en diminution à (-1) jusqu'à $t=0.6$ s ce qui signifie que le flux passe dans le sens inverse vers la 2eme position de distributeur. Après cette valeur on constate une stabilisation des deux graphes. Ceci est expliqué par le comportement de distributeur qui permet de mélanger les flux entrants des ports P et T (qui représentent la pression haute HP et la pression basse BP), puis distribuer ce mélange dans les deux ports de sortie A et B (qui représentent les deux servo-vannes à la sortie d'un Booster). Cette distribution est fixée en fonction du type de distributeur, de nombre de positions, et une fonction des limitations sur le débit et la pression aux sorties de ce distributeur. Ces valeurs ont été fixés à 130 [bar] et à 76 [bar] pour les deux ports A et B respectivement. La distribution se fait dans les deux sens en fonction de la position du piston dans l'actionneur hydraulique. Ceci veut dire que ces valeurs peuvent augmenter légèrement en fonction des valeurs des pressions HP et BP qui vont être mélangés à l'intérieur de chaque position de ce distributeur.

La figure V-8, explique comment la pression à la sortie est Boosté de 130 [bar] au début de simulation pour arriver à environ 150 [bar] après quelques secondes ce qui permettra par la suite à la tige du vérin de bouger dû le nom Booster. La différence entre la valeur dans le port P et le port A est amené vers le port B.

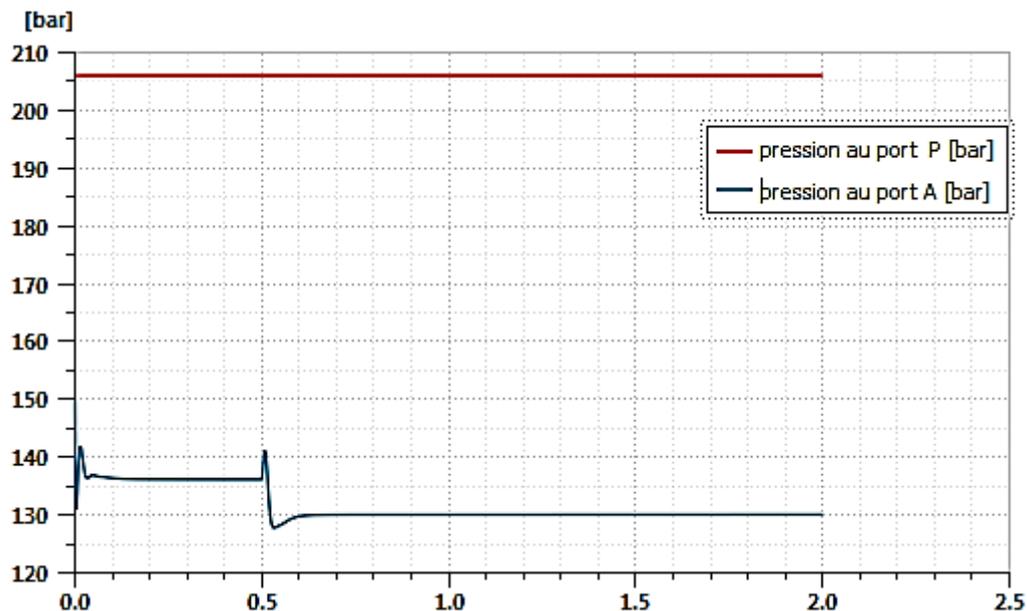


Figure V-8. Différence de pression entre le port P et le port A

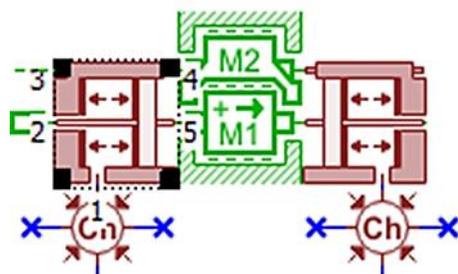


Figure V-9. Vérin hydraulique

La Figure V.9 représente un vérin hydraulique qui simule à la fois le comportement hydraulique et le comportement mécanique de ce mécanisme hydromécanique. Le logiciel AMESIM permet de modéliser sur le même mécanisme les différentes analogies entre les domaines à l'aide des icônes programmés sous langage bond graph. A l'aide de Botton droit de la souris nous pouvant choisir les variables externes de chaque composant comme présenté dans la figure V-10. Ceci nous permet de choisir les paramètres d'entrer et de sortie pour chaque sous-modèle et de voir comment le coulage entre les sous-modèle se fait et quels sont les variables externes interchangeés entre ses sous-modèles.

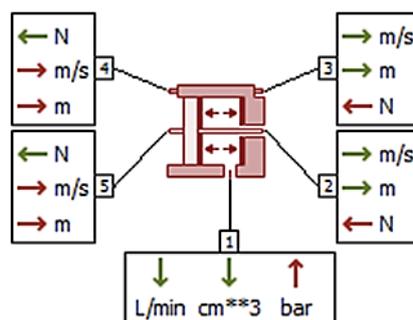


Figure V-10. Variables externes d'un vérin

Le sous-modèle est utilisé pour représenter une partie d'un vérin ou d'une vanne lorsqu'une pression agit sur un piston et sur le corps ou la tige quand vanne est actionnée.

La pression au port 1 de la chambre hydraulique est entrée en bar alors que le débit en L/min et un volume en cm^3 sont calculés à ce port en fonction de cette pression.

Les vitesses en m/s et les déplacements en m du piston et de la tige sont entrés aux ports gauche 4 et 5 et transmis sans modification respectivement aux ports 2 et 3. Les forces en N sont entrées aux ports 2 et 3 alors que les forces de sortie aux ports 4 et 5 sont calculés.

Le volume de la chambre formée par le corps et le piston est calculé à partir des déplacements reçus sur les orifices 4 et 5. L'orifice 1 est normalement connecté à une source de pression, à un sous-modèle de conduite hydraulique classique ou à un sous-modèle de chambre hydraulique HCD comme celui utilisé dans la figure V-9.

Les déplacements et les vitesses de la bobine et de la tige sont fournis par le ou les sous-modèles attachés aux orifices 4 et 5.

Il est donc possible d'utiliser ce sous-modèle pour construire des vérins hydrauliques et des distributeurs à corps en mouvement. Il peut également être utilisé pour des composants de systèmes de freinage et de boîtes de vitesses automatiques. Les paramètres de simulation entrés et calculés pour notre cas sont donnés dans le tableau V-2.

Tableau V-2. Paramètre de Partie d'un vérin

Paramètre	Valeur	Unité
Débit au port 1	-0.000765267	L/m
Pression au port 1	79.4296	Bar
Déplacement au port 5	0.00503051	m
Longueur de la chambre	24.9695	mm
Vitesse au port 5	-6.152118	m/s

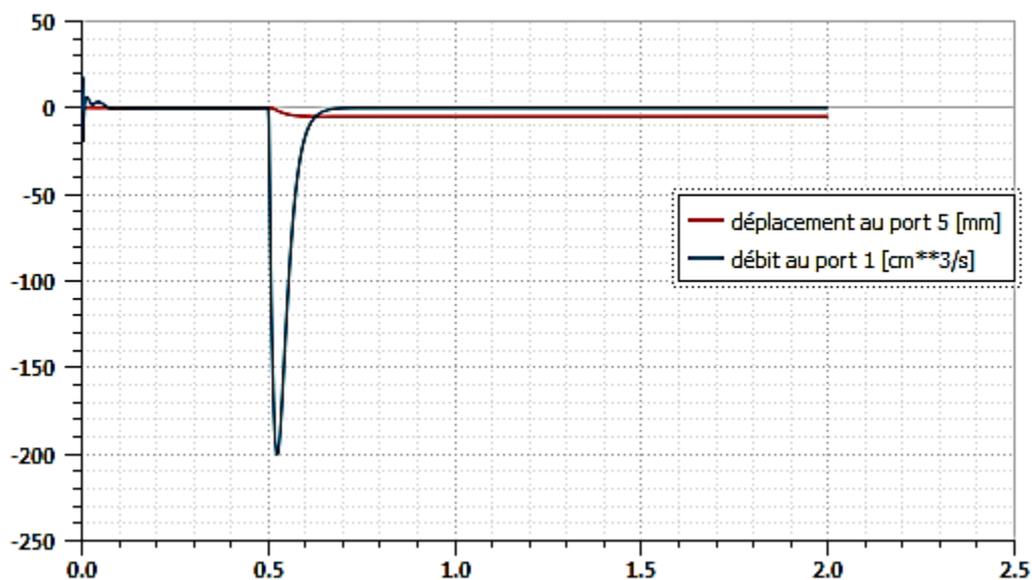


Figure V-11. Déplacement au port 5 et le débit au port 1

D'après le graphe on peut dire que le déplacement au port 5 et le débit au port 1 du [0-0,5s] est nul c'est une variation proportionnelle entre les deux, après la courbe décroissante de débit jusqu'à - 200 après juste le croissante de débit signifie que la pression diminue et le débit augmente automatiquement d'une chambre vers l'autre et que le déplacement de la tige change au - 5 mm vers la gauche ce que veut dire que la chambre est entraînée de se vider rapidement. Le point de croisement entre les deux positions est considéré comme le point de fonctionnement de ce système hydraulique.

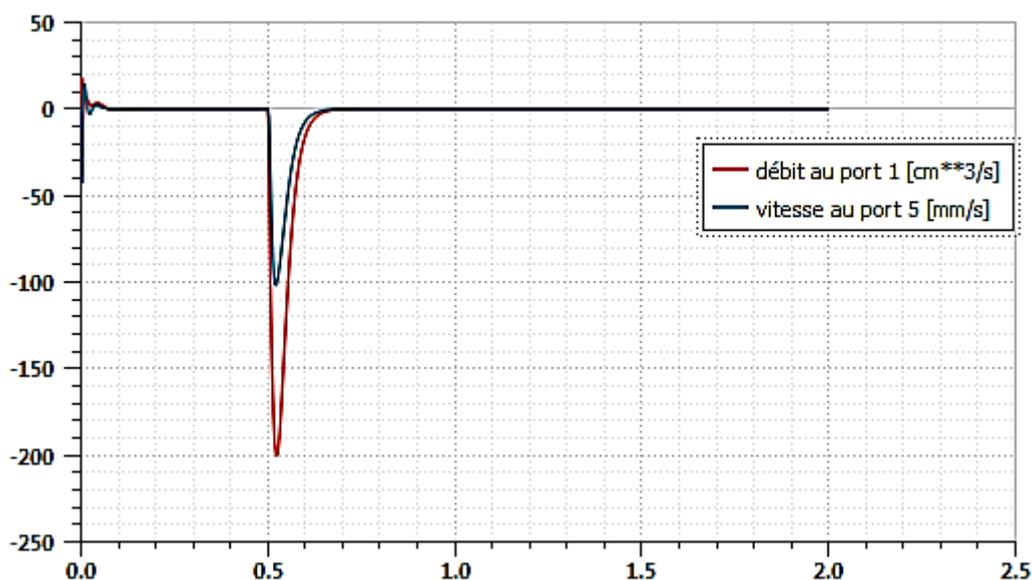


Figure V-12. Simulation de débit au port 1 et la vitesse au port 5

D'après le graphe on peut dire que la vitesse au port 5 et le débit au port 1 du [0-0,5s] est nulle, c'est une variation proportionnelle entre les deux positions. Une fois le point de fonctionnement est atteint les deux courbes décroissent la vitesse jusqu'à -100 [mm/s] et le débit jusqu'à -200 [cm³]. On constate que l'action se fait très rapidement.

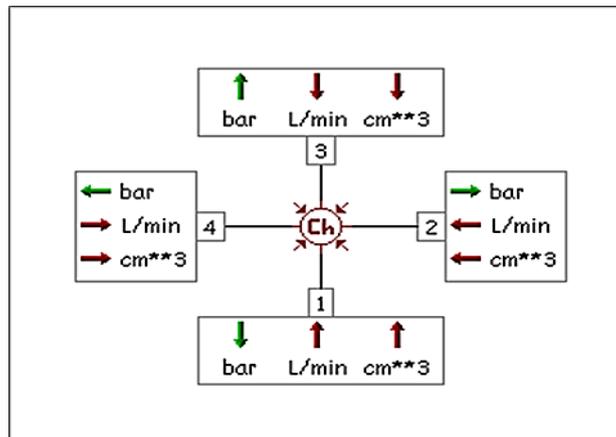


Figure V-13. Variables externes de la chambre hydraulique.

La figure V.13 représente une chambre hydraulique à volume et pression variables HCD. Ce sous-modèle est utilisé pour simuler une chambre hydraulique dans un vérin, ou toute chambre hydraulique dans laquelle le volume peut varier.

Chaque port reçoit un débit en [L / min] et un volume en [cm³] en entrée et fournit une pression en sortie. Les paramètres entrés et calculés pour cette chambre hydraulique sont donnés dans le tableau V-3.

Tableau V-3. Paramètres d'une chambre hydraulique.

Paramètre	Valeur	Unité
Débit au port 1	-0.000764412	L/m
Débit au port 2	0	L/m
Débit au port 3	0.000767478	L/m
Débit au port 4	0	L/m
Pression	130.055	Bar

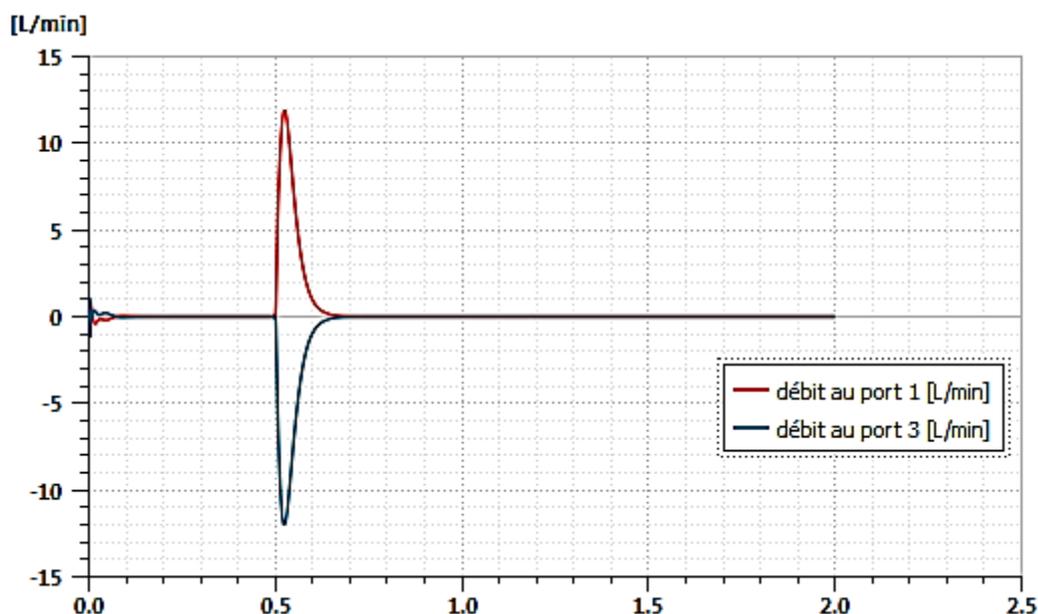


Figure V-14. Simulation de comparésent de débit au port 1 et le débit 1 au port 3

Su la figure V-14 on constate que la chambre à gauche se vide pour alimenter la chambre à droite pour déterminer la direction de mouvement de la tige. Ce mouvement unidirectionnel est assuré à l'aide du composant suivant.

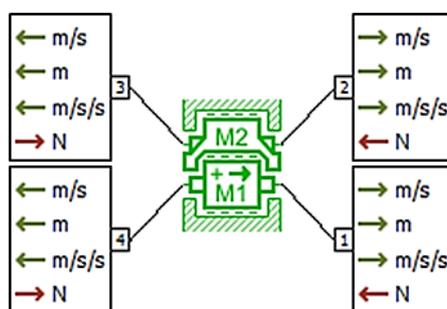


Figure V-15. Le mouvement unidimensionnel de deux corps

La Figure V.8 représente le mouvement unidimensionnel de deux corps sous l'action de forces externes en N appliquées aux quatre (04) ports et des forces de frottement. Un corps, généralement un piston, se déplace dans un autre corps. Le corps externe est appelé enveloppe et se déplace par rapport à une référence fixe. Le sous-modèle renvoie la vitesse en m/s, le déplacement en m et l'accélération en m/s/s pour chaque corps. La force de frottement entre le piston partant d'une position où il n'y a pas de force de friction, si le déplacement relatif change, une force de friction apparaît. C'est une force qui varie linéairement avec le changement de déplacement relatif jusqu'à atteindre la force de contrainte spécifiée par l'utilisateur.

Lorsque les déplacements du corps entrent dans les butées, une force de contact supplémentaire est appliquée. Cela consiste en une force de ressort et une force d'amortissement. Ce système d'amortissement est donnée dans la figure V-17. Pour donner une continuité à cette force, le coefficient d'amortissement est modifié pour qu'il soit nul au début du contact, puis approche asymptotiquement de sa valeur maximale, atteignant 95% de sa valeur totale à trois fois la pénétration spécifiée par l'utilisateur. Les paramètres de ce sous-modèle sont donnés au tableau V.4

Tableau V-4. Paramètres de mouvement unidimensionnel de deux corps.

Paramètre	Valeur	Unité
Vitesse au port 1	-0.00615218	mm/s
Déplacement au port 1	5.03051	mm
Accélération au port 1	1.2395	m/s/s
Force au port 1	26813	N

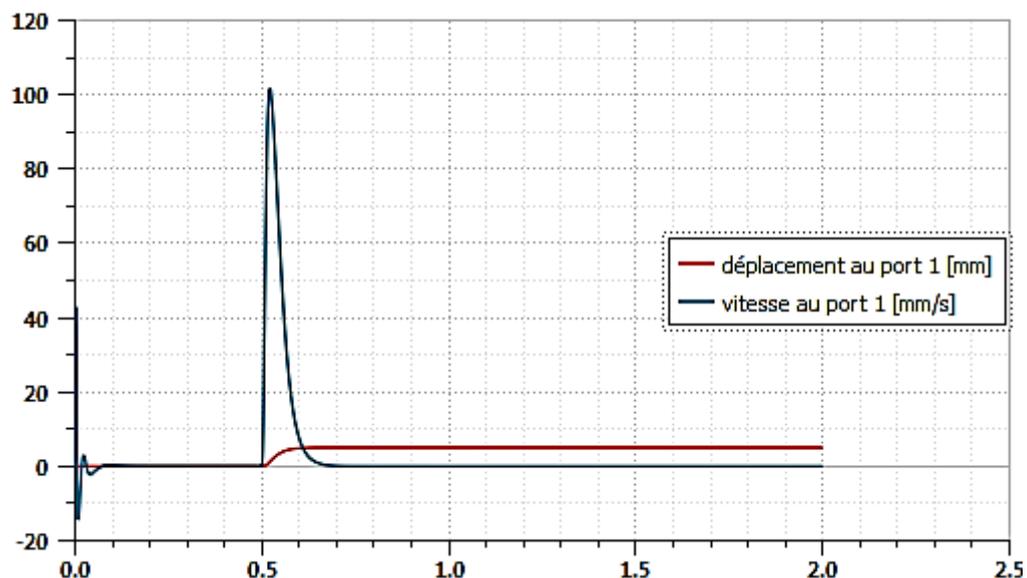


Figure V-16. Simulation de déplacement et la vitesse au port 1

On remarque dans la figure V-16 que la vitesse est positive et l'action se fait très rapidement et que la tige du vérin sort de 5mm vers le sens positive de l'action (actionner la pale).

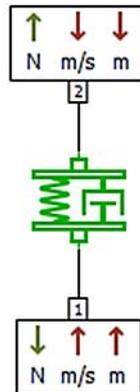


Figure V-17. Système d'amortisseur à ressort idéal.

Cette figure représente un système d'amortisseur à ressort idéal. Le sous-modèle a deux ports et donne une force en N sur ces deux ports de sorties. Les sous-modèles connectés doivent fournir des vitesses en m/s et des déplacements en m.

La force du ressort est une variable d'état interne et sa valeur avec les deux déplacements à l'état zéro est spécifiée par un paramètre réel. La compression du ressort en m est calculée à partir de la et il est également considéré comme une variable interne

Les paramètres de simulation de ce modèle sont donnés au tableau V-5.

Tableau V-5. Paramètre de Système d'amortisseur à ressort idéal

Paramètre	Valeur	Unité
Force au port 1	10437.2	N
Vitesse au port 1	-0.00615218	mm/s
Déplacement au port 1	5.03051	mm
Vitesse au port 2	0.00615217	mm/s
Déplacement au port 2	-4.50865	mm
Force du ressort	10437.2	N

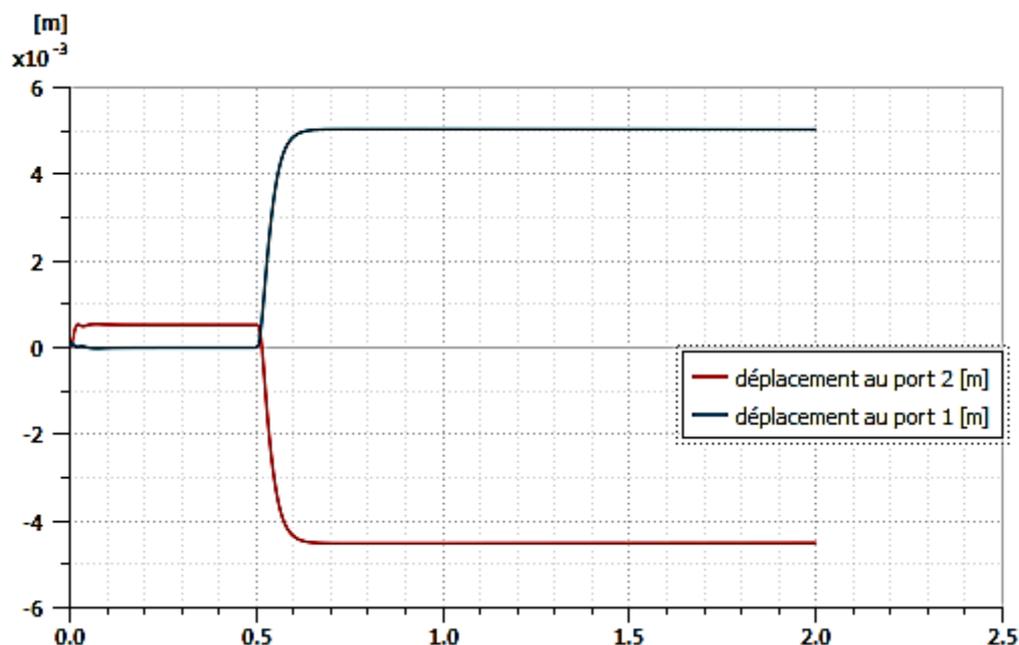


Figure V-18. La différence de déplacement au port 1 et 2

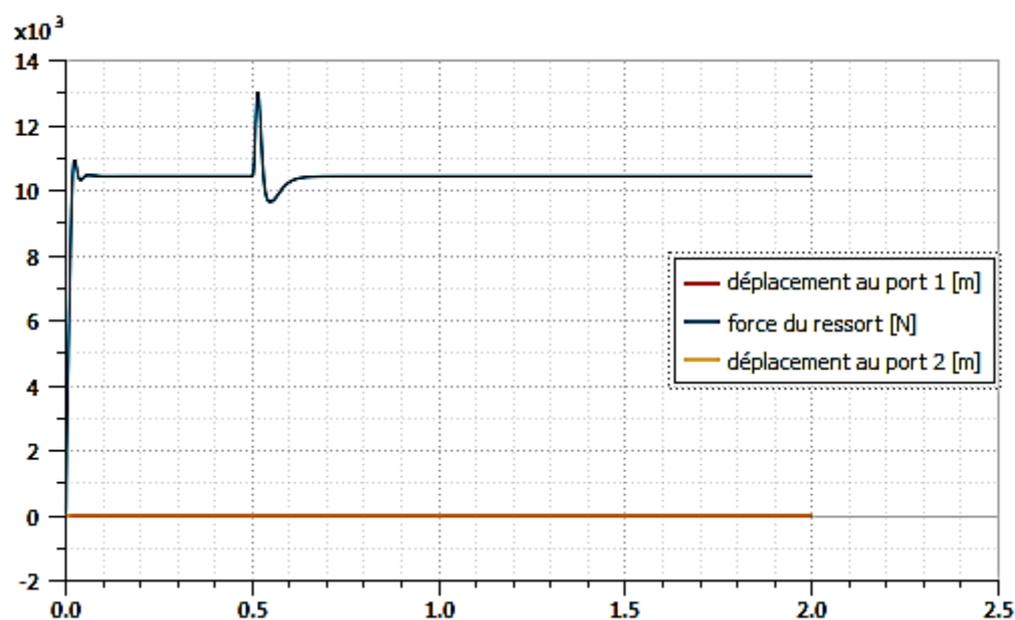


Figure V-19. Simulation du déplacement au port 1 et port 2 et la force du ressort.

En analysant les deux figures V-18 et V-19, on remarque que le sous-système du ressort d'amortissement permet de créer une force de rappel pour freiner le déplacement de la tige vers un sens ou repousser la tige vers le sens inverse. La tige dans notre cas est freinée une fois le déplacement atteints 95% de la valeur désirée.

Dans ce qui suit, nous allons illustrer l'importance de l'utilisation des capteurs de vitesse et de déplacement pour recenser au temps réel les valeurs des paramètres mécaniques qui permettent de contrôler les forces internes et externes de notre système.

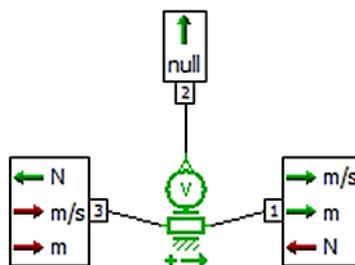


Figure V-20. Capteur de vitesse

La Figure V.20. représente un capteur de vitesse linéaire. La flèche en bas de l'icône définit la convention positive-vitesse. Sur AMESIM, toutes les flèches dans l'esquisse (celles des capteurs et celles des masses) doivent être orientées dans la même direction. Par conséquent, le signal de sortie au port 2 ne dépend pas du côté de la masse auquel il est connecté.

La vitesse en m/s et le déplacement en m sont entrés au port 3 et sont transmis sans modification au port 1. La force en N est entrée au port 1 et est transmise sans modification au port 3.

Tableau V-6. Paramètres du capteur de vitesse

Paramètre	Valeur	Unité
Vitesse au port 1	-6.15218	m/s
Déplacement au port 1	0.00503051	m
Force au port 1	10437	N

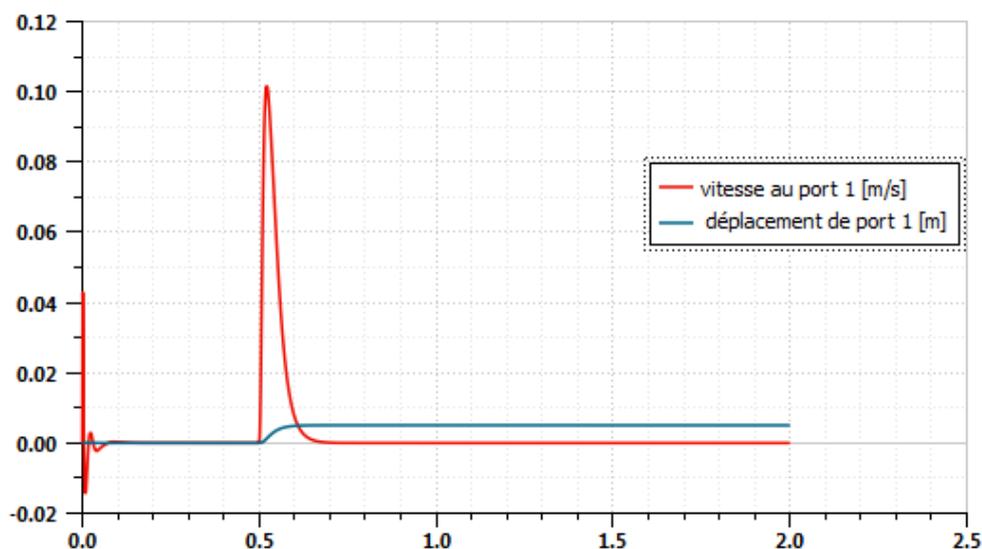


Figure V-21. La relation entre la vitesse et le déplacement au port 1

La figure V-21 montre la relation entre la vitesse et le déplacement du mécanisme hydromécanique. Nous pouvons voir l'influence du changement rapide de la vitesse causé par les forces hydrauliques à l'intérieur des chambres du vérin sur le déplacement de la tige.

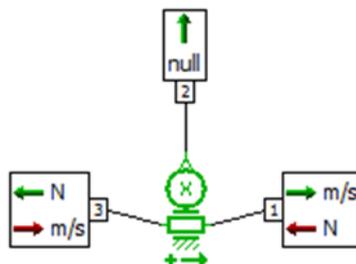


Figure V-22. Capteur de déplacement

La Figure V.22 représente un capteur de déplacement linéaire. La flèche en bas de l'icône définit la convention positive du déplacement. Toutes les flèches dans l'esquisse (celles des capteurs et celles des masses) doivent être orientées dans la même direction. Par conséquent, le signal de sortie au port 2 ne dépend pas du côté de la masse auquel il est connecté.

Le sens de la flèche peut être modifié en mode croquis en inversant l'icône ou en mode paramètre avec énumération. La vitesse en m/s est entrée au port 3 et est transmise sans modification au port 1.

La force en N entrée au port 1 est transmise sans modification au port 3. La vitesse est intégrée pour obtenir un déplacement.

Les paramètres de simulation du capteur de déplacement sont donnés au tableau V-7.

Tableau V-7. Paramètres du capteur de déplacement

Paramètre	Valeur	Unité
Vitesse au port 1	-0.00615218	mm/s
Déplacement au port 1	5.03051	mm
Force au port 1	10437	N

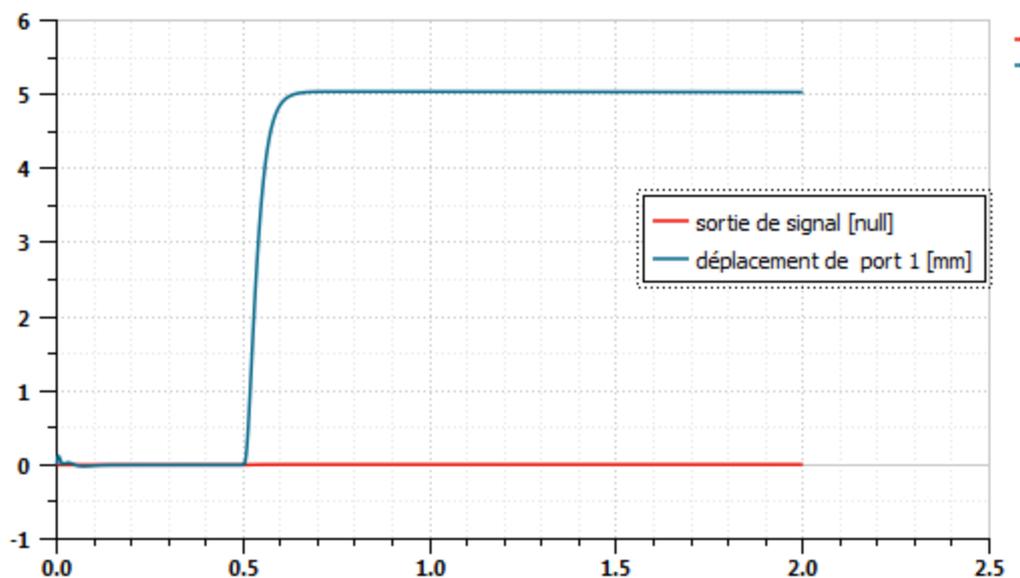


Figure V-23. La relation entre la sortie de signal et déplacement de port 1

La figure V-23 montre la relation entre le déplacement et la sortie du signal. Alors que l'entrée de ce capteur est une vitesse. La vitesse est intégrée pour obtenir un déplacement. Nous pouvons voir l'influence de l'intégration sur le déplacement. On comprend aussi pourquoi le choix des paramètres de la commande PI sont importants pour attendre un bon rondement entre la valeur de déplacement désirée commandée par le pilote et celle réelle réalisée par la pale de l'hélicoptère en fonction du comportement mesuré au niveau du Booster.

Enfin pour terminer avec les simulations, il est important de revoir les propriétés hydrauliques du fluide qui circule dans ce circuit hydraulique de Booster.

La figure V-24 représente l'icone du fluide qui permet de définir ces caractéristiques.

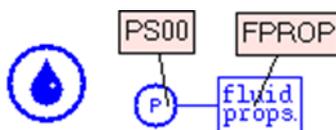


Figure V-24. Les caractéristiques du fluide hydraulique

Le fluide est identifié par un "indice de fluide hydraulique" qui doit être utilisé par tous les autres sous-modèles ayant des propriétés hydrauliques et utilisant ce fluide particulier.

Dans notre cas on s'est amusé de changer les caractéristiques du fluide afin de simuler à une valeur très proche des propriétés réelles de l'huile utilisée dans les hélicoptères Mi24 en Algérie. Nous avons extrait les paramètres sélectionnés pour notre fluide dans le tableau V-8 des données réelles qu'on a trouvé aux ateliers de réparation de l'E.R.M Aero (**voir Annexes A et B**).

Tableau V-8. Les paramètres du fluide (l'huile)

Paramètre	Valeur	Unité
Volume de fluide	35	l/mn
Masse volumique	870	g/cm ³
Température de fluide	T= 40 à 60	°c
Viscosité Cinématique	4,90 à 13,2	min
Nom de fluide ASF-41		

V-4. Interprétation des résultats de simulation globale

A la fin de ce travail nous allons faire une simulation globale du système hydraulique Booster afin de comprendre comment l'action du pilote sur la commande cyclique par exemple, permet à la pale de changer d'orientation ce qui permettra à l'hélicoptère de se guider en fonction des forces aérodynamiques vers un sens ou vers le sens inverse.

Comme nous l'avons expliqué dans les chapitres précédents, le système hydraulique permet de commander les pales d'un hélicoptère. Le système Booster contrôle tout simplement la tige qui actionne la pale. La valeur désirée de fin de course du vérin a été fixé à 5mm. Les simulations ont été faites dans un délai de 2 secondes afin de simuler les actions rapides eu pilote sur la commande cyclique par exemple. Les paramètres de simulation globales ont été introduites dans le logiciel comme des constantes afin de représenter les valeurs dimensionnelles et géométriques réelles de notre système Booster.

Ces paramètres de simulation sont illustrés dans le tableau V-9.

Tableau V- 9. Les paramètres de simulation globales

Paramètre	Valeur	Unité
Diamètre du piston (dp)	55	mm
Diamètre de la tige (dr)	20	mm
Surface utile du piston	$((dp/1000)^2 - (dr/1000)^2) \cdot \pi/4$	
Pression au début de l'étape 1	206	bar
Pression du réservoir	3,5	bar

Chapitre V- Simulation du système hydraulique BOOSTER avec AMESIM

Masse aileron	400	kg
Masse de piston (m1)	1	kg
Masse de l'enveloppe (m2)	15	kg
Course totale	40	mm
Rapport d'amortissement	0,8	

Les résultats des simulations globales sont donnés dans les figures V.25, V.26 et V.27

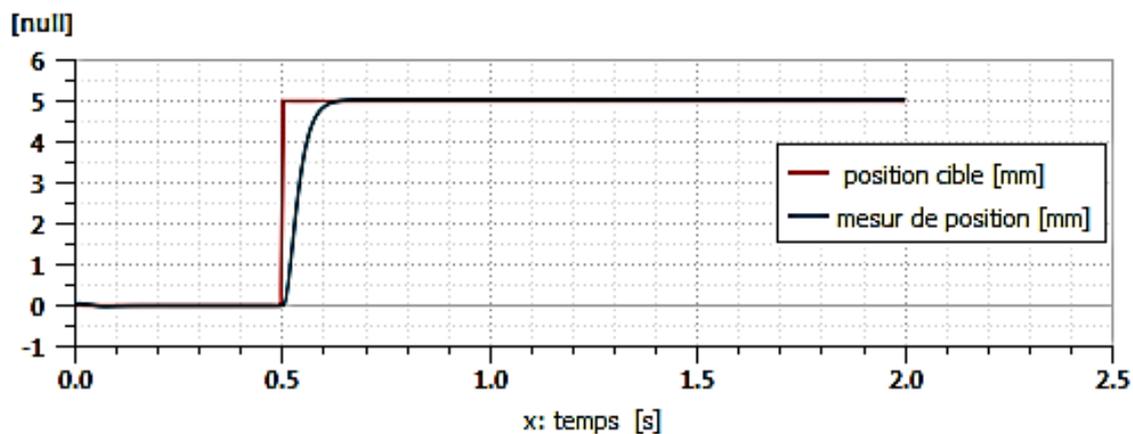


Figure V-25. Simulation globale de la position désirée et mesurée de la tige du piston .

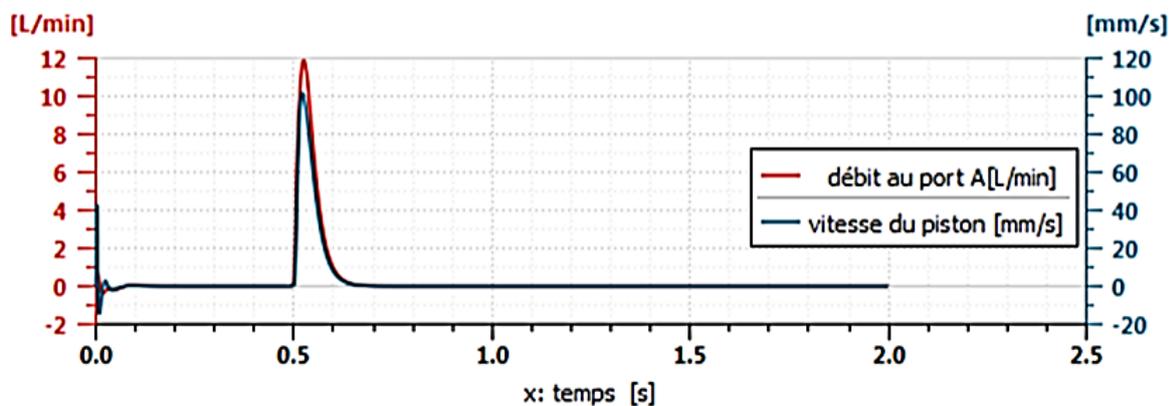


Figure V-26. Simulation globale du débit au port A et la vitesse du piston

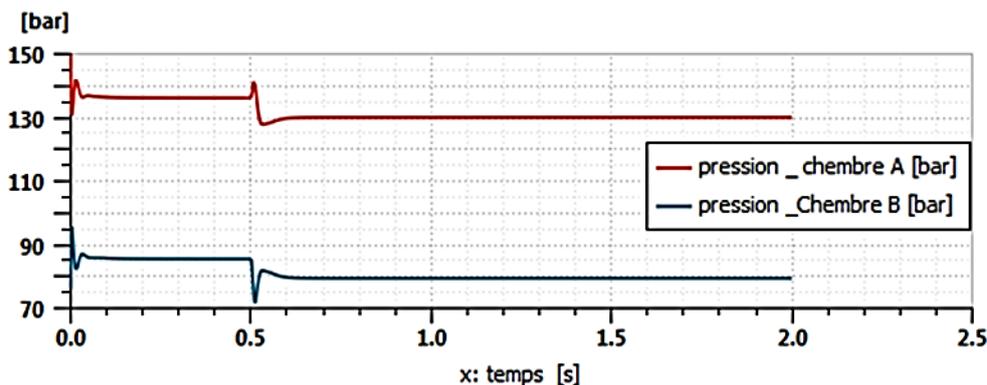


Figure V-27. Simulation globale comparai entre la pression de chambre A et B.

A travers les résultats obtenus dans les figures V-25, V-26 et V-27, nous pouvons dire que le modèle simulé sur le logiciel AMESIM représente exactement le comportement réel du système hydraulique étudié. Ce modèle a été validé à travers des données expérimentales choisies durant notre stage pratique. Le modèle aussi est considéré comme un très bon début pour simuler des scénarios de dysfonctionnement qui nous permettra de proposer un système de diagnostic plus sophistiqué dans les prochaines études.

Ce modèle aussi permet d'améliorer et d'innover le système Booster pour atteindre des comportements plus fiables et un rondement plus intéressant. Il est aussi important de réduire le temps de réponse de ce système afin de répondre rapidement aux commandes du pilote en cas de guerres par exemple.

V-5. Conclusion

Par une comparaison avec des résultats expérimentaux obtenus sur un système réel, nous confirmons que les comportements simulés correspondent aux exigences. A fortiori, nous avons aussi vérifié que la méthodologie permet d'obtenir un espace de solutions qui inclut la solution réelle.

Enfin, alors que l'approche habituelle de l'assistance aux commandes de vol est basée sur une représentation détaillée des constituants impliquant une complexité de représentation, d'analyse et de maîtrise, l'approche proposée simplifie la démarche d'ingénierie en se basant sur les modèles globaux du système physique et du comportement spécifique de chaque composant dans un environnement de simulation multi-physique.

Conclusion générale

CONCLUSION GENERALE

Dans ce travail nous avons réalisé une simulation du système de servocommande hydromécanique de vol d'un hélicoptère. La simulation a été faite sur un environnement de simulation multi-physique. Un modèle mathématique a été dessiné sur le logiciel AMESIM à l'aide des composants existants dans ces bibliothèques multidisciplinaires.

L'objectif été de simuler le comportement d'un Booster. Ce dernier est le composant le plus important dans la chaîne de commande des pales d'un hélicoptère. Sur un hélicoptère on trouve quatre Boosters. Chaque un d'eux commande une direction de mouvement.

La qualité du comportement des chaînes de commande de vol d'un aéronef à voilure tournante est un point critique pour permettre au pilote de maîtriser son véhicule. La complexité physique et fonctionnelle des organes employés nécessite des outils de représentation adaptés : multi-échelles, multi-physiques, modulaires.

Pour vérifier les développements, un modèle mathématique est proposé. La méthodologie est appliquée sur un cas générique. Une vérification formelle et par simulation est menée afin de mettre en évidence les qualités et les limites de la démarche.

Enfin, un dernier axe d'amélioration méthodologique a été mis en évidence à travers l'application aux chaînes de commande de vol d'un hélicoptère : un système réel présente un niveau de complexité comportementale et des variations paramétriques difficiles à modéliser.

Perspectives

Le travail futur envisageable peut être concentré dans les points suivants :

- Réaliser des expérimentations sur l'hélicoptère VARIO afin de valider le modèle à 3 ddl pour tester l'applicabilité et les limites du modèle proposé.
- Proposition d'un modèle analytique complet de Booster pour l'utiliser pour un diagnostic à base de modèle.
- Proposer un système d'autodiagnostic de booster sans besoin d'un banc d'essai.
- La conception d'un simulateur de vol avec un modèle non-linéaire du système global de conduite d'un hélicoptère (deux rotors et quatre boosters).
- L'étude des variations du modèle proposé pour d'autres types d'hélicoptère (ex. hélicoptère sans rotor anti-couple)
- Etudier le système hydromécanique de servocommande avec l'approche Bond Graph

Bibliographie

BIBLIOGRAPHIE

- [1] DOC-TECH, « Document technique. Représentation de l'EPIC E.R.M Aero. Dar El Beida. ».
- [2] S. A. Madani, « La commande active d'un hélicoptère », École de technologie supérieure, 2007.
- [3] Slimani. Lamia. Lounes Rabah, « Diagnostic à base de test du module de régulation d'un Moteur Avionique type TV-03 », Université M'Hamed bougarra Boumerdes, 2013.
- [4] STEWEB, « Voler le rêve. URL: <https://lavionnaire.fr/HistoireLeReve.php>. » .
- [5] B. Boudon, « Méthodologie de modélisation des systèmes mécatroniques complexes à partir du multi-bond graph : application à la liaison BTP-fuselage d'un hélicoptère », Ecole nationale supérieure d'arts et métiers-ENSAM, 2014.
- [6] P. Lefort et J. Hamann, L'hélicoptère: théorie et pratique. Chiron, 1987.
- [7] S. Lecheb, « Etude du comportement dynamique du rotor anti-couple d'un l'hélicoptère », Univesité M'Hamed Vougarra Boumerdes, 2008.
- [8] M. T. Gherbi, « Modélisation par éléments finis d'une pale d'hélicoptère sous chargement aérodynamique », Université M'Hamed Bougarra Boumerdes, 2010.
- [9] SEDINI Aicha, « Contribution à la commande non linéaire d'un drone de type hélicoptère », Université des sciences et de technologie d'Orain Mohamed Boudiaf, 2009.
- [10] K. Saber, « Modélisation et commande d'un mini-Hélicoptère Droune », Université du 20 aout 1955 SKIKDA, 2013.
- [11] E. Hoinville, « Etude du sillage de rotors d'hélicoptère en configuration de Vortex Ring State », Université d'Orléans, 2007.
- [12] B. Boudon, F. Malburet, et J.-C. Carmona, « Simulation of a helicopter's main gearbox semi-active suspension with bond graphs », Multibody Syst. Dyn., vol. 40, no 4, p. 375 -405, 2016.
- [13] DOC-TECH, « Guide de réparation de l'hélicoptère MI-171/MI-24. (Consulté le 14-04-2019) ».
- [14] DOC-TECH, « Hélicoptère MI-171Sh manuel d'utilisation livre 1 : Généralités sur l'hélicoptère. (Consulté le 14-04-2019) ».
- [15] A. Martini, « Modélisation et commande de vol d'un hélicoptère drone soumis à une rafale de vent », Université Paul Verlaine-Metz, 2008.
- [16] Z. Chikhaoui-Gomand, « Contribution à la modélisation énergétique des hélicoptères en vue de la maîtrise de leurs comportements dynamiques », Ecole nationale supérieure d'arts et métiers-ENSAM, 2013.
- [17] E. Roussel, « Contribution à la modélisation, l'identification et la commande d'un hélicoptère miniature », Strasbourg, 2017.
- [18] C. Coïc, « Model-Aided Design of a High-Performance Fly-by-Wire Actuator, based on a Global Modelling of the Actuation System using Bond-graphs », INSA Toulouse, 2016.

- [19] V. S. Tenali, « Simulation of electro-hydraulic servo actuator », National Institut of technology Roukela, India, 2007.
- [20] M. Touron, « Approche énergétique pour la représentation, la structuration et la synthèse des Systèmes d'Assistance à Opérateur : application aux chaînes de commande de vol d'hélicoptère », Paris, ENSAM, 2016.
- [21] F. d'Ariane, « Rapport d'enquête aéronautique A05F0025 - Mauvais fonctionnement des commandes de vol hydrauliques de l'hélicoptère », févr. 2005.
- [22] T. Marger, « Conception d'un distributeur de servocommande hydromécanique sous critères de coût et de mixabilité », Arts et Métiers ParisTech, 2010.
- [23] DOC-TECH, « Bloc de commande combiné KAY-110 série 01 guide de révision. Générale KAY-110-000PK. (Consulté le 14-04-2019) ».
- [24] DOC-TECH, « Document d'exploitation du banc d'essai 6365/017A. (Consulté le 14-04-2019) ».
- [25] M. LAKHAL, « Mesure et analyse des vibrations assisté par ordinateur, application à l'équilibrage des rotors », Mémoire d'ingénieur soutenue à l'EMP, 2000.
- [26] W. Marquis-Favre, E. Bideaux, et S. Scavarda, « A planar mechanical library in the AMESim simulation software. Part II: Library composition and illustrative example », Simul. Model. Pract. Theory, vol. 14, no 2, p. 95-111, 2006.
- [27] W. Marquis-Favre, E. Bideaux, et S. Scavarda, « A planar mechanical library in the AMESim simulation software. Part I: Formulation of dynamics equations », Simul. Model. Pract. Theory, vol. 14, no 1, p. 25-46, 2006.

Annexes

Annexe A : Vérification des paramètres de l'huile en fonction des normes d'essai

N°	Paramètres à vérifier	Valeurs selon spécification	Normes d'essai	Résultats de l'analyse
01	Aspect /couleur	Liquide clair Rouge	Examen visuel	
02	Masse volumique en gr/cm ³ à 20°C	0.870*	En ISO 3675 ISO 3838	
03	Viscosité cinématique (mm ² /s) à T= 40°C à T=100°C	13.2 min 5.00 min	ASTM D 445 EN ISO 3104	
04	Point éclair en vase ouvert (°C)	82 min	ASTM D 92	
	Point éclair en vase clos (°C)	90**	ASTM D 93	
05	Présence de particules mécaniques	Se référer à la Documentation du banc d'essai	ISO 4406	
06	Acidité totale en (mgKOH/g d'huile)	0.20 max	ASTM D 664	

Annexe B : Prélèvement des échantillons de l'huile pour contrôle les caractéristiques.

MIL-H-5606G, DEF STAN 91-48, AIR 3520 (code NATO : H-515).

Les paramètres à contrôler

1. Aspect visuel
2. Odeur
3. Présence d'eau
4. Viscosité
5. Densité
6. Acidité
7. Teneur en particules métalliques
8. Présence de particules non métallique
9. Inflammabilité
 - 9-1 point éclair
10. Points d'écoulement

Prélèvement effectué Point de prélèvement		Prélèvement effectué par :	
N°	Paramètres à vérifier	Valeur selon spécification	Normes d'essai
01	Aspect /couleur	Liquide limpide transparent	Examen visuel
02	Masse volumique En gr/cm ³	0 870 *	EN ISO 3675 ISO 3838
03	Viscosité Cinématique (mm ² /s°) à T=40°C et à T=100°C	13,2 min 4,90 min	ASTM D 445 EN ISO 3104
04	Point éclair en vase clos (°C)	82 min	ASTM D 93 / ISO 2719
05		Dimension des particules (µm) / 100ml d'huile	Quantité
		5 : 15	10000 max
		16 : 25	1000 max
		26 : 50	150 max
		51 : 100	20 max
	>100	5 max	ISO 4406
06	Acidité totale En (mgKOH/g d'huile)	0,20 max	ASTM D 664
Analyse effectuée le		Sous le N°	