



Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Electromécanique

Faculté : science et technologie

Filière : électromécanique

Spécialité : électromécanique

Etude et réalisation d'un modèle réduit d'un avion téléguidé

Réalisé par :

→ CHEURFA Anouar

Membres du jury :

Encadreur : M^r Youcef.MEBARKI

Président : M^r AZZI

Co-encadreur: M^r Akli.YAKOUBI

Examineur : M^r Athmane.AMRI

Année universitaire

2020-2021



Remerciements

*Louange à Allah avant tout, qui nous a donné la force, le courage et la patience pour
Elaborer ce travail. Sans lui, notre mémoire ne verrait pas le jour.*

Mes sincères remerciements et reconnaissance à mon encadreur,

***M^r Youcef.MEBARKI** pour sa collaboration tout au long de mon travail et pour sa
disponibilité malgré ses nombreuses activités.*

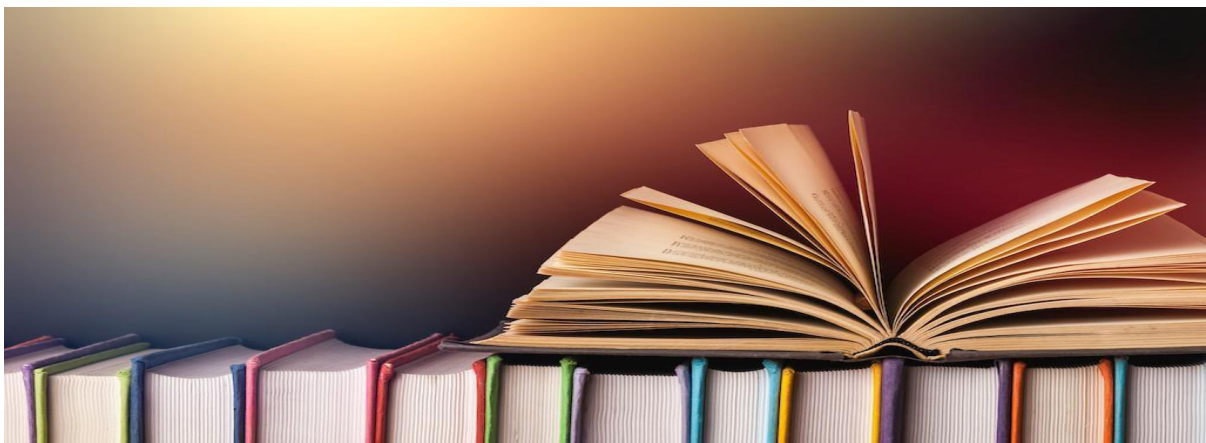
*Je remercie sincèrement mon encadreur **M^r Akli. YAKOUBI** et **M^r Rachid. CHOUICHA**
lors de mon stage chez la compagnie aérienne **Air Algérie** escale de **BEJAIA** pour sa
coopération durant mon stage et la réalisation de ce mémoire.*

*Mes vifs remerciements vont aussi à **M^r YOUSFI.Rachid** et l'ensemble des employés de
l'atelier Hall de Technologie pour leurs collaborations et leurs sympathies et de nous avoir
ouvert les portes de l'atelier.*

*Nous remercions vivement **M^r Fatah.TAZDAIT**, **M^r KACIMI** et l'**Association Scientifique
LEFNAR** de leurs contributions afin que nous puissions mener à bien ce travail.*

*Nous remercions le président et les membres de jury pour l'honneur qu'ils m'ont fait
en acceptant de juger ce travail.*

*Je tiens ainsi à exprimer nos sincères remerciements et mes profonds respects à tous
ce qui est de près ou de loin, m'a apporté le soutien et d'aide.*



Dédicaces

Je dédie ce travail particulièrement à mes chers parents, qui ont consacré leur existence à bâtir la mienne. Pour leur soutien, patience et soucis de tendresse et d'affections, pour tout ce qu'ils ont fait pour que je puisse arriver à ce stade.

A ma mère, la plus belle créature ! Qui m'a encouragé durant toutes mes années, et qui sans elle, ma réussite n'aura pas lieu. Qu'elle trouve ici mon amour et mon affection.

A mon père, la première merveille au monde, mon meilleur. Je te confirme mon attachement et mon profond respect.

*A ma chère sœur **Hafida** et toute sa famille.*

*A mes deux chers frères ; **Foufou** ainsi **Mokrane** et sa femme **Mima***

*A mes chers amis : **Amine.DJEMAA**, **Bilal.ZIANE** et **M'.Ilyas.RAHMOUNI** qui m'ont vraiment apporté de l'aide merci beaucoup à vous.*

*A toute ma famille **CHEURFA**.*

A tout mes amis de la résidence universitaire Pépinière Béjaïa

*A mes chers amis : **Mina**, **Zaynas**, **Mourad**, **Sabrina**, **Méllissa**, **Safia**, **Zahir**, **Krimo**, **Abderzak**, **Halim**, **Çissé**, **Thafrara**, **Dyhia** ainsi tous ceux qui m'ont soutenu tout au long de ma vie, je vous souhaite le bonheur, courage et réussite.*

A tout la promo master électromécanique 2020/2021.

Sommaire

Remerciements
Dédicaces
Liste des figures
Liste des tableaux
Acronymes
Introduction générale 1

Chapitre I : Généralités sur les avions modèles réduits

I.1 Introduction 3
I.2 Historique des avions et les avions radiocommandé..... 3
I.3 Différent types des avions 5
 I.3.1 Avions civils..... 5
 I.3.2 Avions militaires 6
 I.3.2.1 Avions de combat..... 6
 I.3.2.2 Avions de soutien 7
I.4 Eléments de base d'un avion 7
I.5 Fonctionnement d'un avion..... 8
 I.5.1 Principe d'aéronautique de base..... 8
I.6 Les avions radiocommandés 10
 I.6.1 Types des avions RC..... 10
 I.6.2 Types de kits et construction..... 12
 I.6.3 Fonctionnalités des différentes parties d'un avion radiocommandé..... 13
 I.6.3.1 Système de propulsion 15
 I.6.3.2 L'aile d'avion RC 17
 I.6.3.2.1 Dièdre 18
 I.6.3.2.2 Forme des profils d'aile..... 18
 I.6.3.2.3 Historique des profils NACA 19
 I.6.3.2.4 Types des profils d'aile d'avion 20
 I.6.3.2.5 Principe de BERNOULLI 24
 I.6.3.3 Empennages de l'avion RC 25
 I.6.3.4 Fuselage..... 25
 I.6.3.5 Radiocommande (RC)..... 25

I.6.3.5.1	Historiques des radiocommandes RC.....	26
I.6.3.5.2	Types des radiocommandes.....	28
I.6.3.5.3	Mode de pilotage des radiocommandes de types programmables.....	28
I.6.3.5.4	Composition des radiocommandes.....	30
I.6.3.5.4.1	Composition de l'émetteur et le récepteur.....	30
I.6.3.5.4.2	La fréquence de travail.....	31
I.6.3.5.4.3	Modulation.....	32
I.6.3.5.5	Fonctionnalité et montage d'une radiocommande.....	33
I.7	L'utilisation des avions RC.....	34
I.7.1	Utilisation des avions RC militaires.....	34
I.7.2	Utilisation des avions RC civiles.....	35
I.8	Avantages et inconvénients des avions RC.....	35
I.9	Conclusion.....	36

Chapitre II : Modélisation du vol pour un avion à voilure fixe

II.1	Introduction.....	37
II.2	Principe du vol d'un avion à voilure fixe.....	37
II.2.1	Forces aérodynamiques.....	37
II.2.1.1	Forces de poids (la gravité) et de traction.....	38
II.2.1.2	Forces de portance et de traînée (résultante aérodynamique).....	38
II.2.1.3	Etude de polaire.....	41
II.2.1.4	Finesse.....	42
II.2.1.5	Décrochage.....	42
II.2.1.6	Nombre de Reynolds.....	42
II.2.2	Contrôle de la trajectoire d'un avion à voilure fixe.....	43
II.2.2.1	Axe de tangage.....	44
II.2.2.2	Axe de roulis.....	45
II.2.2.3	Axe de lacet.....	46
II.2.3	Ailes et quelques notions d'aérodynamique.....	47
II.2.4	Principales phases du vol.....	48

II.2.4.1	Vol rectiligne uniforme en palier	48
II.2.4.2	Monté rectiligne uniforme	49
II.2.4.3	Descente rectiligne uniforme	49
II.2.4.4	Décollage	50
II.2.4.5	Atterrissage	51
II.2.4.6	Stabilité statique d'un aéronef.....	51
II.3	Conclusion.....	52

Chapitre III : Conception, réalisation et test du vol

III. 1	Introduction	53
III. 2	Description du modèle réduit d'avion RC.....	53
III.2.1	Caractéristiques techniques	53
III.2.2	Composants à réaliser.....	53
III. 3	Première partie : Outils matériels utilisés	54
III.3.1	Module d'acquisition et de traitement de données.....	54
III.3.1.1	Radiocommande (Radiolink AT9S 10 Voies)	54
III.3.1.2	Récepteur 9 voies de type R9DS.....	56
III.3.2	Module de commande	57
III.3.2.1	Carte de puissance ESC 30 A.....	57
III.3.2.2	Moteur Brushless 2200KV.....	58
III.3.2.3	Hélice 1045	60
III.3.2.4	Servomoteurs.....	61
III.3.2.5	Accumulateur LiPo 3s avec chargeur LiPo équilibré.....	63
III.3.3	Autres matériels utilisés	65
III. 4	Deuxième partie : La conception de l'avion modèle réduit sur SOLIDWORKS et sa réalisation	65
III.4.1	Présentation de l'utile C.A.O SOLIDWORKS	65
III.4.2	Conception de l'avion modèle réduit RC	66
III.4.2.1	Conception des ailes	66
III.4.2.2	Conception des empennages arrière	68
III.4.2.3	Conception de Fuselage.....	70
III.4.2.4	Conception des roues d'atterrissage	70
III.4.2.5	L'assemblage final de L'avion RC.....	72
III.4.3	Réalisation de l'avion RC.....	73

TABLE DES MATIERES

III.4.3.1	Découpe au fil chaud	73
III.4.3.2	Découpe des éléments	73
III.4.3.3	Trains d'atterrissage	75
III.4.3.4	L'assemblage de différentes parties de l'avion RC	77
III. 5	Troisième partie : Test du vol	77
III.5.1	Préparatifs avant le vol	77
III.5.2	Analyse de prototype	78
III. 6	Conclusion.....	78
	Conclusion générale	79
	Annexes	
	Bibliographies	
	Résumé	

Chapitre I

Figure I.1 : Photo d'un des premiers avions fabriqués.....	4
Figure I.2 : Ballons dirigeable gonflés RC	4
Figure I.3 :Moteur Lynx	5
Figure I.4 : Avion Queen Bee de Havilland Tiger Moth	5
Figure I.5 : Eléments de base d'un avion	8
Figure I.6 : Forces principales exercées sur un avion en air	9
Figure I.7 : Les différents forces appliqué sur un avion	9
Figure I.8 : Avion RC à moteur électrique.....	10
Figure I.9 : Avion RC Park Flyers	11
Figure I.10 : Hélicoptère RC.....	11
Figure I.11 : Modèle d'avion réel RC	11
Figure I.12 : Oiseaux RC	12
Figure I.13 : Plaques de Balsa.....	12
Figure I.14 : Plaques en Polystyrène.....	13
Figure I.15 : Plaques en EPP	13
Figure I.16 : Fils en fibres de carbone	13
Figure I.17 : Représentation des volets et winglet dans l'avion réel	14
Figure I.18 : Les différentes parties d'un modèle réduit d'avion RC	14
Figure I.19 : Représentation de la dépression fait par une hélice qui tourne.....	15
Figure I.20 : Principe du moteur électrique d'un avion RC.....	16
Figure I.21 : schéma explicatif de changement de pôles dans le moteur	16
Figure I.22 : avion RC avec un dièdre positif.....	18
Figure I.23 : Emplacement des profils dans l'aile d'avion	18
Figure I.24 : Exemple des caractéristiques géométriques d'un profil NACA	20
Figure I.25 : La forme de profil NACA 0012 sur SolidWorks	21
Figure I.26 : La forme de profil NACA 4412 sur Solidworks.....	21
Figure I.27 : Profil convexe CLARCK Y	22
Figure I.28 : Profil creux de type GOT 500.....	23
Figure I.29 : Forme de profil creux de type JEDELSKY	23
Figure I.30 : Représentation de la forme de Profil double courbure	24
Figure I.31 : Représentation de la forme de Profil supercritique.....	24
Figure I.32 : Représentation de principe de Bernoulli appliqué sur un profil d'aile.....	25

LISTE DES FIGURES

Figure I.33: Radio commande des modèles réduits des voitures.....	26
Figure I.34: Radio commande pour les modèles réduits des avions.....	26
Figure I.35: Bateau radiocommandé de Nikola Tesla.....	27
Figure I.36: Radiocommande de type programmable.....	28
Figure I.37: Les modes de pilotage d'avion avec une RC programmable.....	29
Figure I.38: Radiocommande émetteur RF 2.4 GHZ.....	30
Figure I.39: Récepteur 2.4 GHZ alimenté et câblé avec des servomoteurs et un gyroscope..	31
Figure I.40: Radio fréquence de 2.4 GHZ	31
Figure I.41: Exemple d'un récepteur à 4 voies proportionnelles.....	33
Figure I.42: montage complet de 2 voies du récepteur.....	33
Figure I.43:	32
Figure I.43: Avion RC militaire.....	34

Chapitre II

Figure II.1: Les forces qui agissent sur un avion dans un référentiel terrestre (Galiléen).....	37
Figure II.2: Répartition des pressions autour d'un profil.....	38
Figure II.3: Direction de la force de traînée par rapport au vent relatif et le déplacement de l'aile.....	39
Figure II.4: Démonstration de la traînée de sillage.....	40
Figure II.5: Démonstration des tourbillons marginaux pour la traînée induite	40
Figure II.6: Représentation graphique de la polaire de type EIFFEL.....	41
Figure II.7: Décrochage	42
Figure II.8: Les composants d'un avion à voilure fixe.....	43
Figure II.9: L'axe de tangage de l'avion avec l'angle de décollage i	44
Figure II.10: Les différentes forces de portance pour un stabilisateur	44
Figure II.11: Mouvement de l'avion sur l'axe de roulis (longitudinal).....	45
Figure II.12: Ailerons pour un mouvement de roulis	45
Figure II.13: Mouvement de l'avion sur l'axe de lacet	46
Figure II.14: La gouverne de direction pour un mouvement de Lacet	46
Figure II.15: Les différentes parties de l'aile d'un avion modèle réduit	47
Figure II.16: Les formes d'une aile d'avion.	47
Figure II.17: différentes formes d'empennage	48
Figure II.18: Vol rectiligne uniforme	48

Figure II.19: Monté rectiligne uniforme	49
Figure II.20: Descente rectiligne uniforme.....	50
Figure II.21: Les phases de décollage de l'avion.....	50
Figure II.22: Les phases d'atterrissage d'avion	51
Figure II.23: Stabilité statique longitudinal	52

Chapitre III

Figure III. 1: Radiolink AT9S	54
Figure III. 2: Mode de fonctionnement de récepteur R9DS en PWM.....	56
Figure III. 3 : Emplacement générale des composants électronique d'avion RC.....	57
Figure III. 4: Contrôleur de vitesse électronique ESC 30A	57
Figure III. 5: Différents composant d'ESC	58
Figure III. 6: Moteur Brushless avec l'adaptateur d'hélice	59
Figure III. 7: Paire d'hélice 1045	61
Figure III. 8: Servomoteur de type SG90	62
Figure III. 9: Schéma de commande de servomoteur SG90.....	63
Figure III. 10 : Batterie LiPo 3s, de capacité 2600mAh.....	63
Figure III. 11: Chargeur LiPo équilibré.....	64
Figure III. 12: La forme de profil NACA4412 sur SolidWorks.....	66
Figure III. 13: Aile droite sur SolidWorks.	67
Figure III. 14: Aileron de 300mm sur SolidWorks	67
Figure III. 15: Assemblage de l'aile.....	68
Figure III. 16: Profil NACA0012 sur Solidworks pour la partie basse de la dérive	68
Figure III. 17: Le Profil NACA0012 pour le stabilisateur et la partie haute de la dérive	68
Figure III. 18: L'empennage vertical de l'avion RC sur Solidworks	69
Figure III. 19: empennage horizontal de l'avion RC sur Solidworks	69
Figure III. 20 : La forme de fuselage de l'avion RC (Abbas AFERNAS) sur SolidWorks ...	70
Figure III. 21: La forme de la roues de l'avion RC.....	71
Figure III. 22: La barre en Aluminium pour la fixation de la roue en arrière de l'avion RC	71
Figure III. 23 : Le support en Acier inoxydable pour la fixation des roues à l'avant de l'avion RC.....	71
Figure III. 24 : L'assemblage final de l'avion RC avec une scène dans le desert.....	72

LISTE DES FIGURES

Figure III. 25: Assemblage final de l'avion RC avec une scène d'une photo à l'université de Béjaia.....	72
Figure III. 26 : Machine de découpe de polystyrène avec un variateur de tension.	73
Figure III. 27 : Méthode de découpe des éléments de l'avion RC.	74
Figure III. 28 : Les deux ailes assemblées avec un dièdre de $2,29^\circ$ et deux winglets.....	74
Figure III. 29: L'état final des empennages arrière de l'avion RC	75
Figure III. 30: L'état final de Fuselage (châssis)	75
Figure III. 31 : Roue de l'arrière avec sa fixation en aluminium	76
Figure III. 32 : Les deux roues à l'avant avec sa fixation	76
Figure III. 33 : L'état final de notre avion RC	77

Chapitre I

Tableau I.1 : . Caractéristiques géométriques d'un profil	20
Tableau I.2 : . Caractéristiques de profil NACA 0012.....	21
Tableau I.3 : . Caractéristiques de profil NACA 4412.....	22
Tableau I.4 : . Caractéristiques de profil Clark Y.....	22

Chapitre II

Tableau II.1 : . Configuration des ailes pour une stabilité transversale.....	52
--	----

Chapitre III

Tableau III.1 : Caractéristiques de servomoteur SG90.....	50
--	----

Acronymes

RC : Radiocommande

PWM : Modulation De La Largeur D'impulsion

PPM : Modulation en position d'impulsions

PCM : Modulation par impulsion coudées

RF: Radio Fréquence

ESC: Electronic Speed controllers

LiPo: Lithium Polymer

Li-Ion : Lithium Ionique

Ni-Mh: Nickel Métal hybride

EPP : polypropylène expansé

FM : Module de fréquence

NACA: le National Advisory Committee for Aeronautics

NASA: National Aeronautics and Space Administration

C.A.O: Conception assistée par ordinateur

Re : Nombre de Reynolds

g : Accélération de pesanteur

Rx : Force de trainée

Rz : Force de portance

Cx : coefficient de trainée

Cz : coefficient de portance

T : Force de traction qui est générée par l'ensemble hélice et moteur électrique

P : le poids de l'avion

e : Epaisseur maximum de profil

F : La flèche de profil

f : la finesse

S : Surface des ailes (ou surface alaire)

V : vitesse de l'avion

α : l'angle d'incidence

ρ : la masse volumique de l'air

ν : Coefficient de viscosité de l'air

G : Centre de gravité de l'avion

Introduction générale

L'homme domestiqua le feu, il inventa la roue, l'agriculture, l'écriture, la boussole... Puis il se demanda s'il peut risquer de voler ? Jusqu'au début du XVII^{em} siècle les humains imaginaient d'une manière plus ou moins réaliste ce que pourrait être une machine volante. C'était en 1903 que les frères Wright ont pour la première fois fait voler un aéronef pendant 40 secondes à peine. Ensuite, une fois le principe compris, l'aviation s'est vite développée [1].

Pendant la Première Guerre mondiale, le développement de l'avion s'est fait rapidement dans le domaine militaire. Puis, à la fin de la guerre, l'aviation dû trouver de nouveaux usages. La poste a notamment décidé d'utiliser des avions pour transporter le courrier. L'aviation s'est encore améliorée en termes d'autonomie. En 1927, Charles Lindbergh a volé sans escale de New York à Paris en 33 heures, traversant avec succès l'océan Atlantique. A l'époque, on avait pensé à l'aviation civile, mais l'avion ne transportait que très peu de passagers [1].

Ce n'est qu'en 1940 que le premier avion à réaction apparaît. Il a d'abord été utilisé à des fins militaires, puis utilisé pour le transport de passagers à la fin de la seconde guerre mondiale. En 1958, le Boeing 707 de 190 places effectue son premier vol de passagers. C'est le premier avion de cette époque qui ressemble le plus à l'avion actuel.

De nos jours, l'aviation ne cesse de s'améliorer. Mais le principe de base de vol reste le même que pour l'avion des Frères Wright. Seuls la sécurité, le confort et le rendement sont les questions que les ingénieurs se posent pour les futurs avions.

Afin de comprendre comment fonctionne un avion, nous allons donc savoir comment les Frères Wright et les autres ingénieurs ont réussi à concevoir leurs avions. Ainsi, il nous sera plus facile de comprendre les problèmes auxquels se sont confrontés les ingénieurs pour que 100 ans après le premier vol, nous puissions prendre l'avion de façon sûre. Afin de comprendre les principes de base de vol d'un avion, nous allons nous pencher sur un modèle réduit d'avion radiocommandé.

Un avion radiocommandé (RC) est un modèle réduit que se pilote grâce à une télécommande. Le principe est que la télécommande envoie un signal radio à un récepteur et que ce récepteur, suivant le signal, contrôle un moteur et des servomoteurs qui actionnent des gouvernes permettant ainsi le contrôle de l'avion [2].

Le but de notre travail est de fabriquer un modèle réduit d'avion qui sera contrôlé à distance par des radios fréquences envoyée par l'émetteur au récepteur. Afin d'atteindre nos objectifs, ce travail est organisé comme suit :

Tout d'abord, dans le premier chapitre nous présentons les avions en général ensuite le mode des radiocommandes et ces applications, tout en décrivons les différents types des radiocommandes et son mode de pilotage et leurs fréquence de travail, ainsi leur utilisation dans le domaine des avions réduits pilotés.

Puis, dans le second chapitre nous nous intéresserons à la compréhension du principe de vol. Comment l'avion vole-t-il ? Quelles sont les différentes forces qui agissent sur elle ? Nous comprendrons ensuite comment un avion fait pour se déplacer dans les trois dimensions à l'aide des ailerons, de la profondeur et de la dérive. A la fin nous développerons les équations mathématiques qui régissent ce système.

Ensuite, le troisième chapitre sera divisé en trois parties, où la première partie est dédiée aux outils matériels et logiciels utilisés pour fabriquer chaque partie de l'avion, la deuxième partie est de réaliser cet avion RC après avoir sa conception sur SOLIDWORKS et la troisième partie de ce chapitre concerne le test de décollage de l'avion.

Je terminerai ce travail par une conclusion générale et quelque perspective.

CHAPITRE I :
Généralités sur les
avions modèles
réduits

I.1 Introduction

Avant même de voler, le premier problème auquel sont confrontés les humains qui veulent imiter les oiseaux est de quitter le sol. Vers 1500, Léonard Vinci, fut le premier à étudier scientifiquement ce problème [1].

Voler est le plus vieux rêve de l'humanité. Avec l'avènement des avions, c'est devenu réalité. Au fur et à mesure de la découverte, des formes et des structures ont été développées pour adapter l'avion à des besoins spécifiques. Dans ce chapitre, je présenterai des informations générales sur les avions et les avions télécommandés et leurs radiocommandes.

I.2 Historique des avions et les avions radiocommandé

Le début de l'aviation est souvent attribué à l'ingénieur français Clément Ader (1841-1925), qui emploie ce mot en 1875 et le dépose en 1890, ce mot est un acronyme ou un retro acronyme qui signifie (appareil volant imitant l'oiseau naturel) qui parvient à décoller et à parcourir plus de 40 m à l'aide d'un aéroplane, Éole. Cependant, en raison de la hauteur de vol (20 cm), l'essai n'est pas qualifié de premier vol. C'est le 17 décembre 1903 qu'Orville et Wilbur Wright effectuent une série de quatre vols sur une plage de Caroline du Nord. Leur appareil est un biplan composé de deux ailes de 12 m d'envergure, d'une hélice et d'un moteur à explosion. Le terme « aéroplane » devient « avion » en hommage à Clément Ader, qui avait nommé ses appareils par ce terme. Ce nom se développe après la première guerre mondiale [1].

Comme en voit sur la photo illustrée sur la figure (I.1), vers 1900, les premiers avions utilisaient le bois et des tissus d'origine naturelle comme principaux matériaux. Très vite, dès 1911, nous voyons apparaître le métal dans la construction aéronautique, peu à peu les fuselages sont revêtus d'acier et les voilures d'aluminium. Depuis, avec l'évolution des techniques, de nouveaux matériaux ont été développés, améliorant sans cesse les performances en matière de solidité et de légèreté au niveau des structures.



Figure I.1 : Photo d'un des premiers avions fabriqués.

Les premiers exemples de modèles réduits RC sont des ballons dirigeables gonflés à l'hydrogène au XIXe siècle. Ils volaient dans des music-halls (grande salle de spectacle où se produisent des artistes de variétés) pendant l'entracte pour distraire le public, ils étaient guidés par un signal radio rustique généré par un arc électrique ou arc de POULSEN selon le nom de son inventeur VALDEMAR POULSEN (RC à arc électrique est utilisé pour convertir du courant continu en énergie radioélectrique).

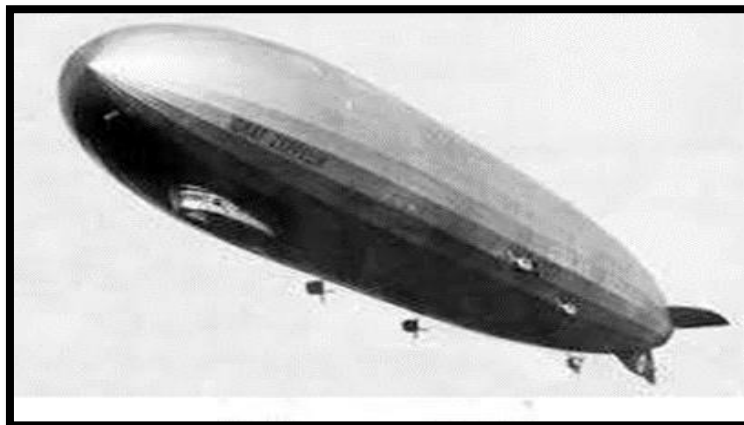


Figure I.2 : Ballons dirigeable gonflés RC

Dans les années 1920, le Royal Aircraft Establishment d'Angleterre construisit et testé le Larynx, un monoplan RC disposant d'un rayon d'action de 160 km (selon les performances, la vitesse, la charge utile et l'endurance) muni d'un moteur Lynx.



Figure I.3 : Moteur Lynx

Puis dans les années 1930, les Britanniques développèrent le QueenBee (la reine des abeilles) un de Havilland Tiger Moth modifié (au lieu d'un fuselage en métal recouvert d'un tissu Tiger Moth, ils ont utilisé un fuselage en bois), et un avion cible similaire (a été conçu comme un avion cible RC à faible coût).



Figure I.4 : Avion Queen Bee de Havilland Tiger Moth

I.3 Différent types des avions

Les deux grandes catégories sont les avions civils (commerciaux ou de tourisme) et les avions militaires [4].

I.3.1 Avions civils

Les avions civils peuvent être classés comme suite :

- **Avions de ligne** : Elle désigne un appareil utilisé pour le transport de passagers sur des bases commerciales ;
- **Avion d'affaire** : Elle désigne la branche du transport aérien consacrée au transport de passagers à la demande dans un but non touristique ;

- **Avions légers** : L'aviation légère désigne l'ensemble des activités aériennes destinées aux loisirs, aux sports et au tourisme ;
- **Avions ultra légers** : Un planeur ultra léger motorisé, couramment appelé ULM, est un aéronef ultra léger muni d'un moteur et dont les conditions de navigabilité spécifiques sont simplifiées par rapport la certification d'un avion léger, ils sont autorisés à décoller et atterrir dans des distance plus réduites que les avions légers, bien que ceux-ci sont les plus performants ;
- **avions modèle réduit RC** : Les avions radiocommandés (RC) sont des modèles réduits pilotés (aéronef à voilure fixe) à l'aide d'une télécommande.

I.3.2 Avions militaires

Un avion militaire est un avion développé pour répondre aux besoins des forces armées d'un pays. Il existe deux catégories principales, en fonction des missions :

I.3.2.1 Avions de combat

C'est des avions dotés d'armements offensifs, comme :

- **chasse, interception** : Un avion d'interception (ou intercepteur) est un type d'avion de chasse conçu spécifiquement pour arrêter et détruire des avions ennemis avant qu'ils atteignent leur objectif. Il s'agit principalement d'empêcher les bombardiers adverses d'attaquer le territoire national ;
- **attaque au sol** : Un avion d'attaque au sol ou avion d'assaut est un avion militaire conçu pour attaquer des cibles au sol telles que des chars ou des troupes ennemies ;
- **guerre électronique** : L'Avion de guerre électronique consiste en l'exploitation des émissions radioélectriques d'un adversaire et, inversement consiste à l'empêcher d'en faire autant. Il s'agit donc de toutes les opérations visant à acquérir la maîtrise du spectre électromagnétique, pour intercepter et/ou brouiller les ordres ou informations circulant dans les systèmes de communication de l'adversaire. La guerre électronique se subdivise en trois branches : l'attaque, le soutien et la protection ;
- **bombardement tactique ou stratégique** : Un bombardier est un avion militaire conçu pour détruire des cibles au sol, initialement à l'aide de bombes mais aussi de nos jours à l'aide de missiles air-sol tels que des missiles de croisière.

I.3.2.2 Avions de soutien

C'est des avions non armés ou dotés d'armes de défense ou de radars, comme :

- **reconnaissance, surveillance, patrouille maritime** : sont des avions militaires conçus pour contrôler l'espace aérien et maritime, identifier des objectifs potentiels en territoire ennemi, et plus généralement obtenir des renseignements sur les mouvements d'une force armée ;
- **transport de troupe, de matériels** : Les avions de transport militaires permettent de transporter des hommes et du matériel sur les zones de conflit ;
- **largage de parachutistes** : Le largage aérien est une forme de livraison de matériel par la voie des airs, avec l'utilisation des parachutes sans atterrissage de l'aéronef chargé du transport ;
- **école, entraînement** : Un avion d'entraînement est un avion militaire utilisé pour former les équipages au pilotage, à la navigation et au maniement du système d'arme. Ils sont parfois appelés avion-école, bien que ce terme soit plutôt utilisé pour les avions destinés à la formation des pilotes civils ;
- **ravitaillement en vol** : Un avion ravitailleur est un avion ou drone utilisé pour le réapprovisionnement en carburant ou munitions d'autres aéronefs en vol (avions, drones et hélicoptères principalement).

I.4 Eléments de base d'un avion

L'avion est un aéronef, mû par un moteur, et qui se maintient en l'air à l'aide de réactions aérodynamiques sur des surfaces portantes, inventé au début du XX^e siècle par les frères Wright [5].

Il est composé aussi d'autres éléments importants qui assurent leur aéromodélisme (ses ailes, fuselage, dérive, stabilisateur, les gouvernes, hélice et les trains d'atterrissage), ses éléments qui, lorsqu'ils sont combinés, permettent le vol. Comme elle se montre la figure ci-dessous.

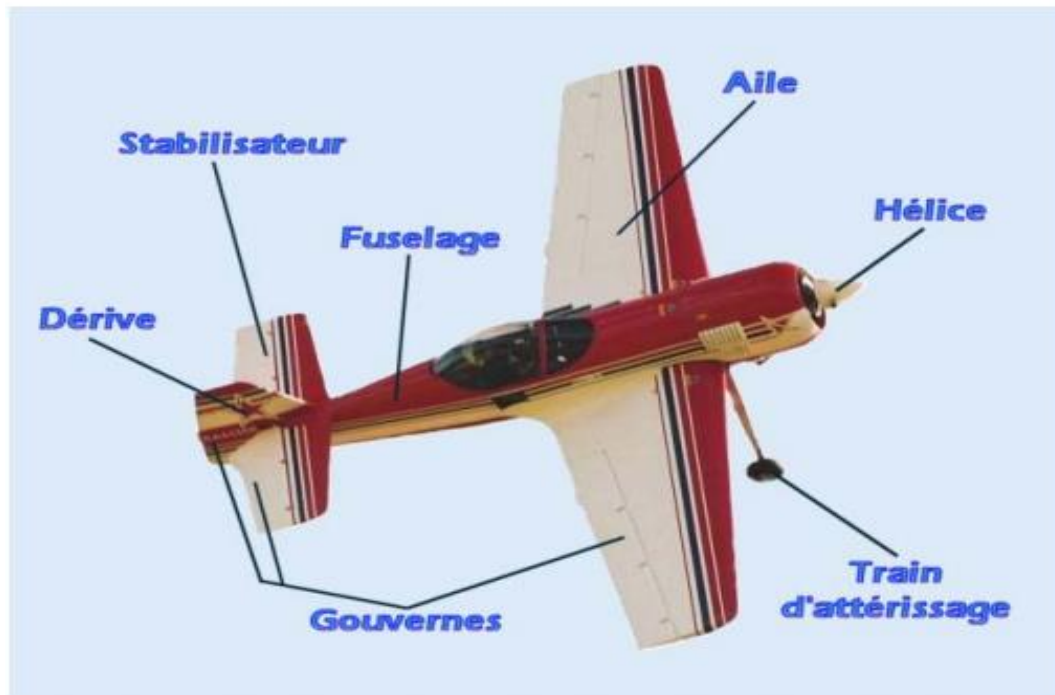


Figure I.5 : Eléments de base d'un avion

I.5 Fonctionnement d'un avion

Toute l'aviation repose sur le principe de quatre forces : la poussée du moteur, le poids, l'effet de la gravité sur l'avion et sur la résultante des forces aérodynamiques : la portance et la traînée. Ainsi, quatre vecteurs s'exercent : la traction à l'avant, la traînée à l'arrière, la portance vers le haut et le poids vers le bas de l'appareil. Pour que l'avion puisse se maintenir en vol, la traction doit être compensée par la traînée, et le poids équilibré par la portance. Le pilotage consiste donc à trouver un point d'équilibre, en sachant que la réduction des gaz entraîne une diminution de la traction et que la portance est proportionnelle au carré de la vitesse.

Aujourd'hui, l'aviation est un mode de transport de plus en plus utilisé, et l'amélioration des techniques de vol et des moteurs permet de réduire la durée des vols [6].

I.5.1 Principe d'aéronautique de base

En vol, l'avion est soumis à quatre forces principales : La traction exercée par le moteur et son hélice, la traînée engendrée par l'ensemble de l'appareil, le poids de ce dernier ainsi que la portance de ses ailes, comme elle montre la figure ci-dessous.

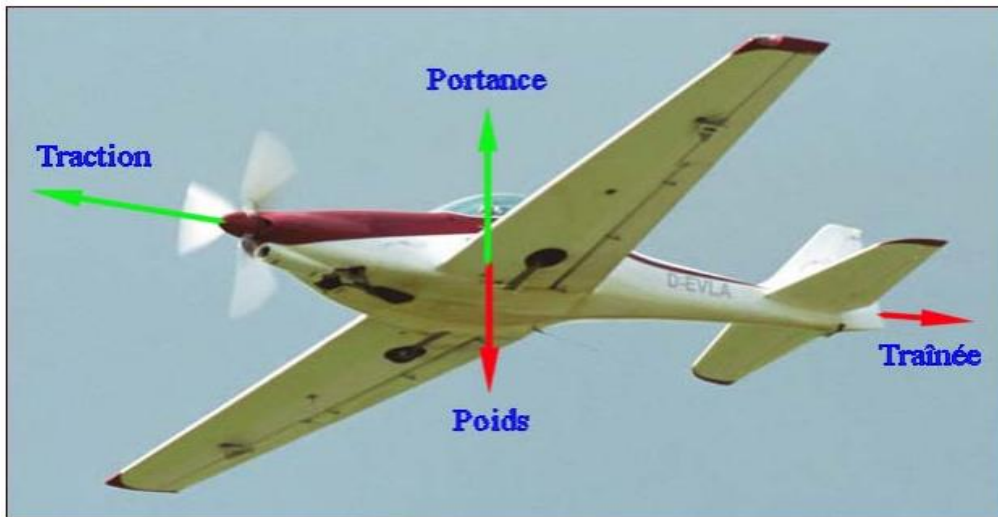


Figure I.6 : Forces principales exercées sur un avion en air

Ces forces peuvent être matérialisées par des vecteurs, Dans les trois schémas suivants les vecteurs correspondent à ceux de l'image ci-dessus.

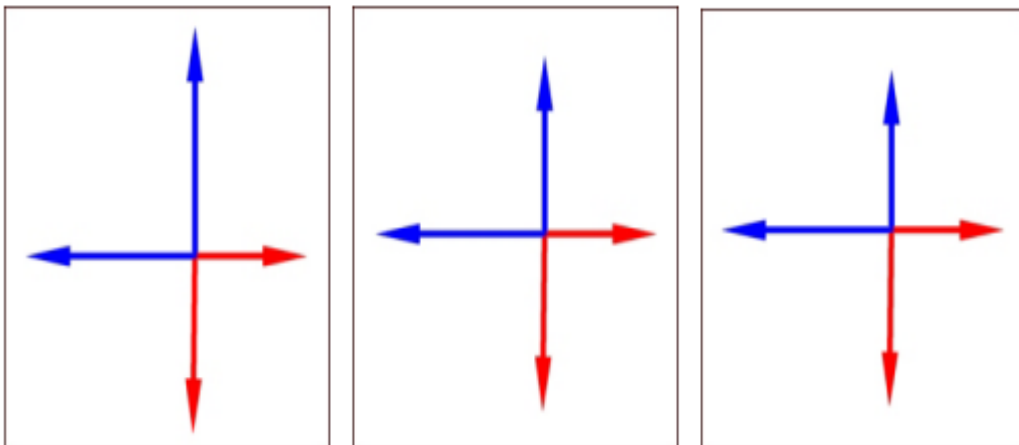


Figure I.7 : Les différentes forces appliquées sur un avion

- Le premier représente les forces appliquées sur un avion en phase ascensionnelle : La portance est supérieure au poids et la traînée est inférieure à la traction, par conséquent l'appareil avance et s'élève ;
- Le second schéma représente les forces appliquées sur un avion en palier : Portance et poids s'annulent, par conséquent l'appareil avance sans changer d'altitude ;
- Dans le troisième cas, la portance est inférieure au poids de l'avion, de ce fait l'appareil descend.

L'élément clé générant la portance c'est les ailes de l'avion.

I.6 Avions radiocommandés

Les avions radiocommandés (RC) ou modélisme aérien ou aéromodélisme sont des modèles réduits pilotés à l'aide d'une télécommande. Ils utilisent une communication radio entre une télécommande émettrice et un récepteur situé dans l'avion. Le récepteur contrôle les servomoteurs actionnant les gouvernes ou d'autres fonctions de l'avion en fonction des ordres de commande du pilote donnés de la position des joysticks de l'émetteur. L'utilisation d'avions radiocommandés en tant que loisir est en augmentation constante du fait de la disponibilité des pièces plus petites et moins chères, ainsi que grâce aux avancées technologiques. Une grande variété de modèles et de styles est disponible afin de satisfaire à toutes les envies et à tous les budgets. Du fait de la disponibilité et des avancées en accumulateurs électriques et moteurs électriques, un nombre grandissant d'utilisateurs utilisent des avions électriques plutôt que thermiques (fonctionnant le plus souvent au mélange méthanol/huile ou à l'essence). Les avions électriques sont en effet plus faciles à construire, comparant l'avion thermique [6].



Figure I.8 : Avion RC à moteur électrique

I.6.1 Types des avions RC

Il existe de nombreux types d'avions radiocommandés, des Park Flyers et des avions d'entraînement, pour les débutants ; des avions à bougie, moteur électrique ou des planeurs pour les pilotes plus avancés [6].



Figure I.9 : Avion RC Park Flyers

Pour les experts, on trouve des jets, des hélicoptères, ou autres types d'avions de compétition.



Figure I.10 : Hélicoptère RC

Il est également possible de construire des modèles à l'échelle d'avions réels.



Figure I.11 : Modèle d'avion réel RC

Certains appareils peuvent également ressembler à des oiseaux et voler comme tels.



Figure I.12 : Oiseaux RC

I.6.2 Types de kits et construction

Il existe différentes méthodes pour construire et assembler des aéronefs télécommandés. De nombreux kits sont disponibles sur le marché, sont plus ou moins chers, et nécessitent plus ou moins de compétences ou d'expérience du fabricant. Certains kits sont principalement constitués de mousse et de plastique ou de bois de balsa [2].



Figure I.13 : Plaques de Balsa

Les modèles les plus robustes ont leurs structures constituées de bois ou peuvent également comporter des ailes composites en polystyrène expansé recouvert d'un plaquage de bois. Ces modèles sont généralement plus lourds que ceux de construction traditionnelle et conviennent donc mieux à des avions motorisés qu'à des planeurs [2].



Figure I.14 : Plaques en Polystyrène

Les constructions les plus légères sont généralement réservées au vol en salle dans un environnement sans vent. Certains d'entre eux sont faits de fines structures de balsa et de fibres de carbone recouvertes d'un très fin fils synthétique. L'appareil constitués de mousse légère et parfois renforcés de fibre de carbone ont rendu le vol plus accessible aux amateurs. Les modèles « Crash proof » en mousse EPP (Polypropylène expansé) sont si souples qu'ils ne subissent peu ou pas de dommages lors d'un accident, même en cas de crash sur le nez de l'appareil.



Figure I.15 : Plaques en EPP



Figure I.16 : Fils en fibres de carbone

I.6.3 Fonctionnalités des différentes parties d'un avion radiocommandé

Nous allons montrer les parties essentielles de l'aile, comme les volets et les ailettes (Winglet), et leurs rôles dans un grand avion dans l'image suivante :



Figure I.17 : Représentation des volets et winglet dans l'avion réel

- **Volets** : c'est une surface mobiles appelés volets ou Flaps (en anglais), ils se situent au bord de fuite des ailes entre le fuselage et les ailerons, ils sont utilisés pour augmenter la surface des ailes dans le décollage ou pour la diminuer à l'atterrissage ;
- **Ailettes (Winglets)** : Certains types d'avions réel utilisent les ailettes qui permette d'améliorer la stabilité en vol et réduire la trainé.

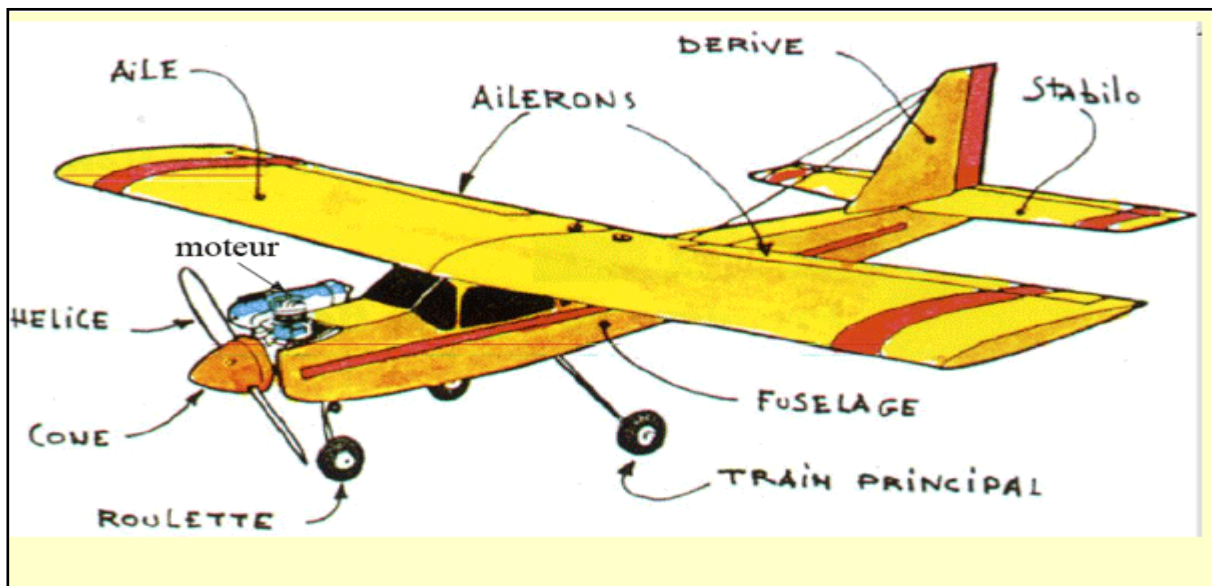


Figure I.18 : Les différentes parties d'un modèle réduit d'avion RC

Afin de faire voler un avion et de le diriger dans ces trois axes, le pilote doit impérativement avoir le contrôle de ses gouvernes et de ses moyens de propulsion. Les gouvernes sont les ailerons, la profondeur et la gouverne de direction. Les moyennes de propulsion sont le moteur et l'hélice.

I.6.3.1 Système de propulsion

C'est le composant qui génère la force de poussée nécessaire pour déplacer l'avion vers l'avant. L'hélice et les moteurs à réaction produisent une poussée en jetant l'air vers l'arrière. En manipulant la puissance du moteur, nous pouvons contrôler l'amplitude de la force résultante tandis que sa direction est fixée le long de l'axe longitudinal de l'avion.

- **L'hélice :** Le principe de l'hélice est similaire à celui de l'aile, en effet la forme y ressemble beaucoup. Il est avantageux d'avoir une hélice profilée car l'air est plus accéléré et engendre une dépression plus grande. La force de traction, par conséquent est plus importante.

En effet, ce n'est pas un flux d'air venant d'en face qui crée cette dépression. C'est l'hélice qui, en tournant grâce au moteur, ce qui crée son vent relatif et accélère l'air. Comme l'hélice tourne très vite, la dépression est appliquée sur tout le rayon de l'hélice. On obtient une force de traction qui permettra à l'avion d'accélérer et d'atteindre sa vitesse de décollage.

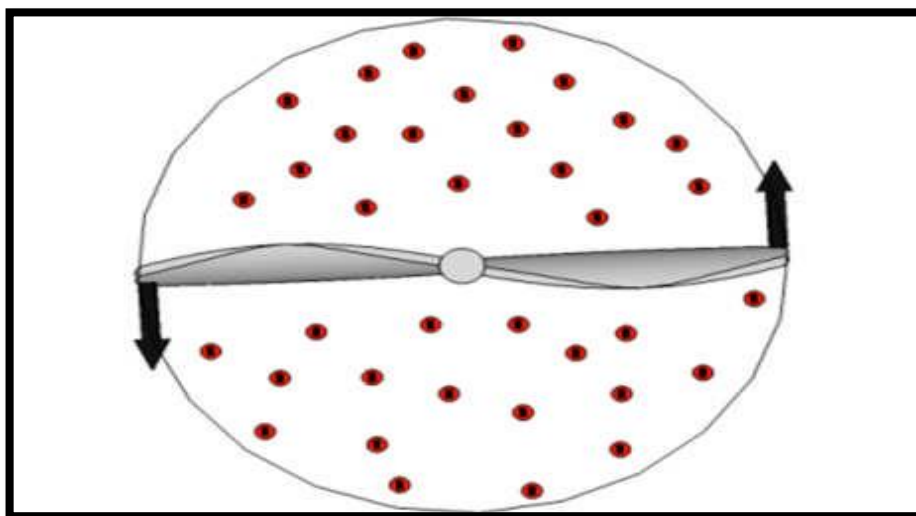


Figure I.19 : Représentation de la dépression fait par une hélice qui tourne

- **Le moteur :** Le principe d'un moteur électrique d'avion RC est illustré à la figure I.19. Il est alimenté par un courant continu fourni par un générateur ou une batterie. Le moteur se compose de deux parties principales, le stator qui est uniquement équipé d'aimant et le rotor qu'est composé de deux noyaux de fer enroulé d'une bobine [7].

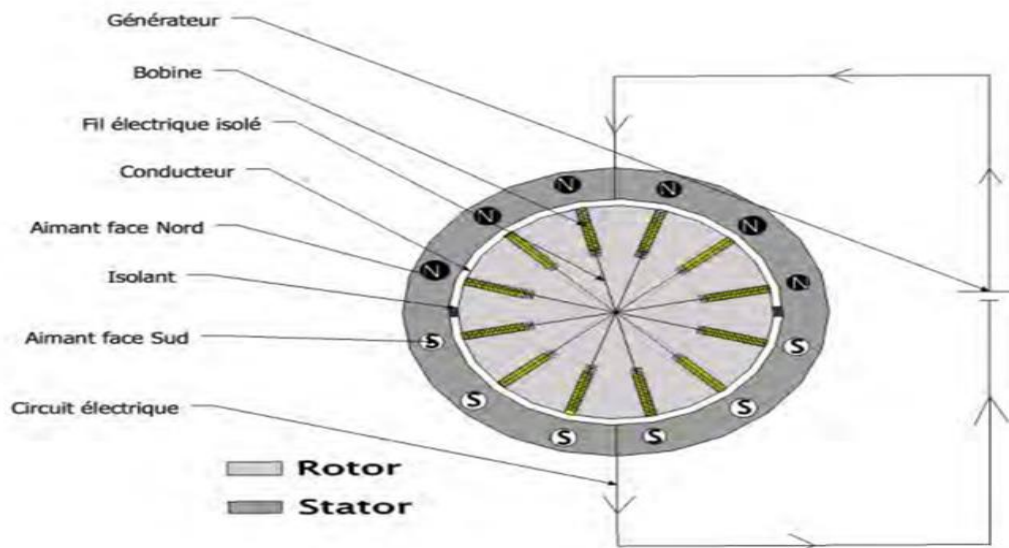


Figure I.20 : Principe du moteur électrique d'un avion RC

Le principe du moteur électrique est qu'un courant va passer tout d'abord dans un conducteur, pour ensuite traverser les bobines. Les bobines sont divisées en deux parties. Donc le conducteur alimente seulement la partie supérieure des bobines. Le courant, en traversant les bobines crée un champ magnétique et crée un électroaimant. Nous avons donc une partie Nord et une partie Sud de la bobine. Comme la partie Nord de la bobine est attirée par la partie Sud des aimants et inversement le rotor doit tourner ainsi pour satisfaire à cette demande. Lorsque ceci est presque accompli, c'est l'autre partie du conducteur qui est alimentée. Donc les pôles des bobines s'inversent et la rotation continue.

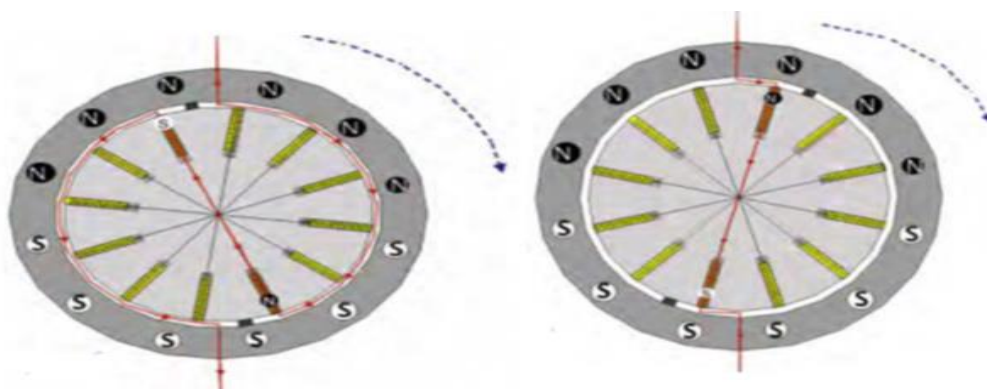


Figure I.21 : Schéma explicatif de changement de pôles dans le moteur

Le principe de fonctionnement est plus facile à comprendre lorsqu'il n'y a qu'une seule bobine. Avoir plusieurs bobines augmente la puissance du moteur et c'est ce que nous recherchons en aviation. Le fait d'avoir plusieurs bobines a comme conséquences qu'il y en a toujours une qui se précède son aimant. Donc le rotor tourne plus vite.

I.6.3.2 Aile d'avion RC

C'est l'élément de base de tout avion que ce soit grand avion ou un modèle réduit RC, elle a une forme et un profil permettant à l'appareil de voler. Elle est munie d'organes importants qui permettent de contrôler l'avion, dans notre cas de réalisation les ailes sont munies juste de deux parties une est fixe et l'autre mobile (ailerons), plus d'autres parties qui sont obligatoires pour un avion comme l'emplanture qui est une partie qui assure la jonction de l'aile avec le fuselage, en plus la partie de saumon qui est l'autre extrémité de l'aile.

Depuis Clément Ader, les ingénieurs et les constructeurs ont rivalisé d'audace et d'ingéniosité pour concevoir les ailes d'un aérodyne ainsi que leur emplacement par rapport au fuselage, nous avons 7 positions possibles pour les ailes d'avion dont je vais le représenter ci-après [10] :

- A) Monoplan parasol :** Sur un monoplan parasol l'aile est fixée sur des haubans, eux-mêmes attachés au-dessus du fuselage. Des mâts fixés au fuselage maintiennent la rigidité de l'aile ;
- B) Biplan :** Un avion biplan est pourvu de deux paires d'ailes, placées l'une au-dessus de l'autre. Ce type d'avion fut beaucoup utilisé pendant la 1ère guerre mondiale 14-18. Sa construction se poursuivit entre les deux guerres, où il servait souvent d'avion d'entraînement ;
- C) Triplan :** Un avion triplan est pourvu de trois paires d'ailes, placées les unes au-dessus des autres. Ce type d'avion permettait d'avoir une bonne portance pour une envergure limitée augmentant ainsi la maniabilité ;
- D) Sesquiplan :** Le sesquiplan est un avion biplan dont l'aile inférieure (basse) a une envergure plus petite que l'aile supérieure (haute) ;
- E) Ailes hautes :** Ce type d'aile est utilisé principalement pour les avions à hélices, notamment les turbopropulseurs qui ont un diamètre d'hélice important. L'inconvénient est le train d'atterrissage qui est positionné soit dans le fuselage avec un empattement faible (donc sensible au vent de travers au sol), soit dans les ailes avec des grandes jambes de train (d'où une augmentation du poids) ;
- F) Ailes médianes :** Seuls certains avions de chasse les utilisent encore. Leurs attaches passant dans le fuselage diminuent le volume d'emport de celui-ci.
- G) Ailes basses :** Elles équipent actuellement tous les avions de transport à réaction, sauf quelques gros avions de transport de fret comme Antonov An 225. Donc ce type a des

avantages comme ses jambes de train plus courtes que sur une aile haute, ce qui permet de faciliter la maintenance des réacteurs en escale.

I.6.3.2.1 Dièdre

Le dièdre est l'angle (en degrés) entre l'axe transversal et l'axe du longeron. Il peut être positif ou négatif et participe à la stabilité de l'aérodyne [10].

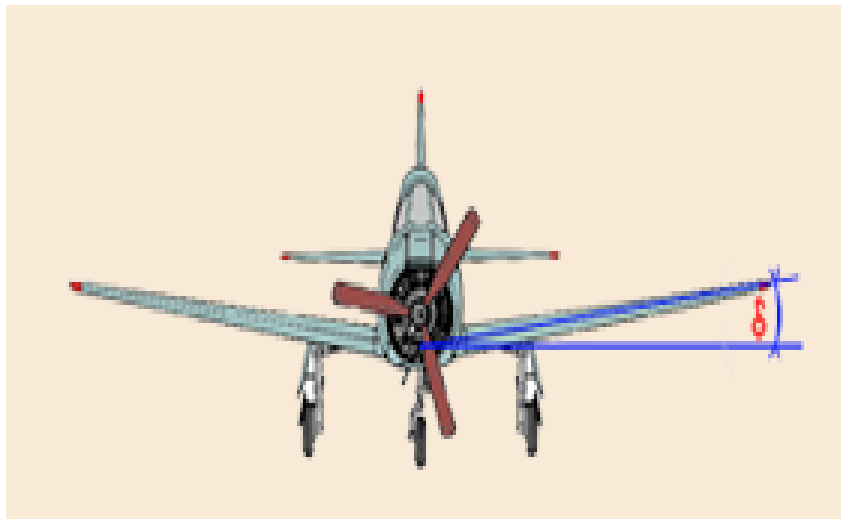


Figure I.22 : avion RC avec un dièdre positif

I.6.3.2.2 Forme des profils d'aile

Comme elle montre la figure (I.22) ci-dessous, le profil est une section verticale de l'aile (1) par un plan parallèle au plan de symétrie de l'avion (2). Cette section détermine un contour géométrique que l'on utilise pour figurer le profil d'une aile d'avion [11].

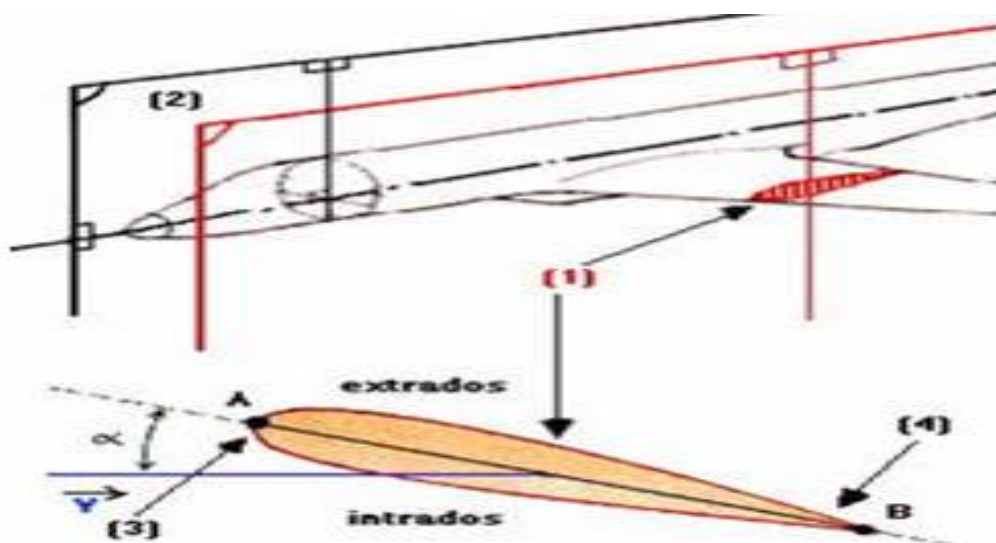


Figure I.23 : Emplacement des profils dans l'aile d'avion

- **Bord d'attaque (A) :** C'est le point à l'avant du profil au sens de l'écoulement d'air, les filets d'air arrivant sur le bord d'attaque sont divisé en deux sections de part et d'autres d'un point d'arrêt pour être expédiés du côté de l'intrados et de l'extrados, leur but est d'augmenter la portance maximale par l'augmentation de l'angle d'attaque auquel va se produire le décrochage ;
- **Bord de fuite (B) :** C'est la partie la plus arrière du profil, qui a pour but de diminuer la traînée aérodynamique qui fait l'effet de frein ;
- **Extrados :** C'est la ligne joignant le bord d'attaque au bord de fuite par le dessus ;
- **Intrados :** C'est la ligne joignant le bord d'attaque au bord de fuite par le dessous ;
- **Corde du profil :** C'est le segment (AB) qui joint le bord d'attaque au bord de fuite ;
- **Incidence :** C'est l'angle (α) que forme la corde (AB) avec le vent relatif (Y).

I.6.3.2.3 Historique des profils NACA

En 1915, un comité a été formé aux Etats Unis d'Amérique, afin d'accélérer le développement de la technologie dans le domaine de l'aviation. Ce comité est connu sous le nom de Comité Consultatif National de l'Aéronautique (NACA), dont l'actuelle appellation est NASA (National Administration of Space and Aeronautics). Les membres du comité ont reconnu, entre-autres, la nécessité de développer efficacement les ailes des avions. Les scientifiques de la NASA ont permis, par des changements apportés à la géométrie de l'aile, des améliorations dans les performances aérodynamiques, qui n'ont pas pu être obtenues auparavant. Après avoir fait des recherches intensives sur les ailes, ce comité a publié son numéro avec une série d'ailes à quatre chiffres. Dans cette série, on retrouve quatre chiffres qui définissent la forme générale de l'aile, comme par exemple NACA 4412. Le NACA, en outre, a étudié l'effet de la forme aérodynamique sur les caractéristiques aérodynamiques du profil afin d'accroître la portance et réduire la traînée. Ceci a abouti à des profils NACA à cinq chiffres comme par exemple NACA 23012 [1].

Ces profils sont divisés en deux parties : l'extrados au-dessus et l'intrados au-dessous. Ces profils sont caractérisés par un bord d'attaque à l'avant, une pointe à l'arrière appelée bord de fuite et une épaisseur représentant la distance maximale entre l'extrados et l'intrados. Sa forme est décrite à l'aide d'une série de chiffres qui suit le mot « NACA », comme la montre la figure ci-dessous.

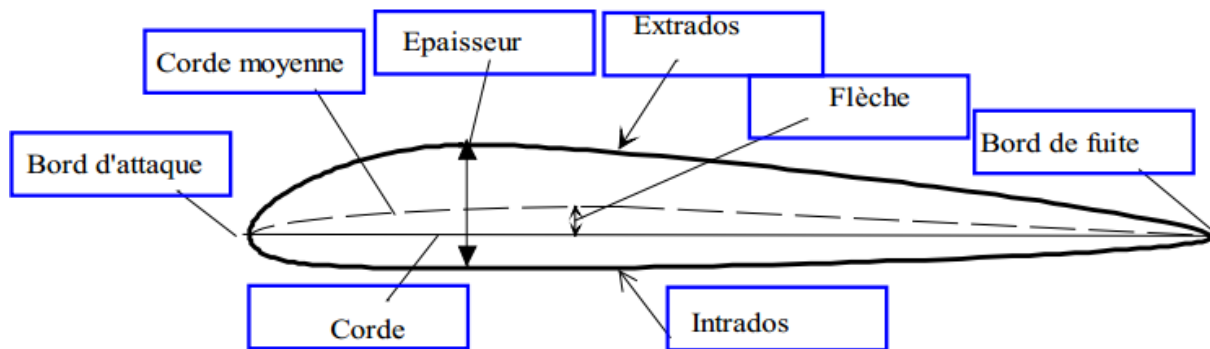


Figure I.24 : Exemple des caractéristiques géométriques d'un profil NACA

Les paramètres aérodynamiques des profils dépendent fortement des caractéristiques géométriques du profil présenté sur la figure (I.23) [10].

Tableau I.1 : Caractéristiques géométriques d'un profil

Repère	Désignation	Repère	Désignation
A	Bord d'attaque	e	Epaisseur maximale du profil
B	Bord de fuite	f	La flèche maximale
AMB	Extrados	c	La corde (Segment AB)
ANB	Intrados	d	Distance de (A à f)

I.6.3.2.4 Types des profils d'aile d'avion

Il existe plusieurs types de profil d'aile pour vol subsonique qui se caractérise par la forme de l'aile.

- **Profils biconvexes**

a) Symétrique :

L'intrados et l'extrados convexes sont symétriques par rapport à la corde. La ligne moyenne est rectiligne et confondue avec la corde. L'air parcourt strictement la même distance sur l'intrados que sur l'extrados. Afin de créer une incidence il est monté de biais sur les avions. Sa construction nécessite beaucoup de précision car la moindre dissymétrie ferait varier les résultats souhaités [12].

Il existe de nombreux types de profils des empennages biconvexes symétriques, mais les plus connus sont notamment : EPPLER 168, NACA 0012.

Dans ma réalisation j'ai utilisé le profil NACA 0012 pour les empennages horizontaux et verticaux. Comme se représente la forme dans la figure ci-dessous.

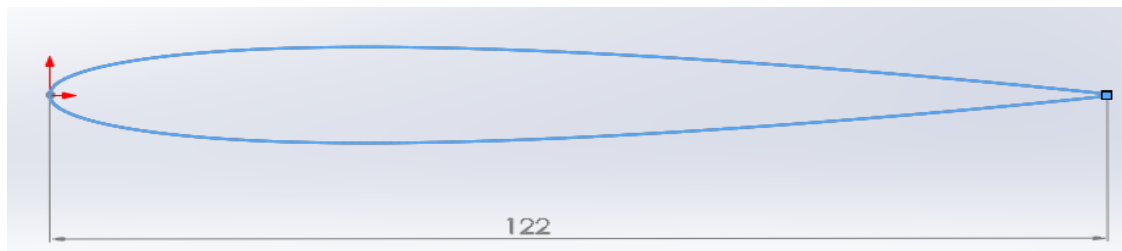


Figure I.25 : La forme de profil NACA 0012 sur SolidWorks

Tableaux I.2 : Caractéristiques de profil NACA 0012

Profil	Epaisseur	Cambrure	Finesse max	α	C_{m0}	C_z à 0°	C_x à 0°
NACA 0012	12%	0%	12,58 pour 4° incidences	0	0	0	0,0138

Avantages

Parfait pour les empennages

Parfait pour la voltige

Défauts

Profil rapide

Fabrication soignée obligatoire

b) Dissymétriques :

Ici l'extrados est plus grand que l'intrados car la ligne moyenne est légèrement cambrée. Ce type de profil est favorable à une vitesse de vol relativement lente. Lui aussi est utilisé pour la voltige même si il est moins performant que le profil ci-dessus car il perturbe d'avantage l'écoulement de l'air [12].

Les ailes les plus représentatives de ce type de profil sont les (NACA 4415, NACA 4412), dans cette réalisation pratique on utilisera le profil NACA4412 pour les ailes. Voici la forme du profil NACA 4412 sur Solidworks et ses caractéristiques qui sont représentées dans la figure et le tableau juste après.

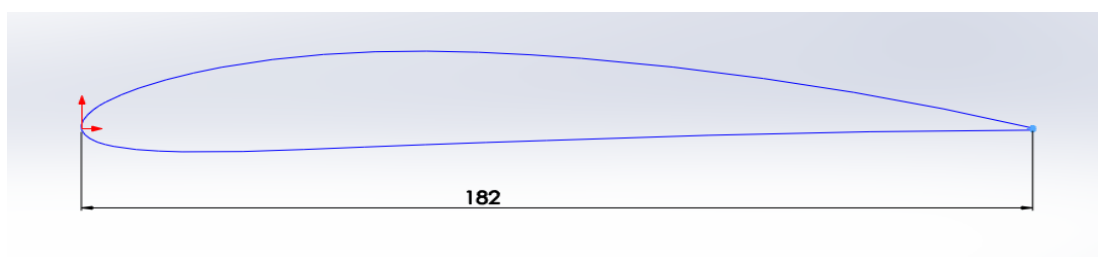


Figure I.26 : La forme de profil NACA 4412 sur Solidworks

Tableaux I.3 : Caractéristiques de profil NACA 4412

Profil	Epaisseur	Cambrure	Finesse max	α	C_{m0}	C_z à 0^0	C_x à 0^0
NACA 4412	12,02%	3,30%	14,27 pour 4^0 incidences	-4,20	-0,10	0,146	0,0165

Avantages

- Bon profil pour les ailes d'avions et planeurs d'entraînement ;
- Parfait pour la voltige.

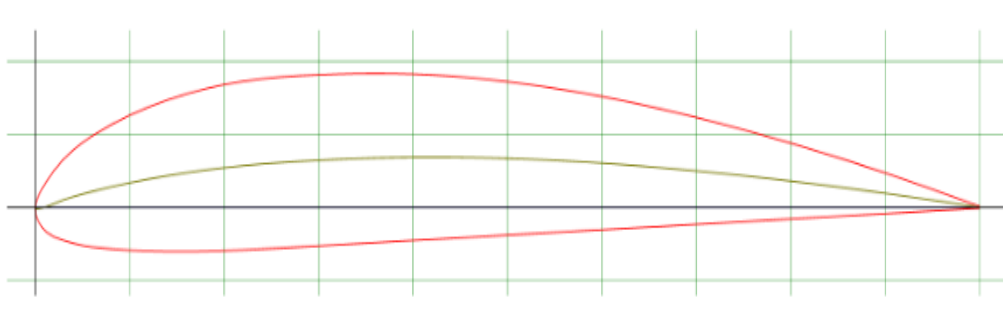
Défauts

- Attention au vrillage de l'aile à la construction ;
- Fabrication soignée obligatoire.

- **Profils convexes**

Ce profil a une forte portance avec des très faibles incidences et une traînée moyenne. En revanche, il est adapté à des vols plutôt rapides si son extradós est un peu cambré. Inversement, il sera parfait pour des vols plutôt lents si son extradós est très cambré. Il est très souvent utilisé dans le modélisme car il est plutôt facile à construire et donne de bon résultat [12].

L'aile la plus représentative de ce type de profil est la CLARCK Y. que je vais représenter dans la figure ci-dessous.

*Figure I.27 : Profil convexe CLARCK Y**Tableaux I.4 : Caractéristiques de profil Clark Y*

Profil	Epaisseur	Cambrure	Finesse max	α	C_{m0}	C_z à 0^0	C_x à 0^0
CLARK Y	11,68%	2,27%	16,9 pour 4^0 incidences	-3,76	-0,08	0,26	0,017

- **Profils creux**

A Classique

L'extrados est plus grand que l'intrados car elle possède une très forte cambrure. Ce profil est très porteur mais très instable. Son principal avantage est de créer une portance correcte à vitesse faible. Il est très utilisé pour les vols indoor (discipline qui consiste à faire évoluer des modèles réduits dans un espace fermé) car il n'a pas besoin d'une grande vitesse pour porter. De plus, la trainée l'empêche d'aller trop vite ce qui permet de faire des virages très serrés [12].

L'aile la plus représentative de ce type de profil est la GOT 500

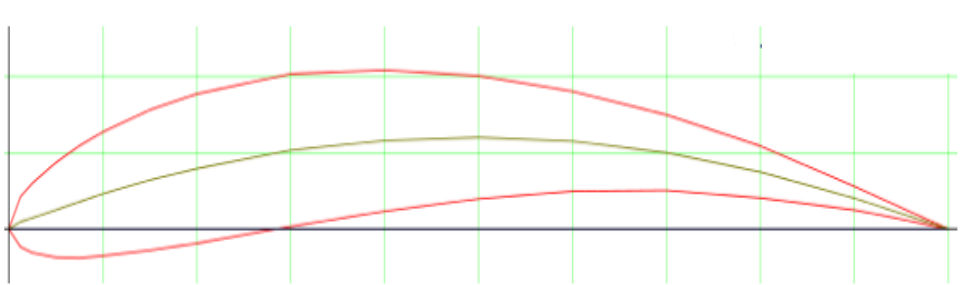


Figure 1.28 : Profil creux de type GOT 500

B JEDELSKY

Est un profil creux inventé par JEDELSKY, qui porte aujourd'hui son nom et qui consiste à transformer les deux tiers du profil en une simple planche ce qui rend sa construction beaucoup plus facile. Il possède les mêmes propriétés énoncées précédemment.



Figure 1.29 : Forme de profil creux de type JEDELSKY

- **Profils double courbure**

Ce profil, dit "AUTOSTABLES", a la particularité d'avoir une ligne moyenne à double courbure. La seconde courbure de la ligne moyenne confère des qualités de stabilité [12].

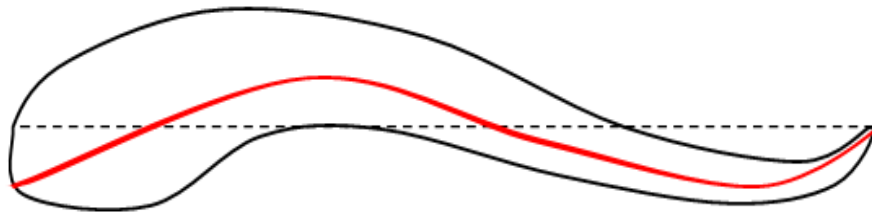


Figure I.30 : Représentation de la forme de Profil double courbure

Nous observons que la ligne moyenne (en rouge) est à double courbure. La double courbure lui permet de gagner en stabilité. Ce profil est utilisé sur les ailes volantes.

- **Profils supercritique**

Voici un exemple dans la figure ci-dessous

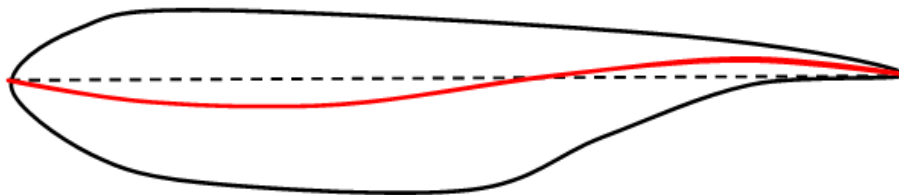


Figure I.31 : Représentation de la forme de Profil supercritique

Nous observons également que la ligne moyenne est à double courbure. Nous notons que l'extrados est relativement plat. Ce profil est très épais comparé à un profil classique, ce qui va permettre la construction d'aile plus rigide ; donc d'une plus grande envergure. Son volume important va être mis à profit puisque les ailes vont être remplies de carburant. Ce profil est prévu pour des vols à vitesse élevée, il est utilisé sur les avions de ligne telle que les Airbus [12].

I.6.3.2.5 Principe de BERNOULLI

Ce principe est formulé en 1738 par le mathématicien et physicien suisse Daniel Bernoulli, et antérieurement par Leonhardt Euler. Le principe de Bernoulli montre que la vitesse du fluide augmente lorsque la pression exercée sur le fluide diminue. Cette loi a été appliquée pour optimiser la forme des ailes d'un avion [11].



Figure I.32 : Représentation de principe de Bernoulli appliqué sur un profil d'aile.

On remarque que la flèche rouge est plus longue que la verte ; donc que la vitesse de l'air au-dessus de l'aile sera plus grande que celle au-dessous de l'aile, car dans un même temps, l'air passant au-dessus du profil aura parcouru une plus grande distance. En effet, la forme d'une aile est telle que l'air y circule plus rapidement sur sa surface supérieure (extrados) que sur sa surface inférieure (intrados). De ce fait, la pression de l'air sur l'extrados est inférieure à celle qui s'exerce sur l'intrados. La différence de pression qui en résulte est à l'origine de la poussée ascendante qui maintient l'avion en vol. Ceci peut être illustré par une expérience simple : en soufflant sur une bande de papier, on accélère le fluide du dessus de la bande, créant une dépression et une surpression qui font s'élever la bande de papier dans l'air.

I.6.3.3 Empennages de l'avion RC

- **Le stabilisateur horizontal** : C'est une petite aile horizontale située à la queue de l'avion utilisée pour éviter tout mouvement indésirable ;
- **Stabilisateur vertical** : C'est une petite aile verticale située à la queue de l'avion utilisée pour éviter les mouvements latéraux, appelé aussi dérive.

I.6.3.4 Fuselage

C'est le composant qui relie toutes les pièces. Il a une forme aérodynamique afin de réduire la force de traînée qui en résulte. D'où le nom fuselage est issu du verbe fuseler qui signifie rendre étroit.

I.6.3.5 Radiocommande (RC)

Une radiocommande de modélisme est un instrument permettant de commander un modèle réduit d'avion RC à distance. Elle est généralement équipée de deux leviers permettant le contrôle de la puissance du moteur et de la direction. On trouve également des modèles avec molette et une gâchette pour les modèles réduits de voitures. Elles peuvent être très simples

(levier de profondeur et de direction et celle des gaz pour les avions) ou très complexes (changement de canaux et de modes) [17].



Figure I.33 : Radio commande des modèles réduits des voitures



Figure I.34 : Radio commande pour les modèles réduits des avions

I.6.3.5.1 Historiques des radiocommandes

En 1894, le premier exemple de contrôle sans fil à distance fut lors d'une démonstration du physicien britannique Oliver Lodge, dans laquelle il utilisa un cohérent de Branly pour faire déplacer un faisceau de lumière par un galvanomètre à miroir lorsqu'une onde électromagnétique était générée artificiellement. Guglielmo Marconi et William Preece l'affinèrent encore lors d'une manifestation qui eut lieu le 12 décembre 1896 au Toynbee Hall de Londres, où ils firent sonner une cloche en enfonçant un bouton dans une boîte qui n'était connectée à aucun fil [17].

En 1898, lors d'une exposition au Madison Square Garden, Nikola Tesla a fait la démonstration d'un petit bateau sans pilote qui utilisait une radiocommande cohérente. Avec un peu de mise en scène, Tesla a amusé le public pour faire croire que le bateau pouvait apparemment obéir aux ordres du public mais il était en fait contrôlé par Tesla interprétant les demandes verbales et envoyant des fréquences appropriées aux circuits accordés dans le bateau, Tesla a obtenu un brevet américain sur cette invention le 1^{er} Juillet 1898.

En 1903, l'ingénieur espagnol Leonardo Torres Quevedo présenta le "Telekino" à l'Académie des Sciences de Paris et obtint un brevet en France, en Espagne, en Grande-Bretagne et aux Etats-Unis.

Pendant la 1^{er} guerre mondiale, l'inventeur américain John Hays Hammond développa de nombreuses techniques de contrôle radio ultérieures, notamment le développement de torpilles télécommandées, de navires, de systèmes antibrouillage et même d'un système permettant à son vaisseau télécommandé de cibler un navire ennemi. En 1922, il installa des équipements de radiocommande sur l'USS Iowa, un navire de guerre américain obsolète, afin de pouvoir l'utiliser comme navire-cible.

Dans les années 1930, le Royaume- Uni a mis au point le Queen Bee, un aéronef télécommandé, piloté par téléguidage, pour la pratique du tir d'artillerie d'une flotte. Le Queen Bee a été remplacé par Queen Wasp, un aéronef cible de haute performance.

Les radios qui que nous utilisons actuellement font leur apparition au début des années 1970, et la miniaturisation des composants électroniques a fait d'énormes progrès et fiabilité depuis cette époque, ce qui a permet de réaliser des contrôle de radio qui transmis des modulations de fréquences.



Figure I.35 : Bateau radiocommandé de Nikola Tesla

I.6.3.5.2 Types des radiocommandes

Essentiellement, il existe 2 types des radiocommandes que nous allons présenter ci-après [17] :

- **Les basiques** : Ce sont généralement des ensembles de 2 à 8 voies, sans possibilité de réglage autre que l'inversion du sens de rotation des servomoteurs.
- **Les programmable** : Ce sont des radiocommandes équipés d'un soft (programmes) permettant de multiples réglages comme les courses des servomoteurs, les neutres, les inversions, les mixages etc... Ces radiocommandes peuvent asservir jusqu'à 18 voies pour les plus complètes. Les plus récentes permettent également une mise à jour de leur soft via un PC.

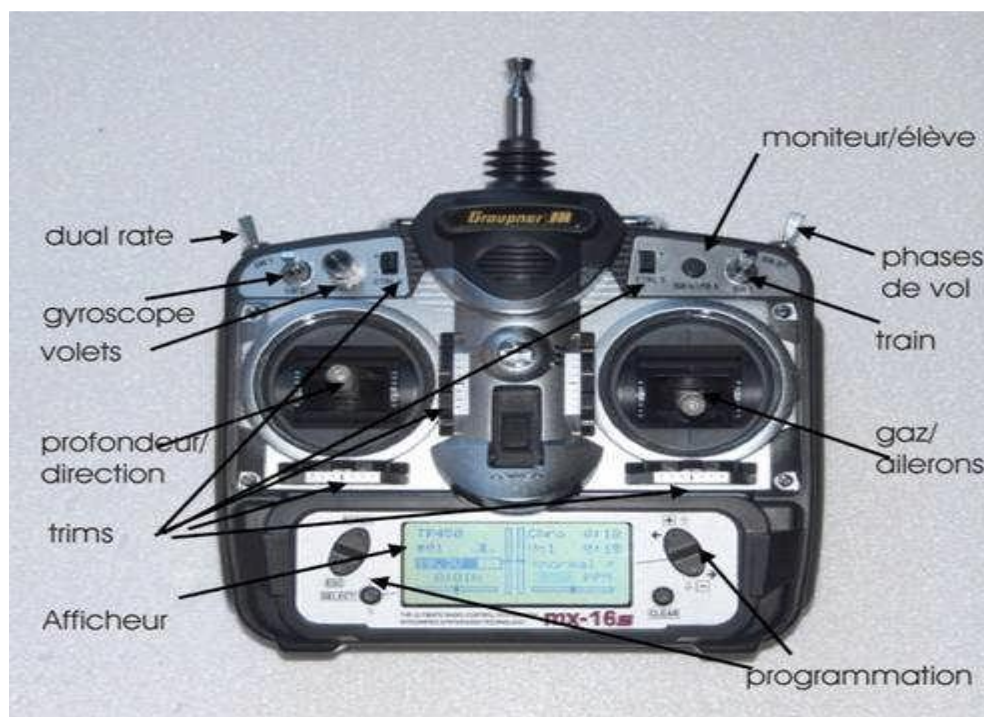


Figure I.36 : Radiocommande de type programmable

Dans notre réalisation de l'avion modèle réduit RC, il faut qu'on utilise une radiocommande au minimum 6 voies de type programmable, pour bien commandés les 2 servomoteurs des empennages arrière et bien contrôler l'inversion de sens des servomoteurs des ailerons.

I.6.3.5.3 Mode de pilotage des radiocommandes de types programmables

Ces radiocommandes permettent à l'utilisateur de choisir le mode de pilotage qui lui convient mieux. Gaz à gauche, gaz à droite, ailerons à gauche, ailerons à droite etc... .

4 modes de pilotage sont disponibles sur ces types des radiocommandes, comme ce représente dans la figure I.37 ci-dessous [17].

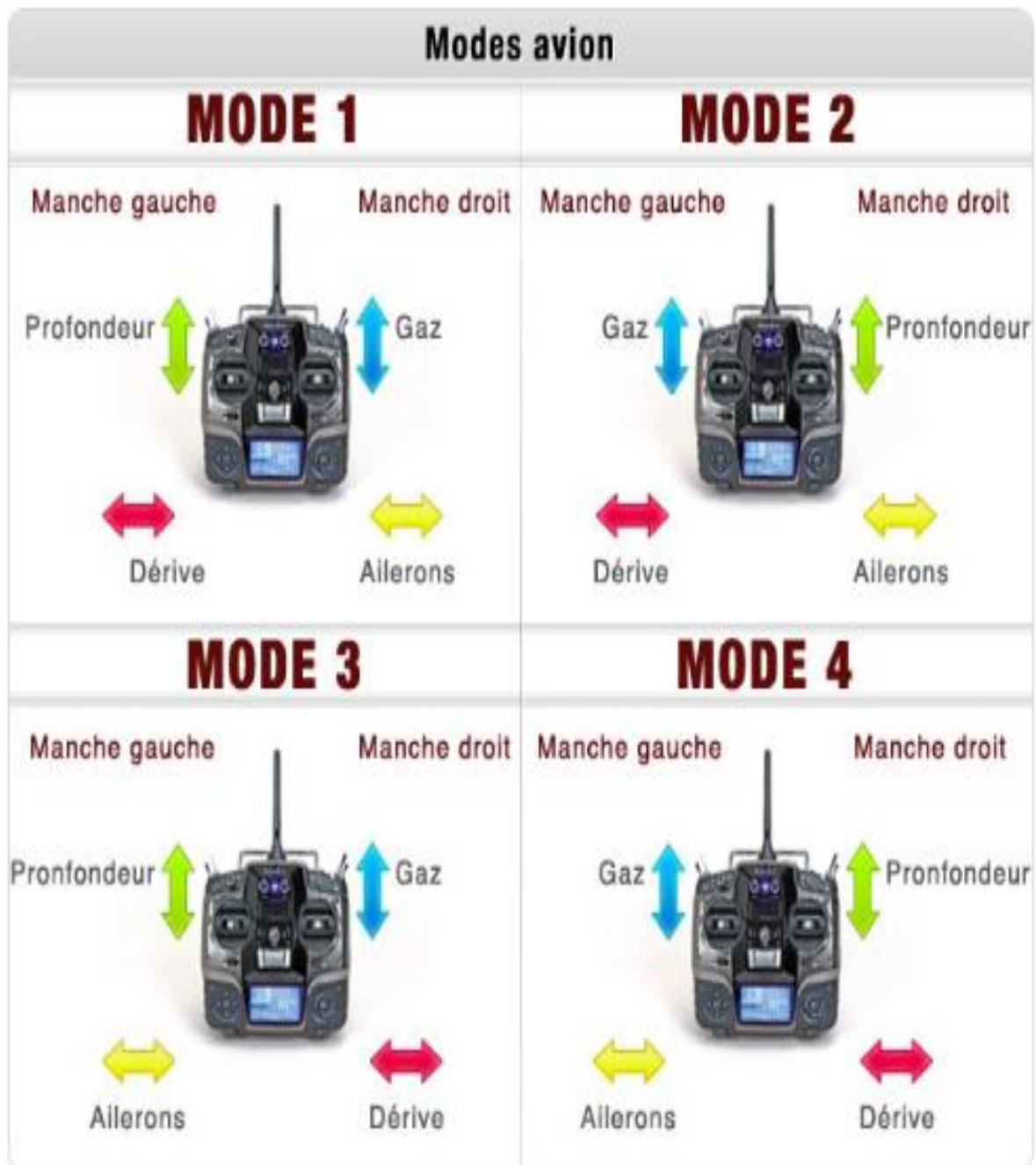


Figure I.37 : Les modes de pilotage d'avion avec une RC programmable

Après le mode de pilotage, il faut choisir sur l'émetteur quel type de modèle on veut faire évoluer, avion, planeur, hélicoptère...etc, après ces premières informations, il faut également souvent préciser le type d'aile du modèle, nombre des servomoteurs pour les ailerons, le type d'empennage du modèle, normal, papillon (en v), un ou deux servomoteurs pour la profondeur, modèle Delta, aile volante... en fonction des besoins de l'utilisateur.

I.6.3.5.4 Composition des radiocommandes

I.6.3.5.4.1 Composition de l'émetteur et le récepteur

Un émetteur, équipé d'un module haute fréquence, d'une antenne et d'un quartz (de 2,4 GHz). Un ou plusieurs récepteurs en fonction de la taille du modèle et des impératifs de sécurité, équipés d'un quartz ou d'un récepteur 2,4 GHz sur la même fréquence que l'émetteur, et d'une antenne de réception. D'une batterie de réception. Des servomoteurs qui transmettent mécaniquement aux gouvernes mobiles les ordres reçus par le récepteur.

Dans le cas d'une propulsion électrique, d'un variateur/contrôleur, qui permet de varier la puissance du moteur et d'alimenter le récepteur via la batterie de propulsion [14].

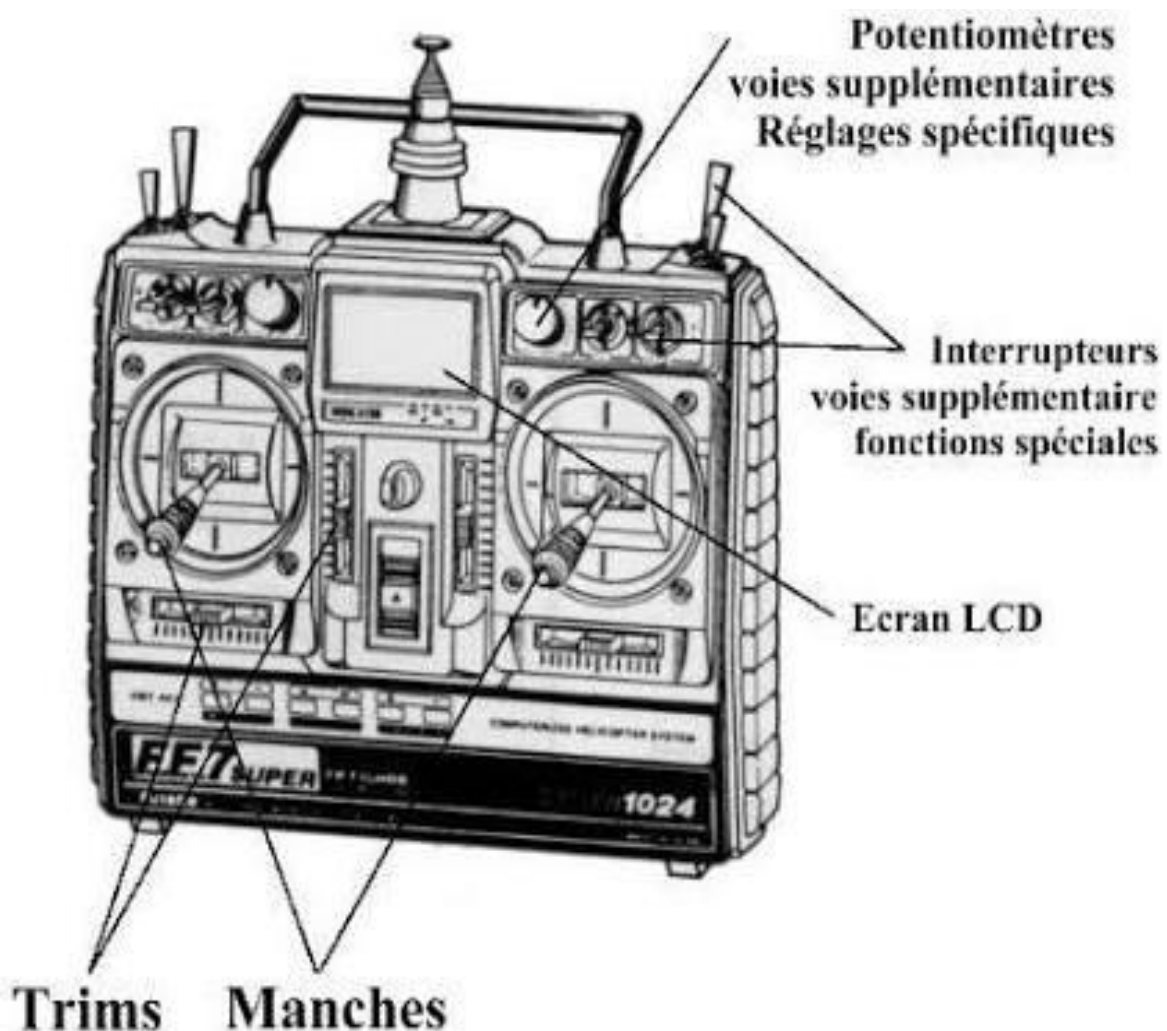


Figure I.38 : Radiocommande émetteur RF 2.4 GHZ

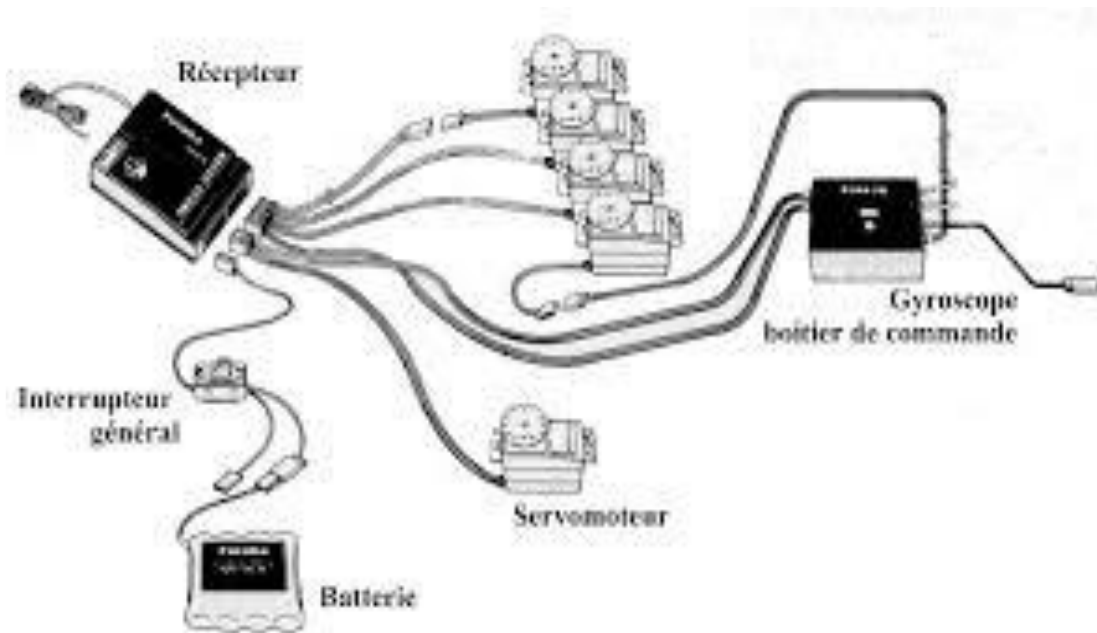


Figure I.39 : Récepteur 2.4 GHZ alimenté et câblé avec des servomoteurs et un gyroscope

I.6.3.5.4.2 La fréquence de travail

La plupart des ensembles de radiocommande utilisés pour notre travail fonctionnent désormais sur la bande des 2,4Ghz. Cette bande de fréquences offre beaucoup d'avantages par rapport aux autres bandes comme le 26, le 35, le 41, ou le 72Mhz. Parmi les principaux, on peut citer la possibilité d'un très grand nombre d'utilisateurs simultanés sans avoir besoin de gérer les fréquences et la télémétrie qui permet désormais de savoir ce qui se passe dans le modèle en temps réel grâce à des capteurs [14].



Figure I.40 : Radio fréquence de 2.4 GHZ

I.6.3.5.4.3 Modulation [6]

Les radios émettent un signal en FM (modulation de fréquence) selon trois types de modulation. Le mode PPM, meilleur marché que le mode PCM, est généralement utilisé sur les appareils RC d'entrée de gamme. La moindre fiabilité du mode PPM le rend plus adapté aux petits modèles qui sont moins dangereux que des appareils plus lourds. Les radios haut de gamme offrent trois modes (PCM et PPM et PWM) afin d'offrir une compatibilité avec la majorité des récepteurs

1. PWM Modulation de largeur d'impulsion (MLI) : C'est le protocole de radiocommande le plus courant et le plus basique. Autrefois, lorsqu'il n'y avait que des avions à ailes fixes RC, les récepteurs étaient utilisés pour contrôler les servomoteurs ou l'ESC directement avec un signal PWM standard, un canal pour chaque servomoteur. Jusqu'à aujourd'hui, la même technologie est encore utilisée dans de nombreux modèles. PWM signifie Pulse Width Modulation (en anglais). C'est un signal analogique où la longueur de l'impulsion spécifie la sortie du servomoteur ou la position de l'accélérateur. La durée de l'impulsion du signal varie normalement entre 1000 μ s et 2000 μ s (microsecondes), 1000 μ s étant le minimum et 2000 μ s le maximum.

Le récepteur radio PWM est l'option la plus courante et généralement la moins chère ;

2. Pulse Position Modulation PPM : PPM (modulation en position d'impulsion) est également connue sous le nom de CPPM ou PPMSUM. L'avantage de PPM est qu'un seul fil de signal est nécessaire pour plusieurs canaux (généralement 8 canaux maximum), au lieu d'un certain nombre de fils individuels. Vous ne devez donc connecter que le câble de masse, d'alimentation et de signal.

Un signal PPM où fondamentalement une série de signaux PWM envoyés les uns après les autres sur le même fil, mais le signal est modulé différemment. Son inconvénient principal est l'absence de détection d'erreur ;

3. Pulse Code Modulation PCM : PCM signifie (modulation par impulsion codée), c'est un type de données similaire à PPM. Cependant, le signal PCM est un signal numérique (utilisant des uns et des zéros) tandis que le signal PPM est analogique, ce qui correspond à la durée pendant laquelle le signal est activé. Le PCM a le potentiel de détecter les erreurs de signal, voire de corriger les erreurs, mais cela dépend toujours du produit que vous achetez. Le PCM est plus fiable et moins sensible aux interférences, mais une conversion supplémentaire est nécessaire, de sorte que l'équipement a tendance à être plus coûteux.

I.6.3.5.5 Fonctionnalités et montage d'une radiocommande

L'émetteur envoie ses ordres (position des manches) au récepteur par ondes radios «haute fréquence». Celui-ci les transmet alors à des actionneurs : servomoteurs, variateur de vitesse (ESC) pour moteur électrique [14].

- **Emetteur de base :** L'émetteur se présente sous la forme d'un pupitre équipé de manches qui actionnent des potentiomètres (résistances à curseur), voire la figure I.36.
- **Récepteur :** Le récepteur se présente sous la forme d'un petit boîtier de la taille d'une boîte d'allumettes. Il y sort une antenne filaire. Un petit groupe de connecteurs permet d'y raccorder le pack d'accus (ou les piles) de réception, les servomoteurs, variateurs.

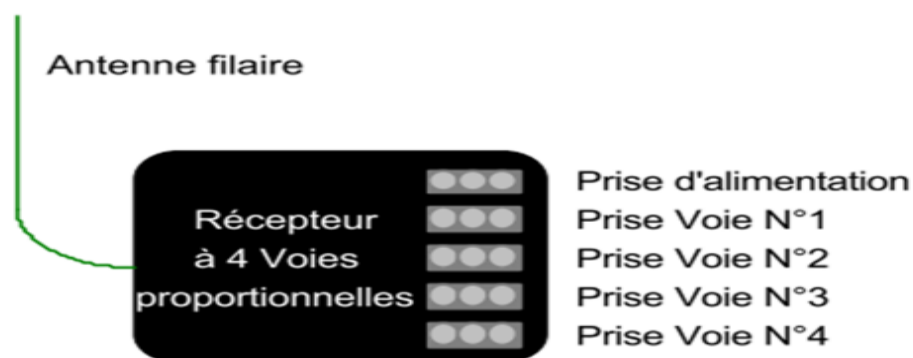


Figure I.41 : Exemple d'un récepteur à 4 voies proportionnelles

Dans la figure ci-dessous I.41 je montre le montage complet d'électronique d'avion RC en utilisant 2 voies du récepteur.

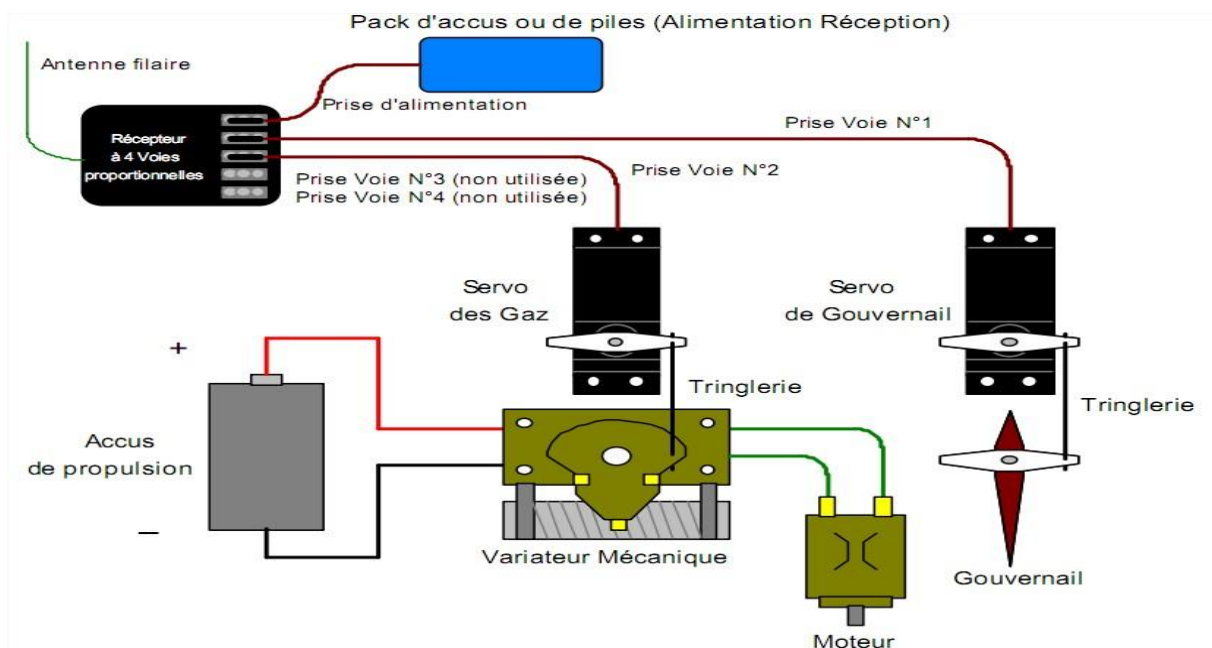


Figure I.42 : montage complet de 2 voies du récepteur

- L'émetteur il reçoit les ordres des deux manches et les transforme en un signal électrique qui module une onde radio ;
- Le récepteur il transforme l'onde radio de l'émetteur en autant des signaux de commande puis à leur tour il commande l'ensemble moteur et servomoteurs celui-ci permettra de transmettre un mouvement à un palonnier de gouvernail ou de variateur mécanique, par exemple ;
- L'accumulateur de réception il fournit l'énergie à la partie embarquée ;
- Les servomoteurs il reçoit un ordre de position du récepteur et le traduit en angle sur leur palonnier ou variateurs mécanique.

I.7 Utilisation des avions RC

Il est utilisé généralement pour les missions de surveillances et dans la récolte d'information dans les champs de batailles, en plus de ses applications militaires le drone est aussi utilisé dans des applications civiles telles que l'agriculture, ou la surveillance de zone.

I.7.1 Utilisation des avions RC militaires

Ils sont décomposés en trois grandes catégories, les missions militaires confiées aux drones et les avions RC sont [15] :

- La surveillance et le renseignement ;
- Le support au combat ;
- Le combat proprement dit.



Figure I.43 : Avion RC militaire

I.7.2 Utilisation des avions RC civiles

Comme dans le domaine militaire, les exemples d'applications potentielles peuvent être divisés en plusieurs catégories pour un usage civil [15].

- **La surveillance et l'observation :** (Etudes scientifiques, étude de l'atmosphère, des sols (géologie) et des océans, études et prévisions météorologiques, surveillance d'urgence, incendies de forêts, avalanches, volcans, tornades Recherche et sauvetage...etc.) ;
- **Des missions exploitant le vecteur aérien :** (Transport de fret, cartographie, utilisation par l'industrie cinématographique, largages de vivres et d'équipements de sauvetage en zones hostiles ;
- **Des missions spécifiques :** (Relais de communications, missions dangereuses (détection de gaz toxiques, radiations), recherche et sauvetage (mer, montagnes, désert...)).

I.8 Avantages et inconvénients des avions RC

Les avions modèles réduits présentent de nombreux avantages que l'on peut résumer ici [15] :

- L'absence d'équipage à bord permet des missions de plus longue durée ;
- Les capacités physiologiques de l'homme sont dépassées ;
- L'absence de toute forme d'exposition du pilote aux risques ;
- L'absence de tout sentiment de crainte ou de stress dans l'action ;
- La polyvalence relative d'emploi, flexibilité, modularité ;
- Le traitement des cibles fugitives (Time Sensitive Target) ;
- La réduction des coûts financiers de conception, d'entretien.

Ils présentent aussi des lacunes, Un certain nombre de missions semblent être définitivement irréalisables par des vecteurs non habités. La mission de défense aérienne en est l'exemple caractéristique. Cette mission implique un niveau de complexité élevé, tant dans les moyens de détection, d'identification et d'acquisition des cibles que dans les armements et nécessite également une capacité permanente d'adaptation en temps réel à la situation, au traitement de l'opportunité et à l'attitude de l'adversaire. Les drones ou les avions RC tactiques présentent une vulnérabilité en eux-mêmes mais également fragilisent le réseau d'information dans lequel ils sont insérés, en complexifiant le système. En utilisant des drones, on est plus dépendant de la technologie sur le champ de bataille. Malgré la haute technologie des drones, leur usage et l'interprétation des informations qu'ils fournissent ne sont pas toujours aisés. Les

erreurs d'interprétation sont nombreuses (dommages collatéraux) et le recrutement et la formation d'interpréteurs difficiles.

I.9 Conclusion

Dans ce chapitre on a présenté les généralités sur les avions réel, les avions RC et ces différents radiocommandes avec ces applications.

Nous avons décrit les différents types des radiocommandes et son mode de pilotage ainsi que leur fréquence de travaille, toute en citons leur utilisation dans le domaine des avions réduit piloté.

Dans le chapitre prochain, nous présenterons les principes de vol des avions et les différentes forces qui agissent sur elle, puis nous développerons les équations mathématiques qui régissent ce système.

CHAPITRE II :
Modélisation du vol
pour un avion à
voilure fixe

II.1 Introduction

Ce chapitre est consacré à la modélisation dynamique d'un avion à voilure fixe et à la description de système, sa structure générale et son principe du vol ainsi les forces aérodynamiques exécuter sur l'avion.

II.2 Principe du vol d'un avion à voilure fixe

La conception d'un contrôleur de vol efficace pour un avion commence par une bonne compréhension des principes de la théorie de vol. Un manque de connaissances sur l'aérodynamique peut provoquer des commandes d'entrée inappropriées lorsque l'avion fonctionne à la limite de ses performances. Pour cette raison, l'objectif de cette section est de fournir un aperçu de base de la mécanique du vol.

II.2.1 Forces aérodynamiques

Les principes fondamentaux de l'aérodynamique impliquent l'interaction entre un objet solide et l'air qui circule autour de corps de cet objet en maintenant le contact en tous points. Compte tenu du cas d'un avion en vol, les variations de pression le long de ses composants, causées par le contact physique avec l'air, génèrent une force aérodynamique qui agit à travers le centre de pression. Cette force peut être résolue en une composante normale à la direction de l'écoulement de l'air qui s'appelle portance « lift », et une composante le long de la direction de l'écoulement de l'air qui s'appelle traînée « drag » [9].

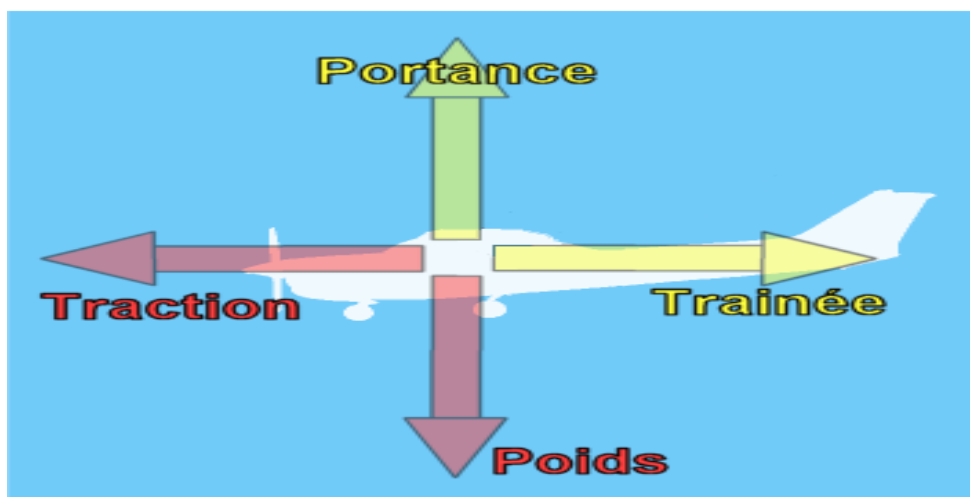


Figure II.1 : Les forces qui agissent sur un avion dans un référentiel terrestre (Galiléen)

On admet que les quatre forces en vol s'exercent en un point unique appelé centre de gravité.

II.2.1.1 Forces de poids (la gravité) et de traction

- **Le poids** : C'est une force verticale dirigée de haut vers le bas, appliquée au centre de gravité de l'avion, s'exprime de la façon suivante :

$$P = m * g \quad (II.1)$$

Où :

P : poids en newton (N) ;

m : masse en Kg ;

g : accélération de la pesanteur (9,81 m/s²).

La force de gravité agit sur la masse totale de l'avion, elle s'applique en un point « le centre de gravité », elle est dirigée vers le centre de la terre et s'exprime en Newton.

C'est contre cette force que l'aéronef doit lutter pour s'élever dans les airs. Pour que l'altitude soit constante, il faut que la valeur de la portance soit égale à celle du poids.

Le poids joue aussi un rôle dans le choix des matériaux et dans la structure de l'avion car la voilure et le fuselage subissent des efforts importants [19].

- **La traction** : C'est la force fournie par l'ensemble (moteur et hélice) notée (T). Cette force est liée au niveau de l'écoulement de l'air dans le sens avant de l'avion RC. Elle dépend du (pas et du diamètre) de l'hélice et de la puissance du moteur électrique, qui fait entraîner l'hélice. Par conséquent une puissance de moteur suffisante est nécessaire pour compenser la force de traînée.

II.2.1.2 Forces de portance et de traînée (résultante aérodynamique)

- **La portance** : Est une force perpendiculaire à l'écoulement de l'air, le principe qui permet d'assurer la portance d'un aéronef a été théorisée par le physicien, mathématicien et médecin suisse Daniel Bernoulli (1700–1782) [19].

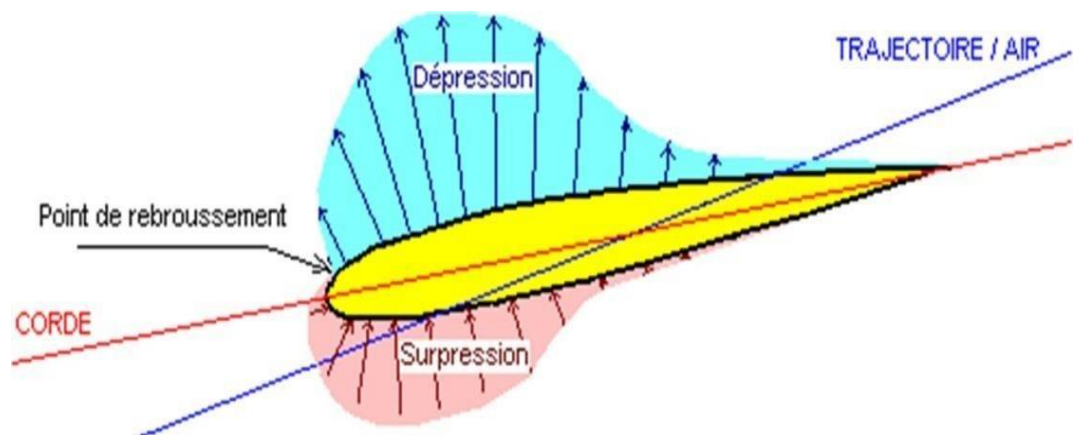


Figure II.2 : Répartition des pressions autour d'un profil

La portance, quant à elle, peut être calculée via la formule :

$$R_z = \frac{1}{2} C_z \rho S v^2 \quad (\text{II.2})$$

Où :

S : Surface des ailes ;

C_z : Coefficient de portance de l'aile.

ρ : La masse volumique du fluide dans lequel se trouve l'avion (l'air) ;

v : La vitesse de l'avion.

En regardant l'annexe A, nous pouvons voir que la variation du coefficient de portance est proportionnelle à la variation de l'angle d'incidence [18].

- **La traînée :** Lorsqu'un objet se déplace, il crée une traînée qui résiste à son avancement. Chaque profil est étudié pour que sa traînée soit le plus faible possible mais aucun profil ne peut avoir une traînée nulle. Le C_x caractérise les performances du profil.

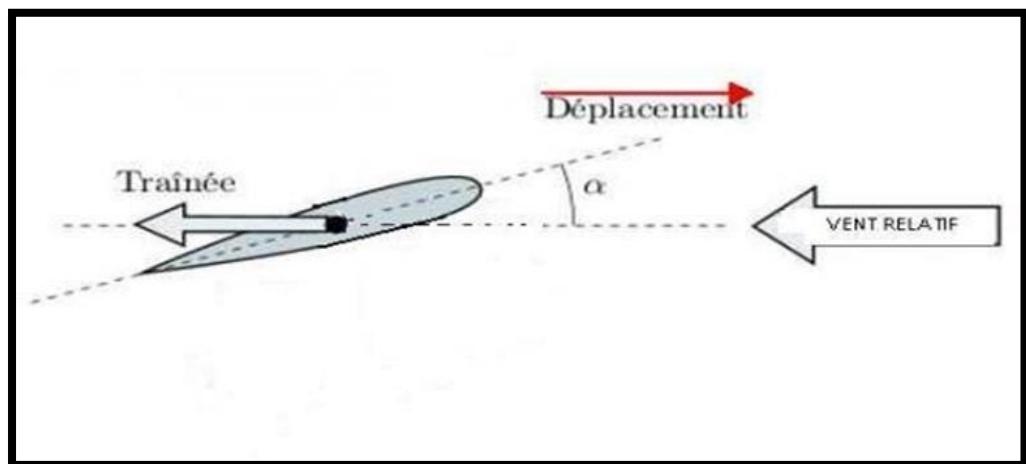


Figure II.3 : Direction de la force de traînée par rapport au vent relatif et le déplacement de l'aile

La traînée s'exprime de la façon suivante :

$$R_x = \frac{1}{2} C_x \rho S v^2 \quad (\text{II.3})$$

Où :

C_x : Coefficient de traînée qui dépend du type de profil de l'aile et de l'angle d'indécence

On peut décomposer la traînée en 3 parties distinctes :

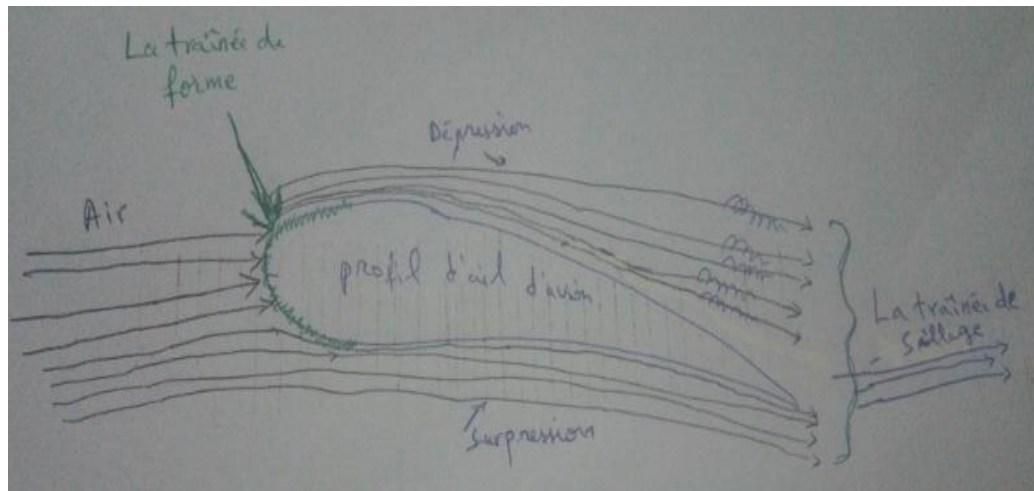


Figure II.4 : Démonstration de la traînée de sillage

- **La traînée de forme** : Elle dépend de la forme de bord d'attaque de profil d'aile (épais ou non épais) comme se représente dans la figure au-dessus (en vert) ;
- **La traînée de sillage** : C'est parce que le flux d'air traversant le profil de l'aile se décolle à grande vitesse au bord de fuite avant de s'approcher. (La partie bleue de la figure II.4), donc elle est influencé par la vitesse et l'incidence du vol ;
- **La traînée induite (due à la portance)** : Liée à la différence de pression entre l'intrados et l'extrados (qui engendre la portance), l'air au-dessous de profil à tendance à remonter vers le dessus au niveau des saumons d'aile, cela crée des tourbillons marginaux. Les ailettes (Winglets) ont pour effet de réduire la traînée induite.

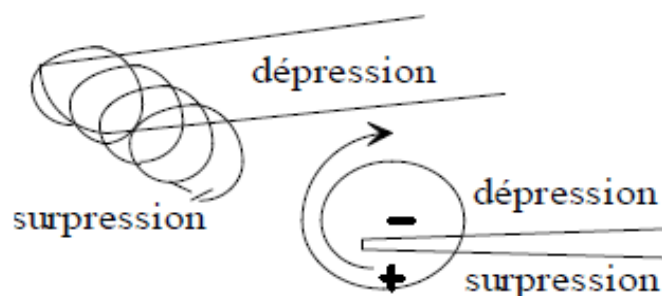


Figure II.5 : Démonstration des tourbillons marginaux pour la traînée induite

En regarde l'Annexe B, nous pouvons voir que la variation du coefficient de traînée est inversement proportionnelle à la variation de l'angle d'incidence [18].

II.2.1.3 Etude de polaire

La polaire d'une aile est une courbe tracée point par point qui fait correspondre les coefficients de traînée et de portance déterminés expérimentalement pour différents angles d'incidence. Elle permet de déterminer les caractéristiques d'un profil, d'une aile, d'un aéronef. En pratique il y a 2 types de polaire [18] :

- La polaire de Gustave Eiffel ;
- La polaire d'Otto Lilienthal.

Dans cette section, je me concentrerai sur la polaire de type EIFFEL, qui est le plus couramment utilisée dans la fabrication d'aéromodélisme et l'aviation en générale [18].

La polaire d'EIFFEL est une courbe représentant les variations du coefficient de portance C_z placé en ordonnée, en fonction du coefficient de traînée C_x placé en abscisse, pour un nombre de Reynolds donné. Chaque point de la courbe est calculé pour un angle d'incidence. Elle représente les incidences positives et négatives. Pour simplifier l'étude, je représenterai à incidences positives.

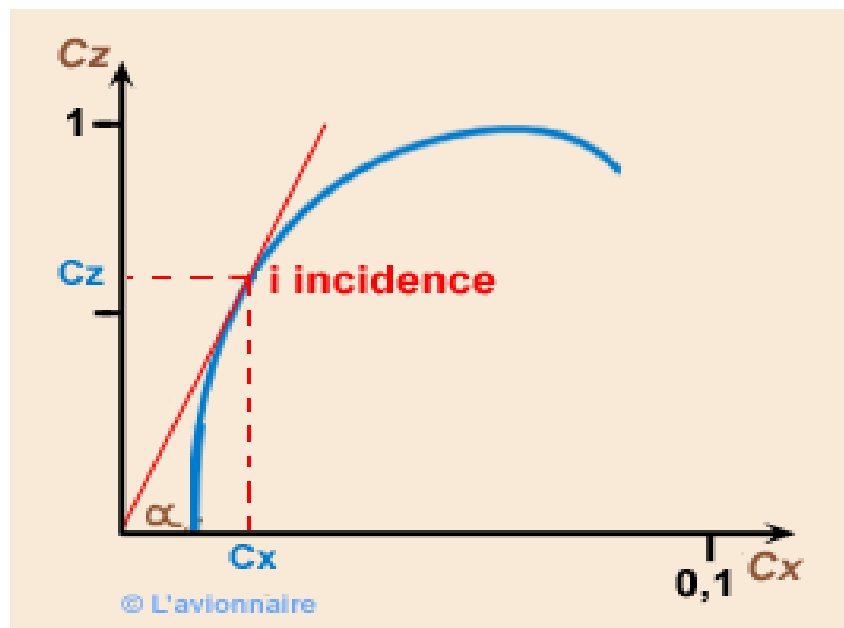


Figure II.6 : Représentation graphique de la polaire de type EIFFEL

Grâce à elle on détermine quelques caractéristiques essentielles du profil. Elle s'obtient à l'aide de mesures effectuées en soufflerie. On en déduit alors C_z et C_x . En général on indique sur les points de la polaire l'incidence à laquelle ils correspondent.

II.2.1.4 Finesse

Le rendement d'une aile se caractérise par sa finesse. Pour une traînée donnée si la finesse augmente la portance augmente donc la charge marchande augmente. Pour une portance donnée si la finesse augmente la traînée diminue donc la puissance nécessaire diminue. La finesse peut se traduire de plusieurs façons, l'équation II.4 :

$$f = \frac{C_z}{C_x} = \frac{R_z}{R_x} \quad (\text{II.4})$$

Ce point, se repère sur la courbe des polaires en prenant la tangente à la courbe passant par l'origine du repère. Voir l'annexe C [18].

II.2.1.5 Décrochage

Le décrochage est une diminution brutale de la portance si l'incidence croît ($i > 18^\circ$). Les filets d'air se décollent de l'extrados (quelle que soit la vitesse). Donc on appelle angle de décrochage du profil l'angle limite, au-delà duquel il se produit une perte de portance. IL est étonnant de constater que cet angle est à peu près le même quelle que soit la forme de profil, mais cette forme a une grande influence sur la quantité de portance que l'on peut obtenir [20].

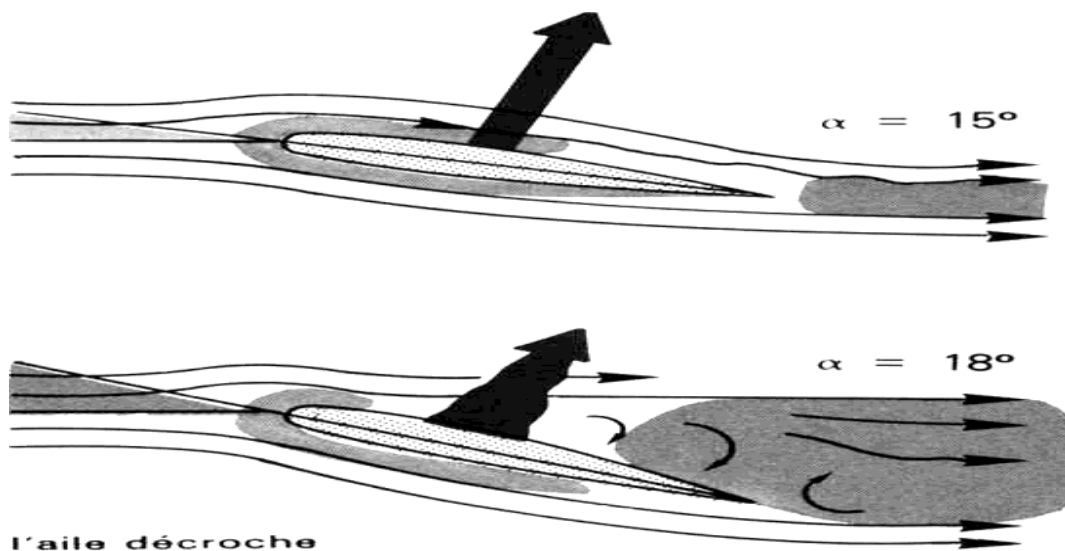


Figure II.7 : Décrochage

II.2.1.6 Nombre de Reynolds

Le Nombre de Reynolds (Re) est un nombre sans dimension caractérisant le régime d'écoulement d'un fluide autour d'un solide (par exemple un profil d'aile). Il est défini par la relation ci-dessous :

$$N_R = \frac{v.l}{\nu} \quad (\text{II.5})$$

D'où :

- V : vitesse de l'avion en m/s ;
- l : longueur dans le sens de vitesse V ;
- ν : coefficient de viscosité de l'air= $18,5 \cdot 10^{-6}$ avec une température de 15°C et une pression atmosphérique **1 Bar**.

Donc le nombre de Reynolds s'interprète alors comme le rapport entre forces d'inertie et forces visqueuses. Donc on distingue trois principaux régimes :

- **Reynolds < 2000 (faibles vitesses)** : les forces de viscosité prédominent et les écoulements sont dites « laminaires ».
- **Reynolds (entre 2000 et 3000 environ)** : les forces d'inertie sont prépondérantes, l'écoulement est « mixte ».
- **Reynolds (au-delà d'environ 3000)** : les forces d'inertie sont si importantes que l'écoulement devient « turbulent ».

II.2.2 Contrôle de la trajectoire d'un avion à voilure fixe

Les avions peuvent avoir plusieurs configuration et tailles, mais tous fonctionnent selon le même principe, à savoirs manipuler les forces de vol. Par conséquent, tout véhicule capable de fournir ces forces de vol est considéré comme un avion, quelle que soit sa forme. Un avion comprend un système de propulsion (moteur électrique à hélice) et de nombreuses formes aérodynamiques qui peuvent être fixes ou flexible.

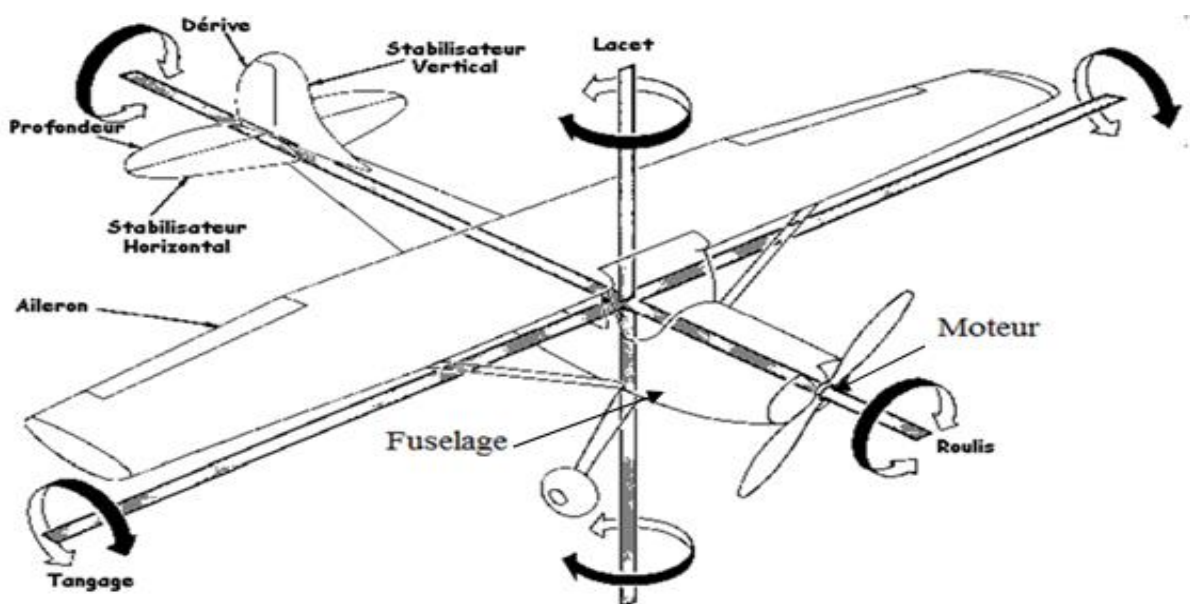


Figure II.8 : Les composants d'un avion à voilure fixe

Chaque avion a trois axes de mouvements possibles, qui se contrôlent par ses gouvernes situées dans les ailes et les empennages arrière.

II.2.2.1 Axe de tangage

C'est le mouvement qui permet au nez de l'avion de monter ou descendre, comme la montre la figure ci-dessous :

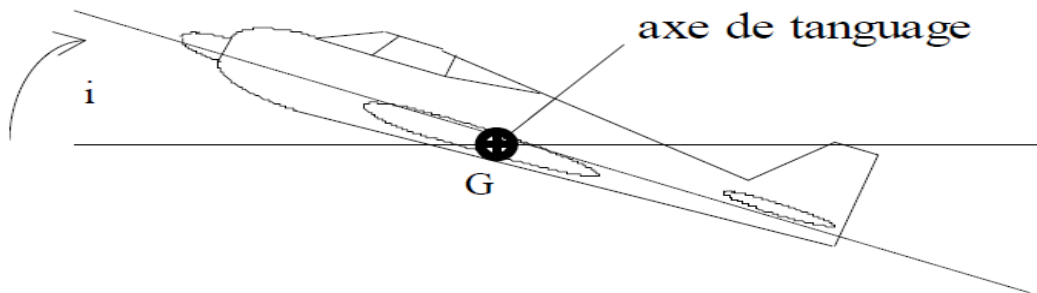


Figure II.9 : L'axe de tangage de l'avion avec l'angle de décollage i

Pour le contrôle en tangage, on joue sur la portance de l'empennage horizontal, en utilisant la gouverne de profondeur.

- **Gouverne de profondeur** : Sont des dispositifs mobiles, qui permettent de produire ou de contrôler les mouvements verticaux de l'avion. Lorsque la gouverne de profondeur est déviée vers le bas, l'aile de la queue horizontale produit une force d'élévation accrue qui augmente la pression sur la queue de l'avion par rapport au nez et par conséquent l'avion descend. Une déviation vers le haut de l'empennage de profondeur crée un effet opposé, ce qui fait que l'avion monte. Par conséquent, l'empennage de profondeur contrôle le mouvement de l'avion autour de l'axe de direction qui est connu sous le nom de mouvement de tangage.

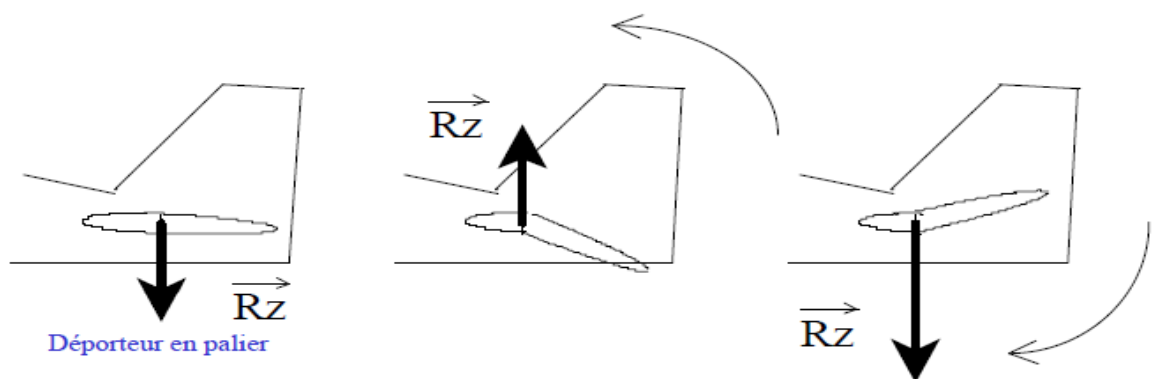


Figure II.10 : Les différentes forces de portance pour un stabilisateur

La commande de profondeur n'a pas d'effets secondaires sur la trajectoire.

II.2.2.2 Axe de roulis

C'est le mouvement qui permet à l'avion de se tourner sur son axe longitudinal, il faut augmenter la portance d'une aile et diminuer celle de l'autre.

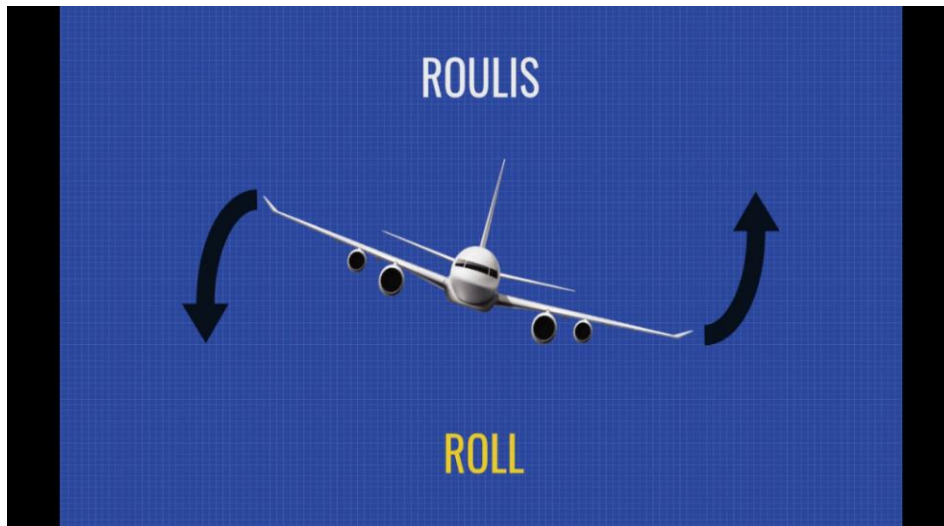


Figure II.11 : Mouvement de l'avion sur l'axe de roulis (longitudinal)

Ce mouvement est contrôlé par les ailerons qui se trouvent dans les extrémités des ailes.

- **Les ailerons** : sont des sections flexibles placées hors-bord vers les extrémités d'ailes qui fonctionnent habituellement en opposition, une est déviée vers le haut et l'autre vers le bas ils fonctionnent de la même manière que la gouverne de profondeur. Comme ils sont déviés, les ailerons varient, ce qui entraîne une élévation accrue sur une aile et une élévation réduite de l'autre. Le mouvement résultant de l'avion est une rotation autour de son axe longitudinal (roulis).

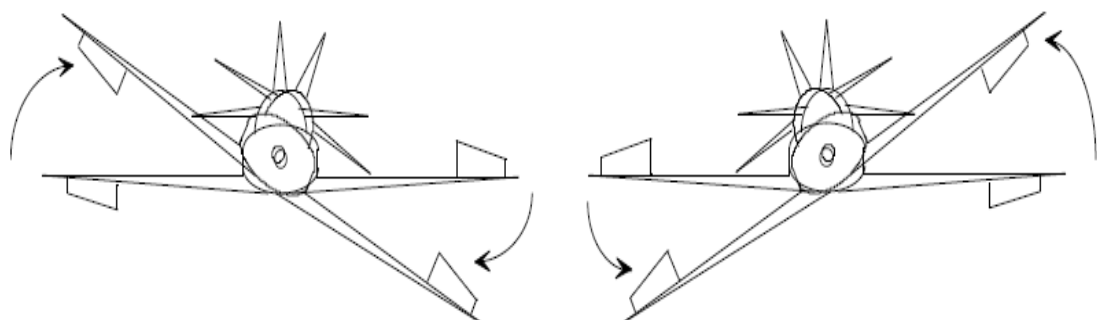


Figure II.12 : Ailerons pour un mouvement de roulis

L'effet secondaire du roulis est le lacet inverse.

II.2.2.3 Axe de lacet

C'est le mouvement qui permet au nez de l'avion de pivoter vers la gauche ou vers la droite comme le montre la figure suivante :



Figure II.13 : Mouvement de l'avion sur l'axe de lacet

Ce mouvement est contrôlé par la gouverne de direction qui se situe à l'empennage vertical (dérivé), cette commande est secondaire dite « de symétrie » qui sert à équilibrer le débit d'air sur les deux ailes de l'avion, et donc à équilibrer la portance.

- **Gouverne de direction** : Est une partie flexible placée à l'arrière du stabilisateur vertical qui fait que l'avion se déplace d'un côté à l'autre. En déviant le gouvernail, on peut manipuler la quantité de force produite par l'aile verticale et par conséquent, l'avion fait un mouvement autour de l'axe vertical, donc à gauche ou à droite.

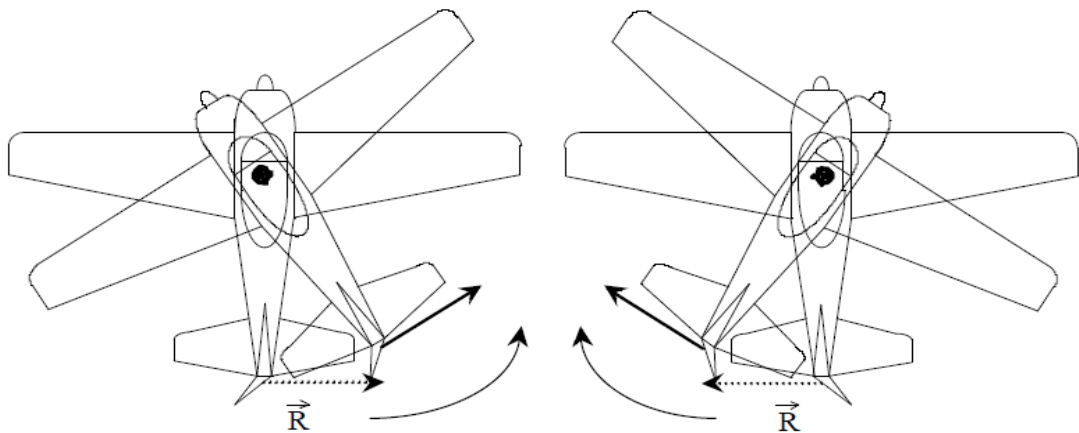


Figure II.14 : La gouverne de direction pour un mouvement de Lacet

L'effet secondaire de la commande de lacet est le roulis induit.

II.2.3 Ailes et quelques notions d'aérodynamique

Ce sont les parties sustentatrices de l'appareil qui génèrent la portance. Leur forme est issue d'une base de profils aérodynamiques étudiés en soufflerie.

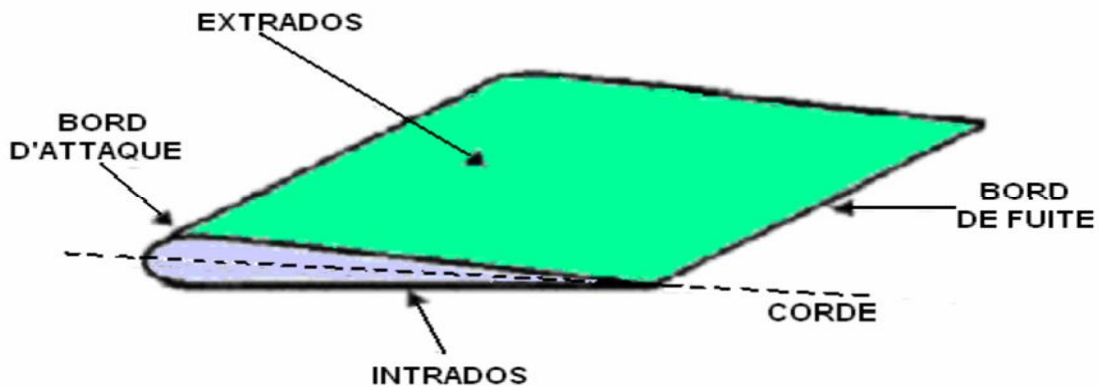


Figure II.15 : Les différentes parties de l'aile d'un avion modèle réduit

- **Forme des ailes d'avion :** Elle peut être rectangulaire, trapézoïdale, elliptique, en flèche, en delta... etc. Elle est également caractérisée par son dièdre (angle que fait l'aile par rapport au plan Horizontal) qui peut être positif ou négatif, et sa flèche (angle que fait la ligne Moyenne - en général 25% de la corde - et l'axe du fuselage).

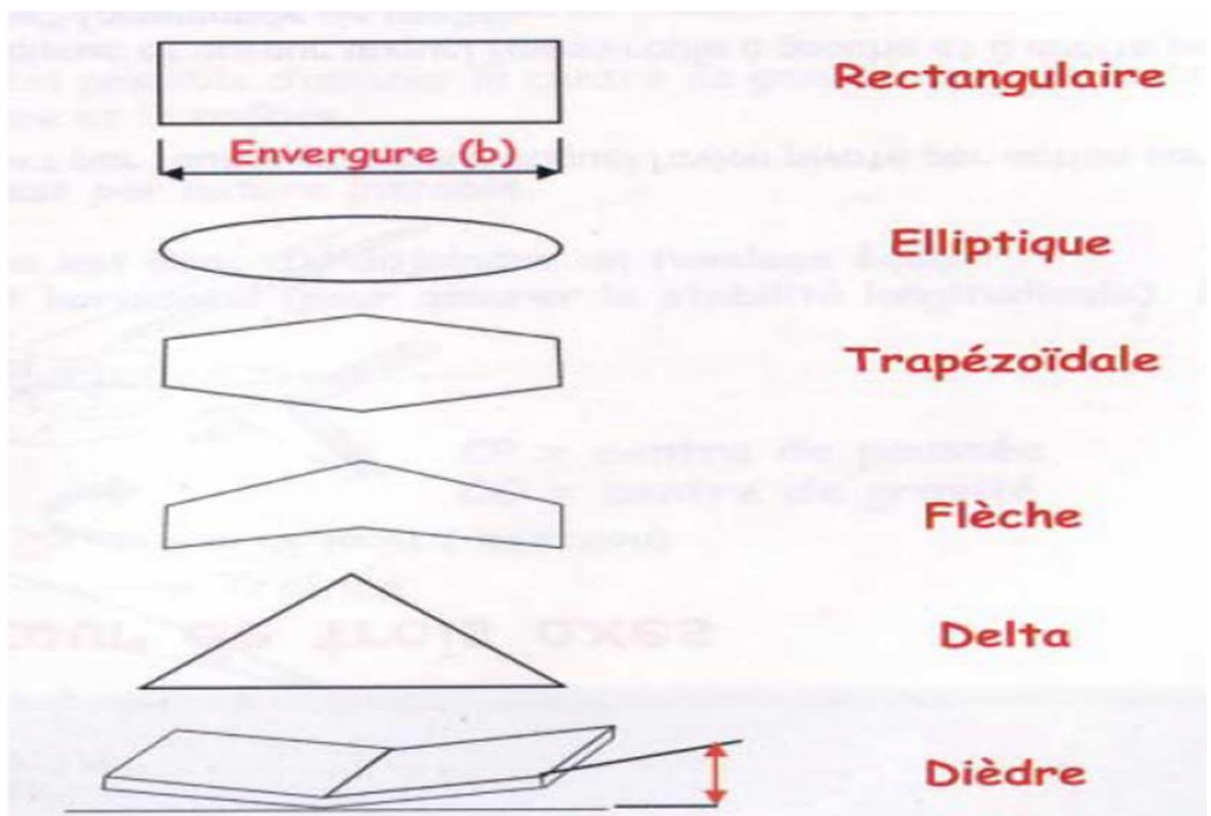


Figure II.16 : Les formes d'une aile d'avion.

NB : Pour la forme des ailes qu'on choisie dans notre réalisation pratique c'est la forme des ailes rectangulaire d'envergure 1.15 m, avec un dièdre $\sim 2,29^\circ$. Le dièdre assure une stabilité importante de l'appareil, qui aura automatiquement tendance à revenir dans la position de vol à plat. Avec des Winglets de 7,5 cm.

- **Forme des empennages arrière d'avion** : L'empennage produit une stabilité en tangage et un contrôle de l'avion durant le vol. Pour minimiser le temps d'assemblage, le poids et la traînée, les quatre propositions suivantes sont choisies :

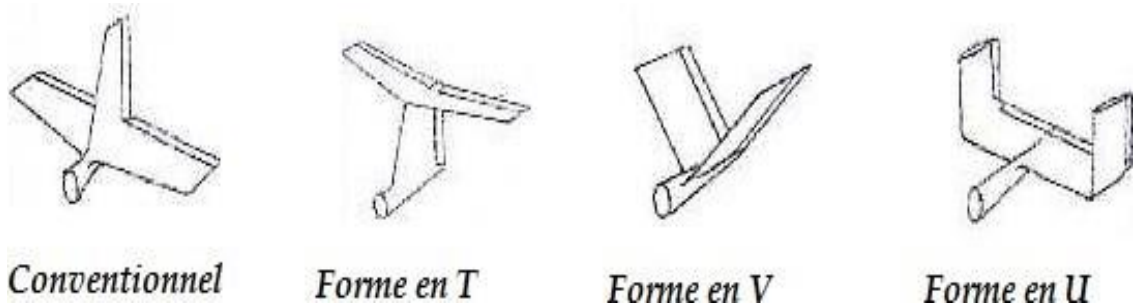


Figure II.17 : différentes formes d'empennage

La forme la plus appropriée est la forme conventionnelle, car elle assure le maximum de stabilité et contrôle avec un minimum de risque. En plus de sa stabilité, elle est simple à réaliser pratiquement pour un avion RC.

II.2.4 Principales phases du vol

II.2.4.1 Vol rectiligne uniforme en palier

Pour un vol en palier, il faut que les forces de l'avion se comportent comme suite [19] :

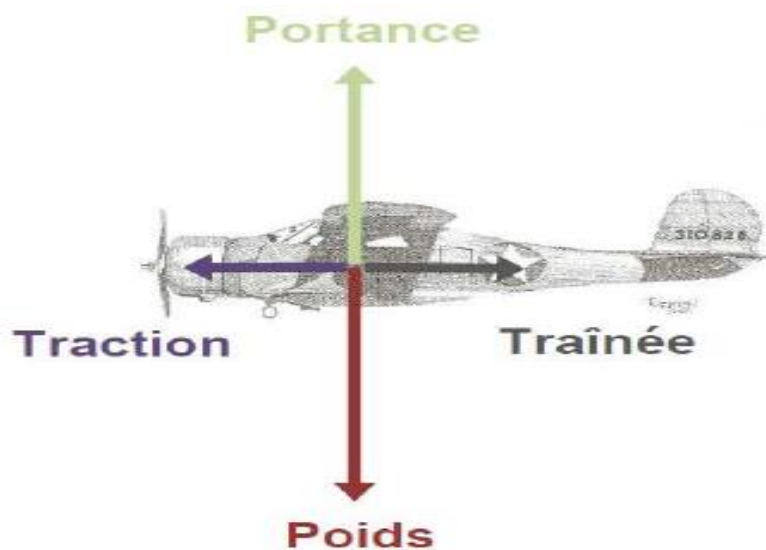


Figure II.18 : Vol rectiligne uniforme

- La portance équilibre le poids

$$R_z = m \cdot g = \frac{1}{2} C_z \rho S v^2 \quad (\text{II.5})$$

- La traînée équilibre la traction

$$T = R_x = \frac{1}{2} C_x \rho S v^2 \quad (\text{II.6})$$

II.2.4.2 Monté rectiligne uniforme

Pour décoller un avion, il faut que les forces du vol se comportent comme suite [19].

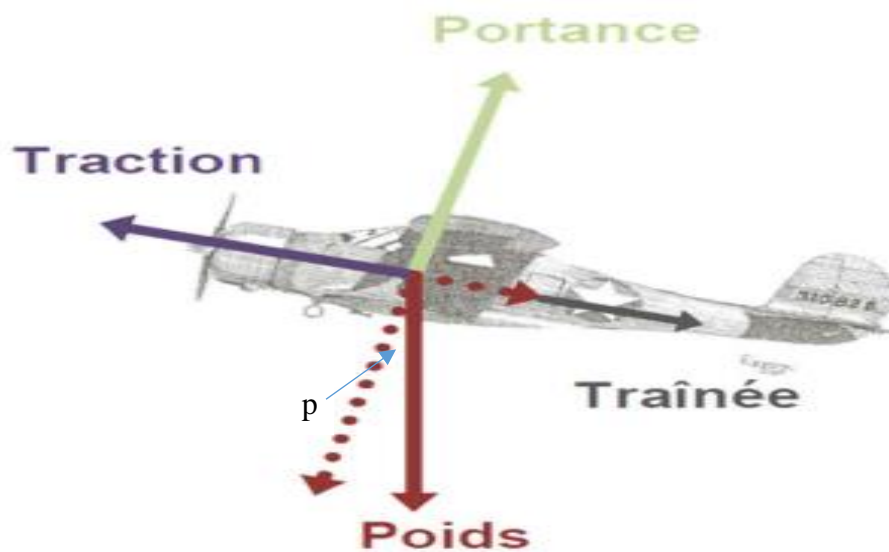


Figure II.19 : Monté rectiligne uniforme

- La portance équilibre la grande composante du poids

$$R_z = m \cdot g \cdot \cos p = \frac{1}{2} C_z \rho S v^2 \quad (\text{II.7})$$

- La traction équilibre la traînée + la petite composante du poids

$$T = R_x + m \cdot g \cdot \sin p = \frac{1}{2} C_x \rho S v^2 + m \cdot g \cdot \sin p \quad (\text{II.8})$$

D'où : p : la pente (l'angle entre la grande composante de poids et le poids)

La traction doit donc être plus importante qu'en palier.

II.2.4.3 Descente rectiligne uniforme

Le principe de son étude est le même que pour la montée mais cette fois le poids de l'avion devient moteur [19].

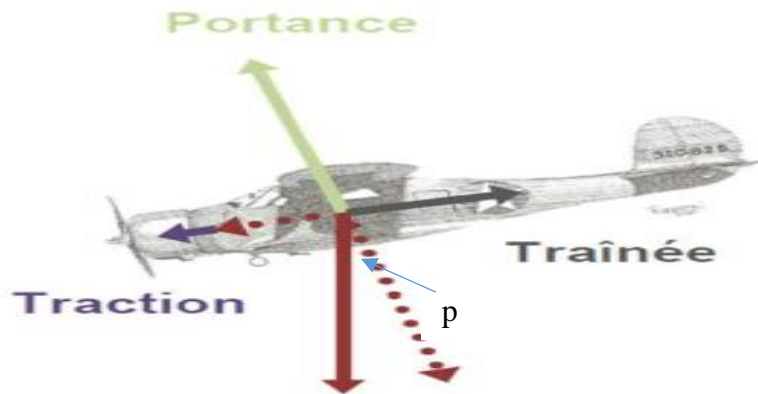


Figure II.20 : Descente rectiligne uniforme

- La portance équilibre la grande composante du poids ;
- La traction + la petite composante du poids équilibrent la trainée ;
- La traction doit donc être moins importante qu'en palier.

Dans un vol plané la petite composante du poids remplace la traction. En peut alors en déduire la pente de descente :

$$\tan p = \frac{R_x}{R_z} = \frac{C_x}{C_z} = \frac{1}{f} \quad (\text{II.9})$$

Sur l'équation (II.9) on remarque que la pente de descente est donc d'autant plus faible que la finesse est importante.

II.2.4.4 Décollage

Le décollage se décompose en trois phases [19] :

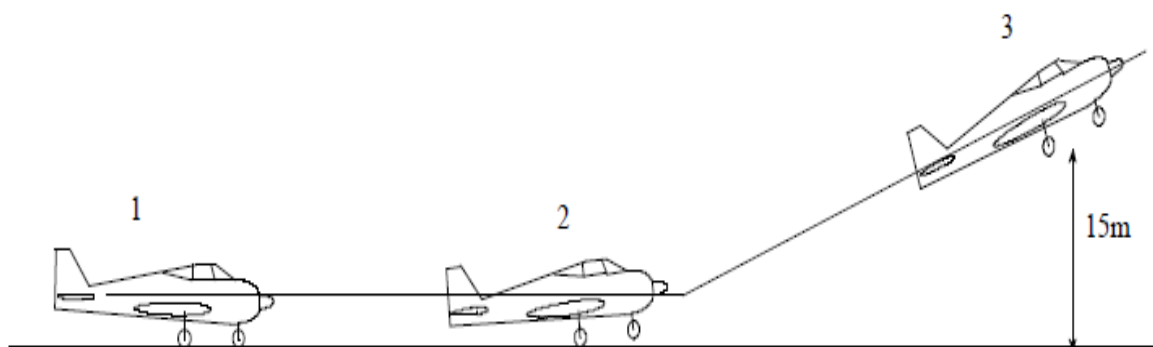


Figure II.21 : Les phases de décollage de l'avion

- **Le roulement (1) :** Pendant cette phase l'avion accélère sur la piste afin d'atteindre une vitesse lui permettant d'assurer sa sustentation par une portance suffisante ;

- **La rotation (2) :** Lorsque la vitesse de décollage est atteinte on effectue la rotation (profondeur sort vers le haut de l'avion) pour placé l'avion à l'assiette de montée ;
- **L'envol (3) :** Dans cette phase l'avion a quitté le sol mais en est encore très proche, il faut continuer à accélérer pour assurer la prise d'altitude, le décollage se termine au passage à la hauteur de 15 m par rapport au sol.

Dans des terrains situés à haute altitude, une forte température ou un vent arrière augmente la distance de décollage.

II.2.4.5 Atterrissage

L'atterrissage se décompose également en trois phases [19] :

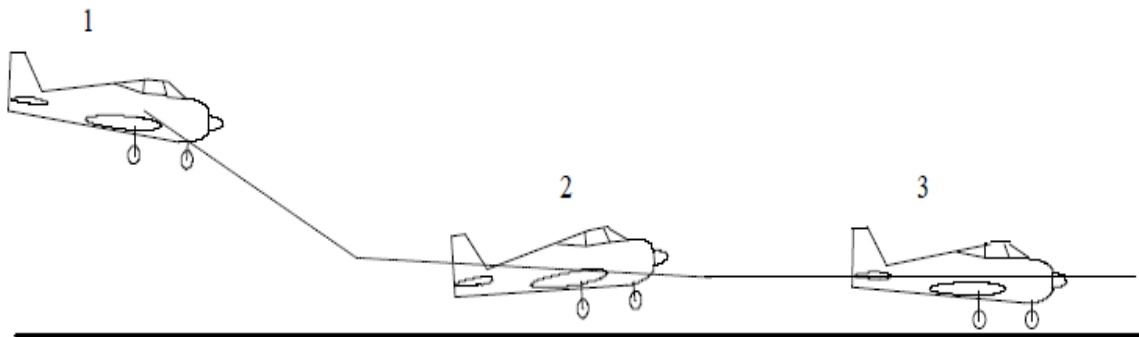


Figure II.22 : Les phases d'atterrissage d'avion

- **La finale (1) :** L'avion commence à descendre sur une pente stabilisée avec une vitesse constante (en joue sur la profondeur vers le bas) ;
- **L'arrondi (2) :** Près du sol le pilote réduit la pente de descente, afin de toucher le sol, on dit qu'il arrondit ;
- **La décélération (3) :** Une fois les roues au sol l'atterrissage n'est pas terminé. Il faut perdre sa vitesse sur la piste, donc on doit arrêter le moteur carrément.

Sachant que la force de traînée de l'avion se comporte comme des aérofreins.

II.2.4.6 Stabilité statique d'un aéronef

Pour qu'un avion soit facilement pilotable, il faut qu'il soit stable statiquement. Il doit avoir tendance compenser naturellement les petites variations de vitesse ou d'attitude non désirées qui peuvent survenir du fait de l'aérodynamique.

A) Stabilité statique longitudinal : La stabilité est dite longitudinale quand on étudie les mouvements autour de l'axe de tangage.

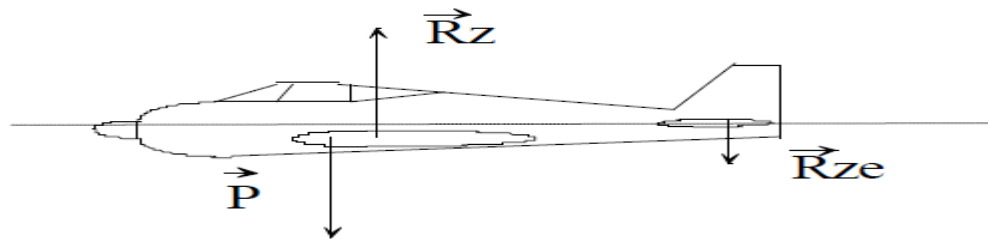


Figure II.23 : Stabilité statique longitudinal

Un avion est stable longitudinalement si le centre de gravité de l'avion est en avant du centre de poussée, mais plus un avion est stable, moins il est maniable. Donc je dois centrer l'avion à l'avant à environs 20% de la corde de mon aile.

B) Stabilité statique transversale : La stabilité statique transversale concerne les rotations autour des axes de roulis et de lacet lors des petites variations de dérapage et d'inclinaison. Son étude est assez complexe et on ne retiendra que l'influence du dièdre, de la flèche, de la position de l'aile et de la dérive.

Tableau II.1 : Configuration des ailes pour une stabilité transversale

Type d'aile	Position	Dièdre
Droite	Haute	Environ nul
Droite	Basse	Positif
En flèche	Basse	Fortement positif
En flèche	Basse	Fortement négatif

Pour le cas des ailes droite et de position en haute, le dièdre il faut qu'il soit environ nul pour que l'avion assure une stabilité transversale en roulis.

II.3 Conclusion

Afin de comprendre le principe de la théorie de vol d'un avion à voilure fixe, J'ai présenté les quatre forces qui interviennent pour faire que les avions se soulèvent et se maintiennent en l'air ainsi j'ai fait un aperçu de base sur la mécanique du vol des avions en définissant les différentes parties constituant l'avion. J'ai également découvert que l'élaboration d'un modèle mathématique de la dynamique de vol est une tâche difficile et complexe, de sorte que plusieurs facteurs importants doivent être pris en compte.

Le chapitre III, sera divisé en trois parties : où la première partie est dédiée aux outils matériels indispensables pour cette réalisation. La deuxième est composée de la partie conception sur logiciel SOLIDWORKS et réalisation de l'avion RC. La troisième partie concerne le teste de décollage de l'avion RC.

Chapitre III :
Conception,
réalisation pratique et
test du vol

III. 1 Introduction

Ce chapitre est divisé en trois parties. Dans une première partie, nous définirons les composants électroniques à sélectionner et leurs caractéristiques, ainsi que les fonctions qu'ils contiennent. Ensuite, la deuxième partie consiste à concevoir ce modèle RC et sa mise en œuvre réelle sur SOLIDWORKS et sa réalisation pratique. La troisième partie concerne le test au décollage et le contrôle de l'avion.

III. 2 Description du modèle réduit d'avion RC

III.2.1 Caractéristiques techniques

- Nom de l'avion RC : Abbas AFERNAS
- Envergure : 1150 mm ;
- Longueur : 950 mm ;
- Poids au décollage : 1780 g
- Surface alaire (des ailes) : 20,93 dm² ;
- Charge alaire : 85,045 g/dm² ;
- Vitesse de décollage : ~ 80 km/h ;
- Durée du vol : de 15 à 20 min ;
- Sa portée : à ne pas dépasser 1800m en air.

III.2.2 Composants à réaliser

- Aile haute sans volets (profil d'aile NACA 4412) ;
- Le fuselage ;
- L'empennage horizontal (profil de stabilisateur est NACA 0012) ;
- L'empennage vertical (profil de la dérive est NACA 0012) ;
- Moteur électrique Brushless 2200 KV ;
- Batterie de stockage LiPo 3s d'une capacité 2600 mAh ;
- Hélice 1045 (un diamètre de 10 pouces=25,4 cm et un pas de 4,5 pouces=11,43 cm) ;
- 3 Roues pour l'atterrissage.

III. 3 Première partie : Outils matériels utilisés

Le système que nous avons conçu est constitué essentiellement de deux modules essentiels dans chacun accomplit une ou plusieurs fonction qui lui sont propres. Le premier module représente l'acquisition de données, le second représente le module de commande qui sert à gérer la commande adéquate au mouvement souhaité et varie la vitesse de rotation des moteurs.

III.3.1 Module d'acquisition et de traitement de données

Dans ce travail, on a besoin d'un émetteur/récepteur radio programmable à 6 canaux (Channel/voies) minimum, j'ai donc eu la chance de trouver et d'utiliser un émetteur-récepteur à 10 canaux, malgré que son coût élevé. C'est parce qu'il n'y a pas de Radiolink à 6 canaux sur notre marché intérieur.

Afin de réaliser cette partie du projet, nous avons sélectionné les composantes suivantes :

III.3.1.1 Radiocommande (Radiolink AT9S 10 Voies)

Est une radiocommande de 10 voies, économique et simple à utiliser, cette radiocommande est livrée en mode 2 (gaz à gauche). Entièrement programmable et disposant d'une mémoire interne, elle est idéale pour cet avion réduit RC [21].



Figure III. 1: Radiolink AT9S

A) Caractéristiques générale :

- Mode "Aircraft" (avion) ;
- Contrôle de mixages programmable ;
- Alarme à vibrations ;
- Ecran LCD couleurs 2.8 pouces ;
- Réponse ultra rapide 3ms ;
- Menus en anglais mais notice en Français imprimée ;
- Support S-BUS ;
- 9 voies complètes ;
- Récepteur de 9 canaux de type R9DS.

B) Configuration de la Radiolink AT9S : Pour cet avion la configuration qu'il faut est la suivante :

- Nous alimentons la Radiolink et entrons dans le système, nous sélectionnerons le type de véhicule à piloter à distance (Avion), puis entrons dans Stick mode où je pourrais choisir le mode de pilotage nécessaire donc on va choisir le Mode 2 qui signifie les gaz et la gouverne direction sur le joystick gauche, les ailerons et la profondeur sur la droite ;
- **Différentielle aux ailerons :** Ensuite, nous devons entrer dans le menu après avoir utilisé ESC et batterie LiPo 3s pour alimenter mon récepteur, puis on met le premier servomoteur de l'aileron gauche sur le canal 1, et le second pour l'aileron droit sur le canal 5. Ensuite, sur le canal auxiliaire, on sélectionnera le canal 5 comme source aucun (none), puis on mixera, utiliserai le canal 1 comme canal maître et le canal 5 comme le canal esclave, et enfin on voit deux servomoteurs qui fonctionnent en même temps avec la voie 1, mais le sens n'est pas le même, alors on doit donc inverser le sens du canal 5, donc nous allons sur (reverse) pour l'inverser ;
- **Les empennages :** Nous mettons le servomoteur de la profondeur dans la voie 2 de récepteur et le servomoteur de la gouverne de direction dans la voie 4 ;
- **Variateur de vitesse électronique (ESC) :** Nous mettons l'ESC sur le canal 3 pour contrôler la vitesse du moteur Brushless 2200KV et alimenter l'ensemble de la machine.

III.3.1.2 Récepteur 9 voies de type R9DS

Est un récepteur Radiolink compatible avec AT9S, qui a les caractéristiques suivantes [21] :

- Une portée de 1200m au sol et 2000m en l'air avec AT9S ;
- Bande de fréquence : 2,4 GHz
- Support S-BUS, PPM et PWM
- 10 voies (channels) S-Bus, 9 voies PWM
- Tension d'alimentation : 4.8 à 10V
- Consommation : 38 à 45mA sous 5V
- Dimensions : 43 x 24 x 15mm
- Poids : 11g

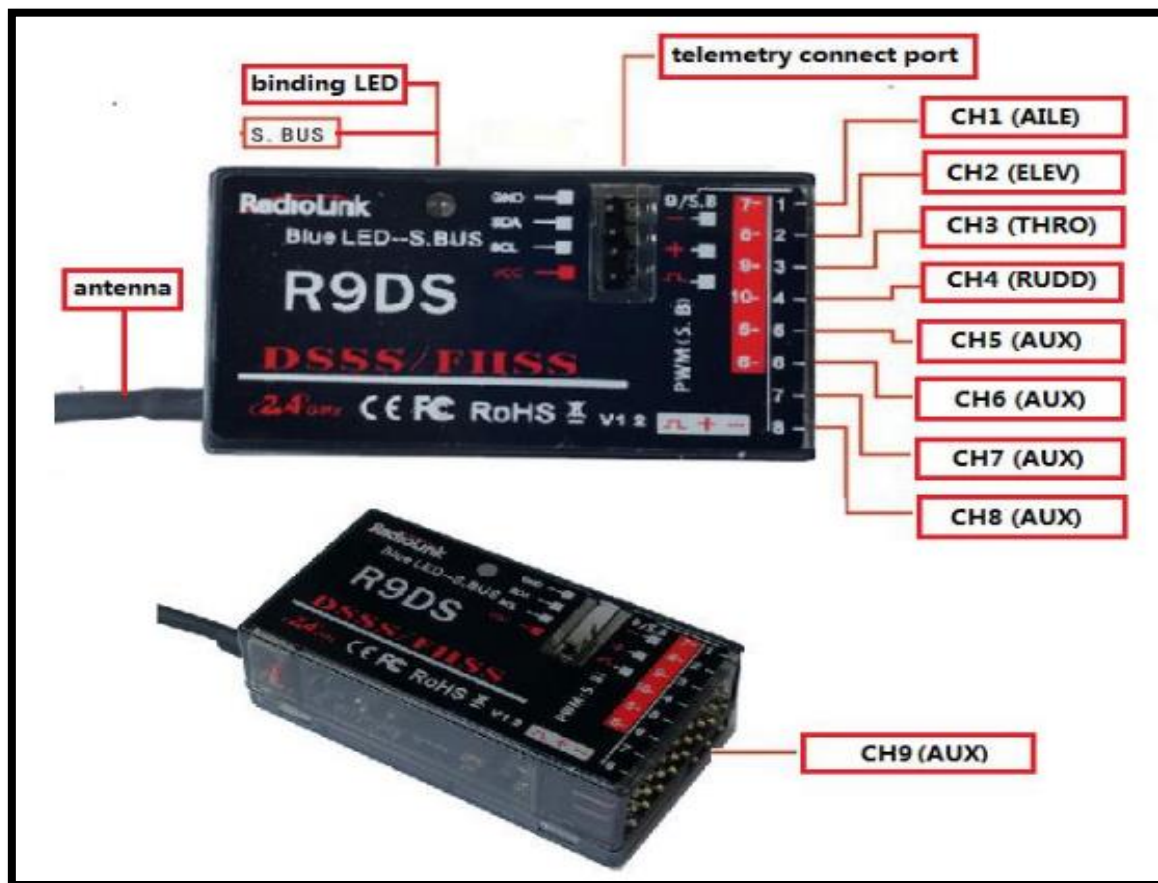


Figure III. 2: Mode de fonctionnement de récepteur R9DS en PWM.

Après avoir monté tous les composants à commander sur le récepteur R9DS comme le montre la figure ci-dessous, en passe au test de fonctionnement de module de commande.

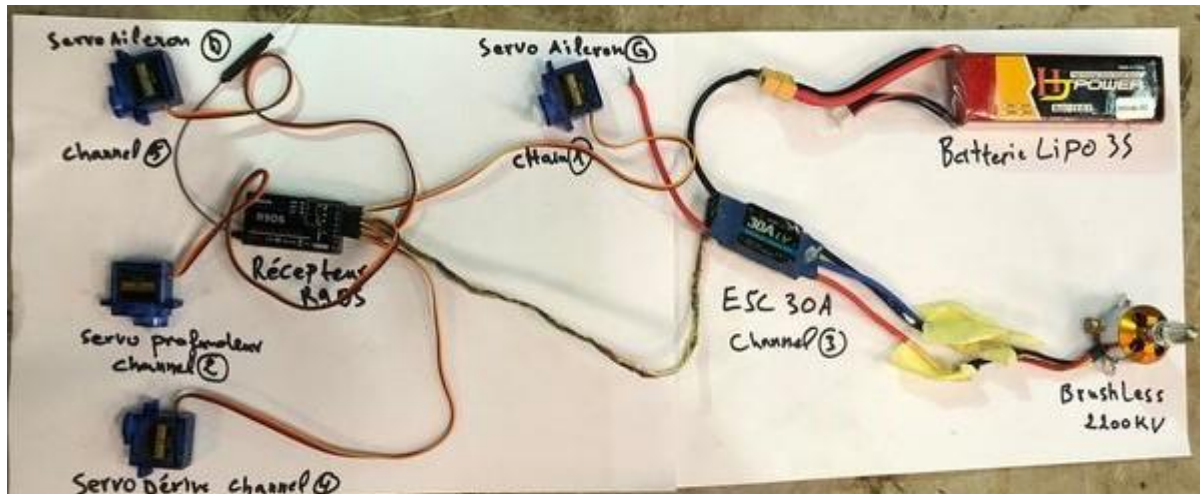


Figure III. 3 : Emplacement générale des composants électronique d'avion RC

On remarque que tous les composants à commander à distance sont bien contrôlable à distance avec l'émetteur AT9S.

III.3.2 Module de commande

Il assure la commande de moteurs Brushless à travers une carte de puissance ESC (Electronic Speed Controller) (contrôle de vitesse électronique), il a pour rôle aussi de commander les servomoteurs, en suivant les instructions envoyés après avoir traité par l'émetteur AT9S.

Pour la réalisation de cette partie du projet, on a opté pour les composants suivants :

III.3.2.1 Carte de puissance ESC 30 A

Un contrôle de vitesse électronique ESC est un circuit électronique qui contrôle et régule la vitesse d'un moteur électrique synchrone, il peut également prévoir une inversion du freinage moteur dynamique (frein dynamique).

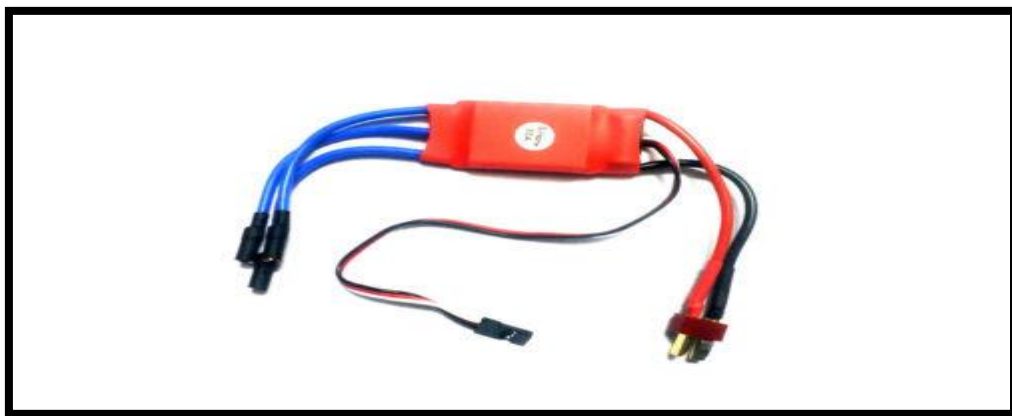


Figure III. 4: Contrôleur de vitesse électronique ESC 30A

ESC possèdent un microcontrôleur et un circuit de puissance (pont en H) et dans le cas des moteur Brushless un dispositif d'acquisition ils permettent de gérer :

- La vitesse
- La direction
- Le freinage

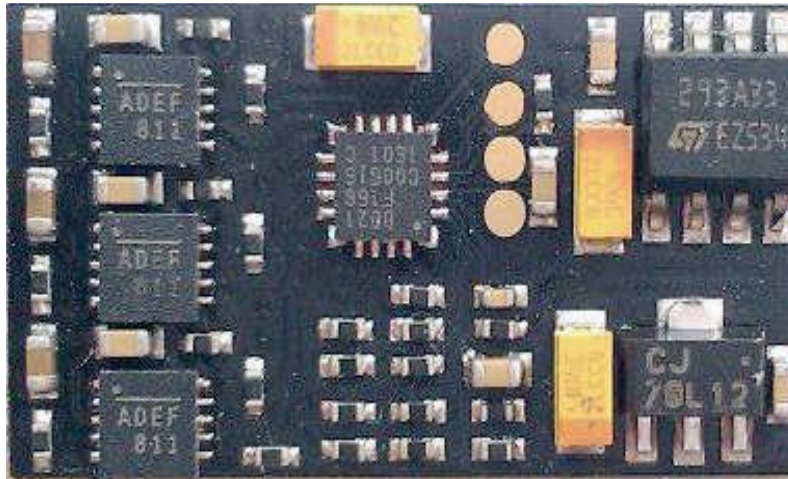


Figure III. 5: Différents composant d'ESC

- **Câblage :** l'ESC dispose d'une interface de commande de servomoteur à 3 fils : deux cordons d'alimentation (noir/rouge), utilisé pour alimenter d'autres composants connectés au même système et le fil marron connecté à l'entrée numérique PWM.

III.3.2.2 Moteur Brushless 2200KV

Un moteur Brushless ou moteur sans balais, ou machine synchrone autopilotée à aimant permanents c'est-à-dire qu'il tourne à la même vitesse que la tension qui l'alimente (le rotor suit le champ magnétique). Son comportement est similaire à un moteur à courant continu traditionnel et aux moteurs à courant alternatif, et il présente des caractéristiques similaires à ces derniers mais sans les défauts de ces moteurs, tels que [22] :

- L'usure mécanique des moteurs à courant continu, le moteur Brushless n'a pas de commutation mécanique mais une commutation électrique, il n'y a pas donc de couple de frottement dû à la friction des balais sur les lames ;
- Sans bruit, sans parasite électrique dû au frottement des balais sur les lames du collecteur.

La commutation des moteurs est assurée par des cartes de puissance électronique (ESC) qui permettent de les positionnés et de l'entraînés avec précision.

- **Les caractéristiques fonctionnelles :**
 - Une durée de vie longue ;
 - Une forte constante de couple ;
 - Une puissance importante ;
 - Une haute vitesse de fonctionnement.
- **Les caractéristiques dimensionnelles :**
 - Dimension : 37.2x60.3mm ;
 - Poids : 133g ;
 - Voltage : 12v ;
 - Alimentation : Accumulateur LiPo 3-4 éléments ;
 - KV : 2200 T/V ;
 - Diamètre Axe : 5.0mm ;
 - Courant max : 30A ;
 - Puissance max : 470 W.



Figure III. 6: Moteur Brushless avec l'adaptateur d'hélice

- **Le KV d'un moteur Brushless :** Le KV d'un moteur Brushless est la vitesse de rotation de moteur pour 1 volt, il indique le nombre de tour/min/volt du moteur à vide, si un moteur est alimenté par une tension U, sa vitesse de rotation est égale à : $N = U * KV$, Le KV n'est qu'une valeur théorique à vide, en charge cette valeur peut baisser entre 25% et 50%, plus le KV est haut et plus cette perte est importante [22].
Exemple : un moteur avec 2200KV sous 10V tournerait à 22000 tour/min s'il est à vide.

- **Fonctionnement :**

- **Démarrage d'un moteur Brushless :** Le système de contrôle électronique (ESC) assure un démarrage progressif, car le rotor ne peut pas atteindre instantanément la vitesse de rotation du champ. La fréquence des tensions d'alimentations sera donc très basse au départ, puis augmentée progressivement en tenant compte de la réaction du moteur, l'objectif collecteur ;
- **Fonctionnement par rapport au moteur CC :** Fonctionnement du moteur sans balai comparé au moteur traditionnel avec balais Un moteur « Brushless » est constitué d'aimants permanents sur le rotor et d'un bobinage triphasé sur le stator. Il suffit de faire passer un courant dans une partie du bobinage pour créer un champ magnétique qui va attirer les aimants et les aligner avec le champ magnétique. Le bobinage est généralement en triphasé, c.à.d. Qu'il est constitué de 3 Groupes de bobines reliées entre elles. En alimentant successivement les groupes de bobines, le rotor va à chaque fois s'aligner sur les champs et tourner. Le moteur est simple mais la commande électronique (contrôleur ESC) est plus élaborée. En effet, il faut connaître à chaque instant la position du rotor et envoyer le courant dans les groupes de bobines (capteur à effet Hall). Celle-ci transforme le courant continu en courant triphasé à fréquence variable et va alimenter successivement les bobines (enroulements) pour créer un champ tournant et donc la rotation. Dans le cas du moteur traditionnel DC à charbons à balais, le système de commutation qui permet de faire passer le courant successivement dans les bobinages n'est pas réalisé électroniquement mais mécaniquement par l'intermédiaire des lamelles du collecteur [22].

III.3.2.3 Hélice 1045

On ne peut pas mettre n'importe quelle hélice sur n'importe quel moteur au risque d'avoir de piètres performances, et dans le cas des moteurs électriques au risque d'une surchauffe de ce dernier et du contrôleur pouvant amener à leur destruction si l'hélice est trop grande. Si on voit la notice de moteur Brushless 2200KV en remarque que l'hélice qui convient mieux pour cet avion est celle de 1045.

Les hélices sont caractérisées par leur diamètre et par leur pas, valeurs le plus souvent exprimées en pouces [25].



Figure III. 7: Paire d'hélice 1045

- **Exemple :** Pour une hélice 1045 on aura un diamètre de 10'' (pouces) équivalent à 254mm et un pas de 4,5'' (pouces) équivalent à 114,3mm.

Le pas représente l'angle de chaque pale. Dans le cas d'une hélice (10x4.5) ça veut dire que l'hélice avancera de 4,5 pouces pour chaque tour de moteur électrique.

Un faible pas donnera plus de couple et de traction statique et favorisera les montées, alors qu'un grand pas donnera plus de vitesse mais le moteur s'essoufflera plus vite lors des ascensions [25].

Remarque : Un petit calcul théorique pour cet avion :

On a un moteur Brushless 2200 KV qui est alimenté avec un accumulateur 3s 11.1V, donc ce moteur peu se tourner avec une vitesse de $2200 \times 11,1 = 24420$ tours/minutes. Sachant que l'hélice que nous avons utilisée génère une avance de 4,5 pouces pour un tour :

Donc l'ensemble (hélice 1045 avec une vitesse de moteur de 24420 tours/minutes), la vitesse de l'avion RC sera $24420 \times 4,5 = 109890$ pouces/minutes, donc sa vitesse maximum de l'ensemble soit $46,5201 \text{ m/s} = 167 \text{ Km/h}$.

III.3.2.4 Servomoteurs

Le servomoteur appartient au groupe des moteurs électriques de type pas à pas, qui permettent de contrôler avec précision l'angle, l'accélération et la vitesse. Les servomoteurs se différencient en termes de taille et de puissance mais présentent le même principe de fonctionnement [3].

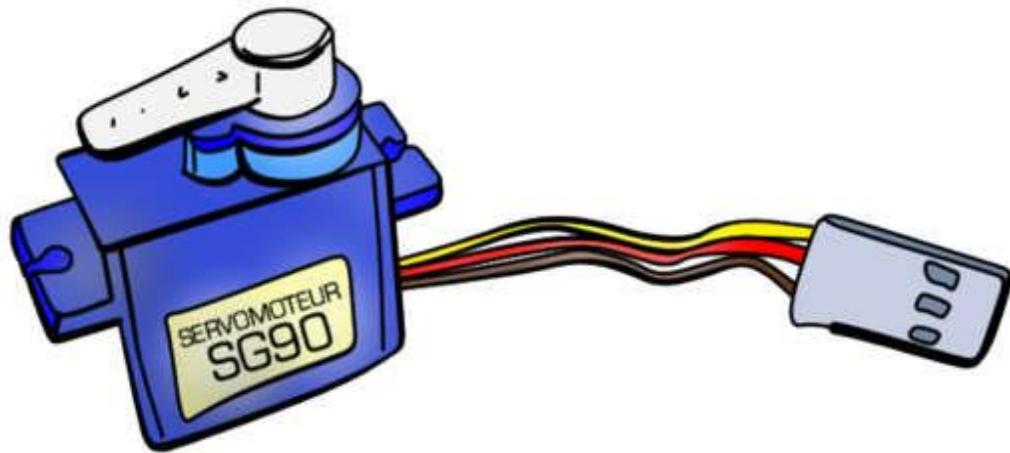


Figure III. 8: Servomoteur de type SG90

Le servomoteur qui nous intéresse dans ce travail est le SG-90, ses caractéristiques sont présentées dans la section suivante.

- **Les caractéristiques du servomoteur SG90 :** Ces moteurs tournent sur un axe suivant un angle allant de 0 à 180° avec une faible puissance. Nous avons choisi ce type de moteur de par sa petite taille mais aussi parce qu'ils peuvent générer précisément l'angle de rotation que l'on souhaite obtenir dans les ailerons, profondeur et la gouverne de direction.

Les caractéristiques techniques du servomoteur SG90 sont données dans le tableau 1 qui suit :

Tableau III.1 : Caractéristiques de servomoteur SG90

La tension d'alimentation	4,8V à 6V
La masse	9 grammes
Dimensions	22*11,5*27 mm
Vitesse	0,12 s/60° sous 4,8V
Couple à rotor bloqué	1,98 Kg.cm sous 4,8V

- **Fonctionnement :** Un servomoteur standard est positionnable de 0 à 180°. La position est obtenue en envoyant une pulsation de durée définie entre 1 et 2 ms, 1,5 ms donne la position milieu (90°), 1 ms la position mini (0°) et 2 ms la position maxi (180°).

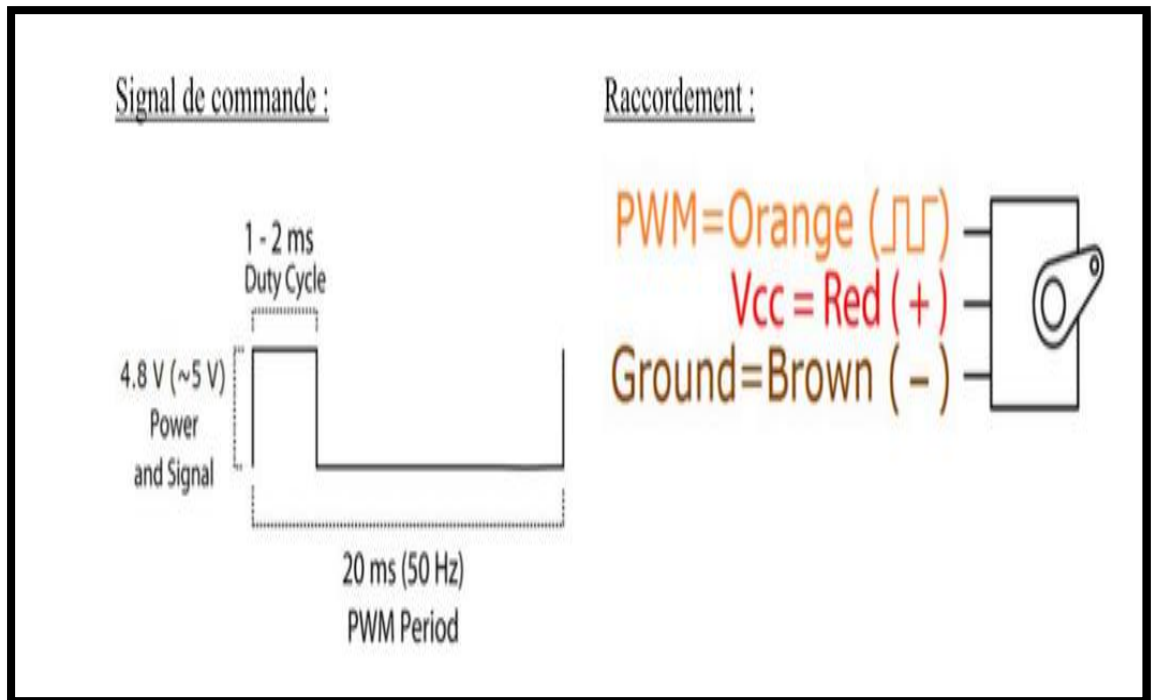


Figure III. 9: Schéma de commande de servomoteur SG90

III.3.2.5 Accumulateur LiPo 3s avec chargeur LiPo équilibré

Les batteries LiPo demeurent des accumulateurs électrochimiques dont la réaction est basé sur le lithium à l'état polymère, non pas à l'état ionique avec 3 cellules, ce qui le rend beaucoup plus performant à la Li Ion (Lithium-Ion) et au Ni-Mh (Nickel Métal Hydrure).



Figure III. 10 : Batterie LiPo 3s, de capacité 2600mAh

Cette batterie a une capacité de stockage de 2600mAh, avec 3s (qui signifie 3 cellules) dans chaque cellule il y a une tension entre ses bornes de 3,7V qui est au total 11,1V, en plus de ça elle a 25C, donc théoriquement elle a une vitesse de chargement 25 fois sa capacité ($25 \times 2,6 = 65\text{Ah}$), cette batterie elle peut donc générer 65A dans un temps de $(1\text{H}/25)$ qui est 2,4 minutes.

- **Précaution à prendre lors de l'utilisation :**
 - Laisser les accumulateurs refroidir entre chaque charge/décharger
 - Lors d'un crash assuré que votre accumulateur n'a pas été percé ou endommagé
 - Il faut charger l'accumulateur avec équilibrage d'où il faut utiliser un chargeur LiPo.
- **Chargeur LiPo équilibré :** Est un appareil permettant de recharger un ou plusieurs accumulateurs et/ou cellules, qu'elles soient dans la batterie ou non.



Figure III. 11: Chargeur LiPo équilibré

- **Précautions d'utilisation**
 - Vérifier qu'il convient au type de batterie à recharger ;
 - Suivre les instructions du fabricant ;
 - Respecter la polarité de la batterie à recharger.

III.3.3 Autres matériels utilisés

- Polystyrène extrudé d'épaisseur 40mm ;
- La colle et le scotch pour l'assemblage ;
- Fil chaud : C'est un fil conducteur non magnétique (alliage Nickel et le Chrome), l'alliage permet d'augmenter la résistivité (composé de 80% Nickel et 20% de Chrome. Son diamètre 0.4mm et sa longueur 800mm, on l'utilise pour réaliser la découpe de polystyrène ;
- Variateur de tension (transformateur abaisseur) pour alimenter le fil de Nickel-Chrome ;
- 3 petites roues de diamètre 100 mm avec ses organes nécessaire comme l'aluminium, l'acier inoxydable et les 3 roulements à rouleaux cylindrique de diamètre 22mm ;
- Plusieurs autres matériaux et appareilles dans le HALL technologie de notre université et l'association scientifique LEFNAR comme : la machine de tournage, perçage, cutter, ciseaux, papier de verre, la laque, pied à coulisse...etc.

III. 4 Deuxième partie : La conception de l'avion modèle réduit sur SOLIDWORKS et sa réalisation

Chaque réalisation est précédée par une conception assistée par ordinateur C.A.O à l'aide des logiciels dans le but de modéliser, de concevoir et de tester virtuellement la réalisation et les outils de construction, on distingue plusieurs logiciels destinés à la construction mécanique et aéronautique tel que le (Solidworks, TopSolid, Pro/Engineer (PTC), AutoCAD/MDT, Solid Edge d'UGS, Inventor 2D et 3D d'Autodesk, CATIA et SpaceClaim) [22].

Cet avion RC est un multi axes, il a une envergure de 1,15m, une surface alaire de 0.2093m², une longueur de 0.95m et une hauteur maximale de 0.4m.

III.4.1 Présentation de l'utile C.A.O SOLIDWORKS

C'est un logiciel de conception assisté par ordinateur (C.A.O), créer en 1993 par un Américain et acheter en 1997 par la société DASSAULT SYSTEMES, et depuis ce jours le Solidworks est toujours leader de la technologie 3D du fait qu'il offre aux concepteurs un logiciel intuitif, performant et facile à utiliser en plus il a démontré sa fiabilité en production dans un large éventail de secteurs, en permettant aux concepteurs et aux fabricants de commercialiser plus rapidement des produits de qualité à moindre coût [22].

Autrement dit le Solidworks est un modéleur 3D utilisant la conception paramétrique, il génère 3 types de fichiers relatifs à trois concepts de base :

- La pièce ;
- L'assemblage ;
- La mise en plans.

Ces fichiers sont en relation, c'est pour quoi que toute modification à quelque niveau que ce soit est répercutée vers tous les fichiers concernés.

L'éditeur SolidWorks est complété par de nombreux types de logiciels, ainsi que des utilitaires orientés métiers (tôlerie, bois,...etc), mais aussi des applications de simulation mécanique ou d'image de synthèse travaillent à partir des éléments de la maquette virtuelle réaliser.

III.4.2 Conception de l'avion modèle réduit RC

Les étapes de conception sur SolidWorks, comportent la conception du châssis (fuselage) et ces éléments d'assemblages, la voilure (ailes, stabilisateur et la dérive), les gouvernes et le train d'atterrissage.

III.4.2.1 Conception des ailes

La conception des ailes qui sont des profils de types NACA4412, nous avons choisi ce profil, vue sa simplicité, sa portance importante et sa stabilité. L'aile à une corde de 182mm et une épaisseur maximale de 17,836mm. Le tableau de l'annexe D contient les calculs des points requis pour tracer le profil NACA4412 [23].

Avec les points mentionnés dans le tableau de l'Annexe D sur Solidworks, la forme générale de ce profil qu'on a obtenu est celle de la figure ci-dessous.

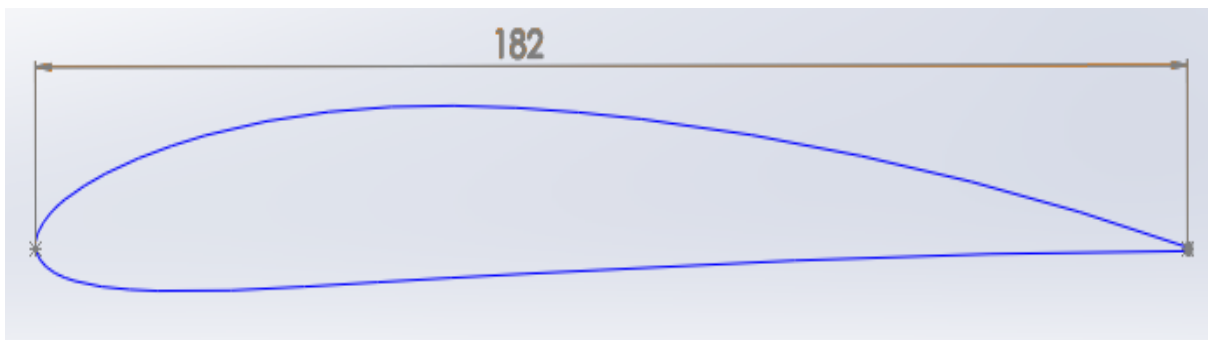


Figure III. 12: La forme de profil NACA4412 sur SolidWorks

Après avoir insérer les points nécessaire pour dessiner la forme de profil au-dessus, on utilise l'esquisse Spline pour leurs donner une forme et base bossage extrudé pour lui donner le volume nécessaire, sans oublier de choisir le polystyrène comme matière première. La figure ci-après représente l'aile de l'avion RC qui a 575,16mm de longueur, et de forme rectangulaire.

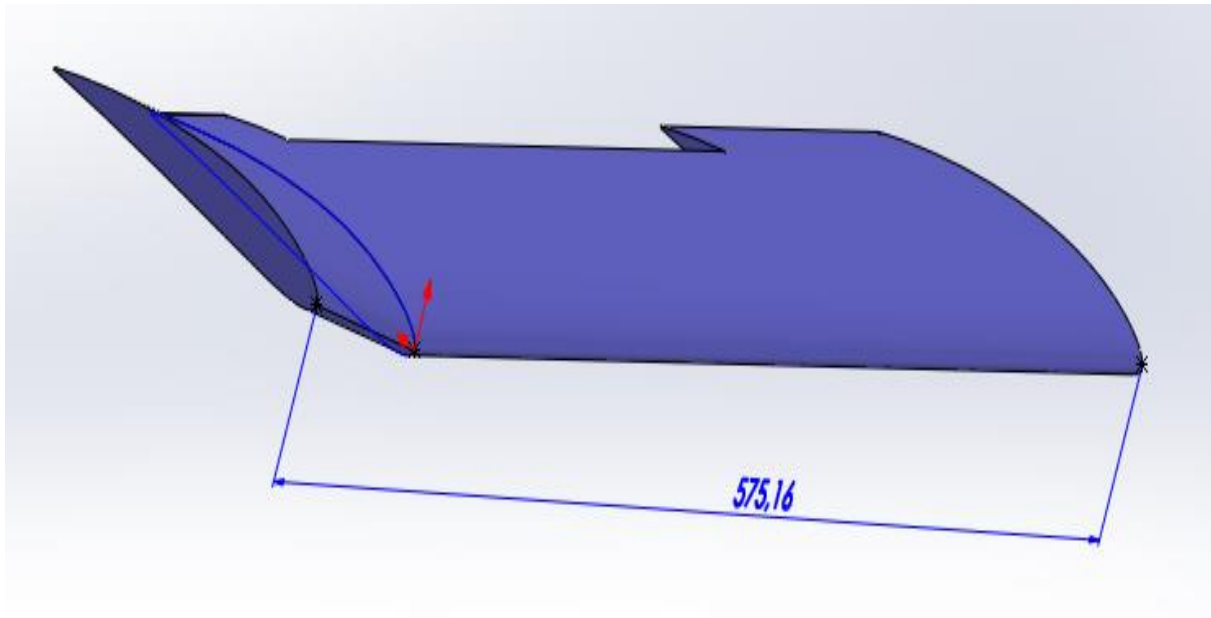


Figure III. 13: Aile droite sur SolidWorks.

Dans cette partie nous allons présenter l'aileron que nous avons enlevé dans l'aile au-dessus,

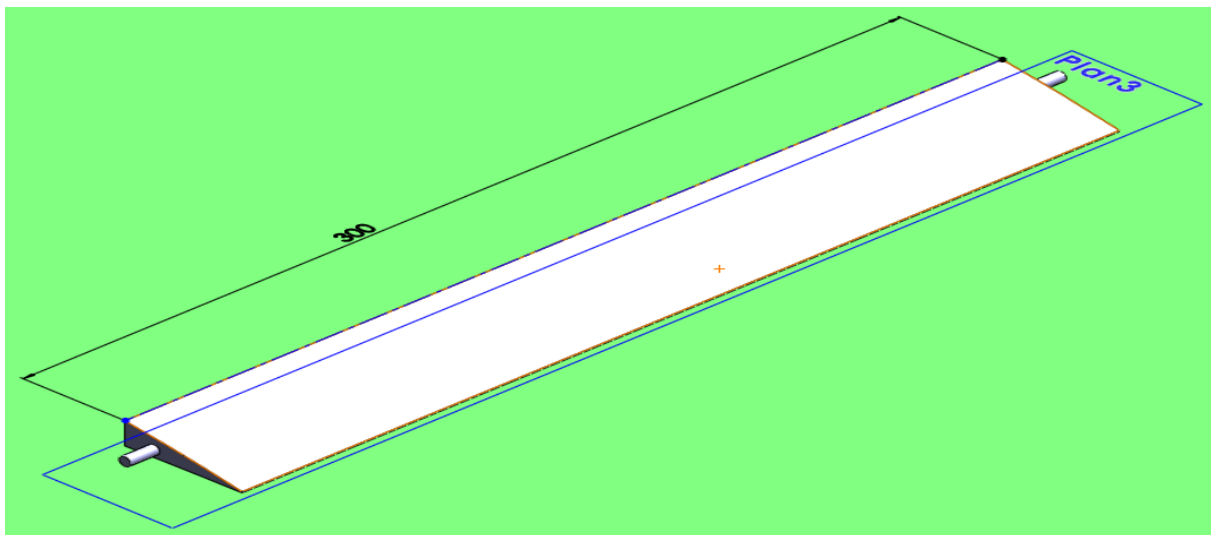


Figure III. 14: Aileron de 300mm sur SolidWorks

Ensuite, dans la figure ci-dessous, on va représenter la symétrie de cette aile de sorte qu'on obtient deux ailes dans l'assemblage final.

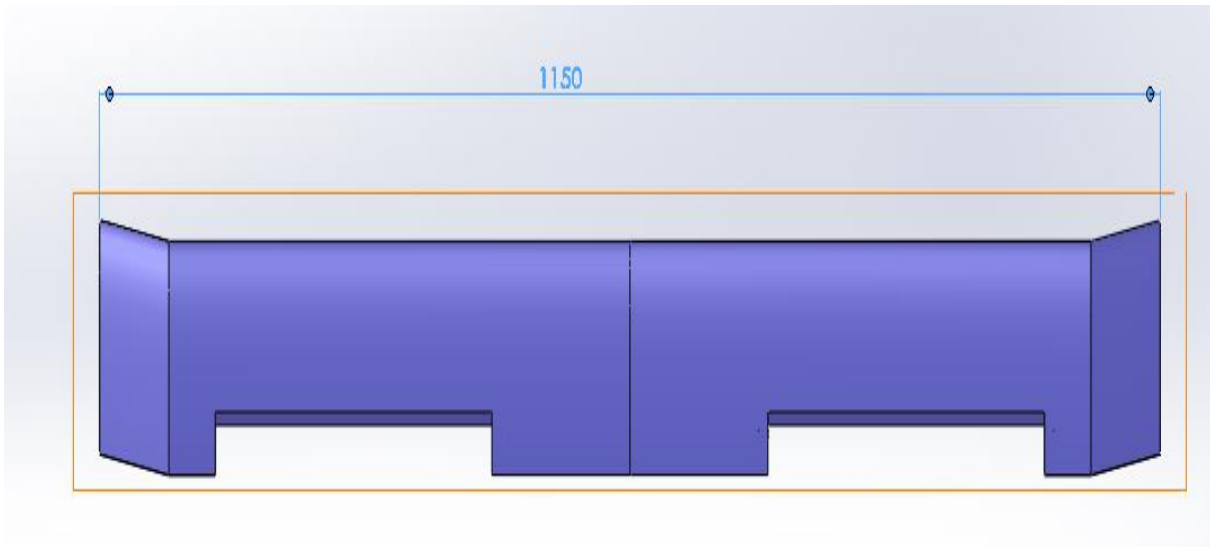


Figure III. 15: Assemblage de l'aile

III.4.2.2 Conception des empennages arrière

La conception des empennages arrière (Vertical et horizontal), qui est très complexe comme les ailes, de fait que leurs formes géométrique comporte des arcs.

On a utilisé des profils symétriques NACA0012, pour les empennages arrière avec des différentes cordes. De fait que la corde de stabilisateur et la partie haute de la dérive font 122mm. Ainsi la corde de la partie basse de la dérive est de 200mm, comme le montrent les deux figures ci-dessous. Voir l'annexe E et l'annexe F [23].

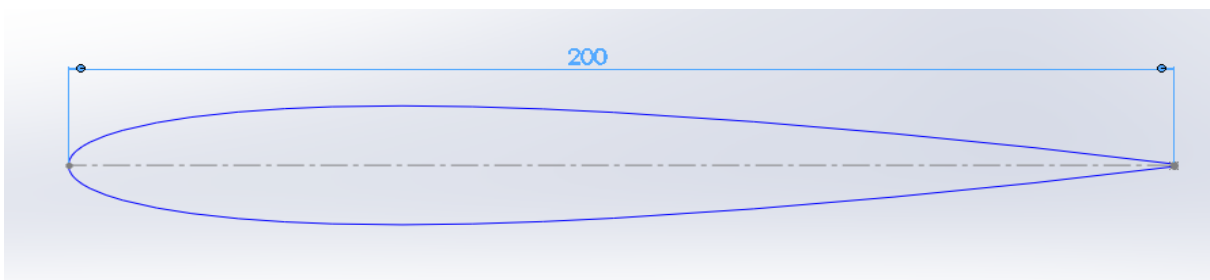


Figure III. 16: Profil NACA0012 sur Solidworks pour la partie basse de la dérive

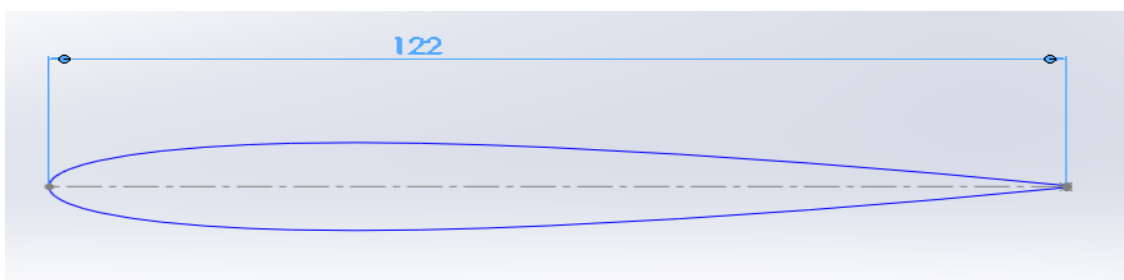


Figure III. 17: Le Profil NACA0012 pour le stabilisateur et la partie haute de la dérive

- A) **Empennage vertical** : La dérive est décomposée en partie fixe et une autre mobile (gouverne de direction), les coordonnées des points pour ce profil sont indiqués dans l'annexe E et F.

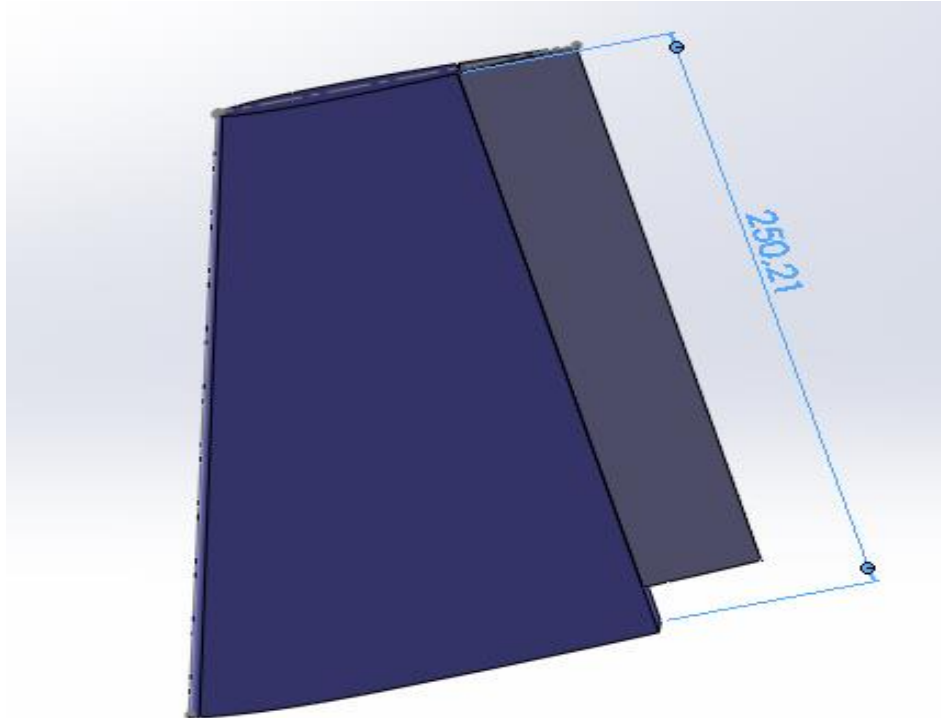


Figure III. 18: L'empennage vertical de l'avion RC sur Solidworks

- B) **Empennage horizontal** : Il se décompose en une partie fixe (Stabilisateur) et une autre mobile (Profondeur), ces différents points de ce profil est définis dans l'annexe F.

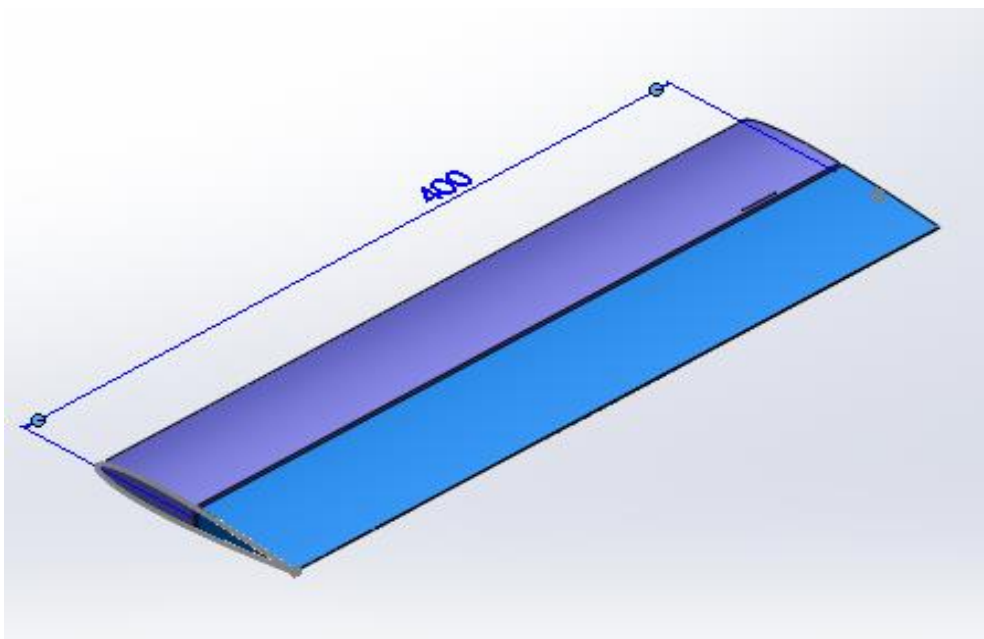


Figure III. 19: empennage horizontal de l'avion RC sur Solidworks

III.4.2.3 Conception de Fuselage

On a opté pour une forme aérodynamique qui a une longueur de 890,5mm, comme la montre la figure ci-dessous.

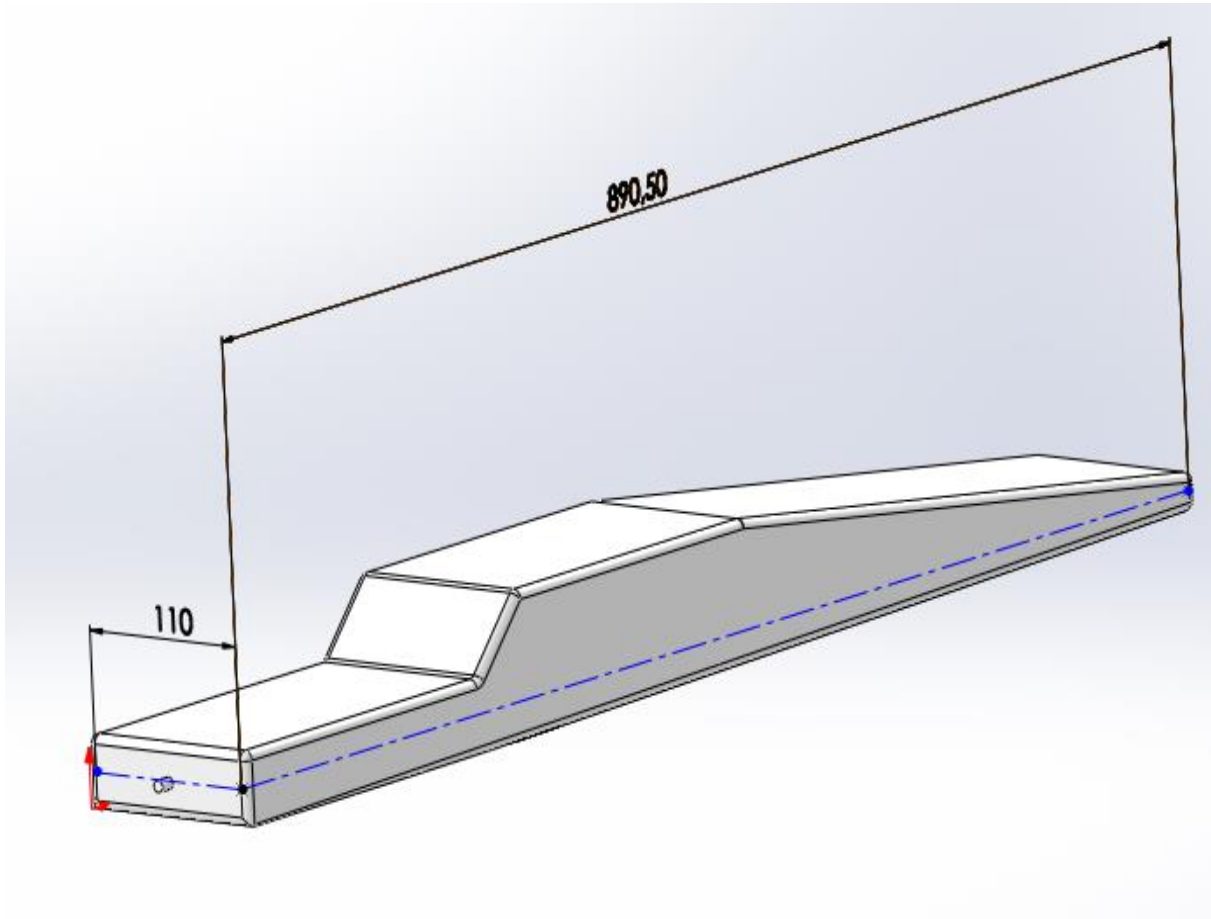


Figure III. 20 : La forme de fuselage de l'avion RC (Abbas AFERNAS) sur SolidWorks

III.4.2.4 Conception des roues d'atterrissage

Ce sont des trains classiques, constitués de 2 trains assemblés à l'avant et d'une roue à la queue de l'avion RC. Voir les trois figures suivantes qui représentent la roue et ses éléments de fixation (arbre en aluminium pour la roue en arrière et les deux arbres en acier pour les deux roues en avant).

Sachant que nous avons utilisé les deux arbres de fixation en Acier pour les deux roues à l'avant pour augmenter la masse, de sorte que le centrage de l'avion RC soit un centrage avant à la fin de notre réalisation. De cette façon, nous pouvons améliorer la stabilité, même si cela pose un problème de maniabilité. En fait, la chose la plus importante pour les débutants en aéromodélisme est la stabilité de l'avion.

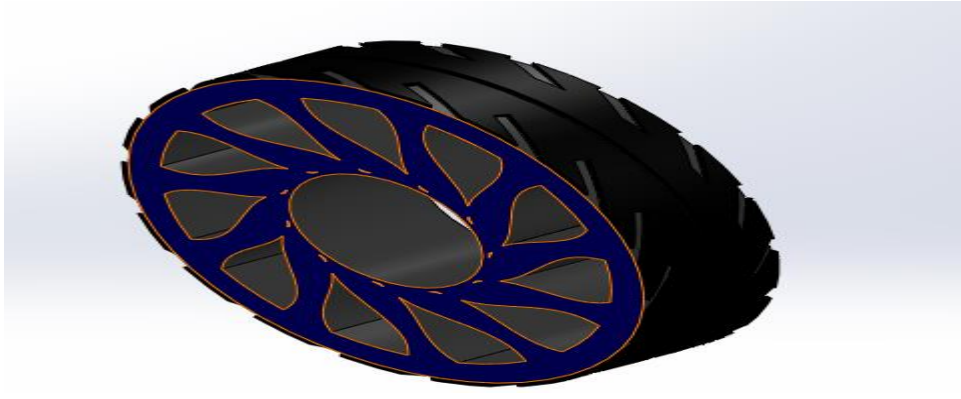


Figure III. 21: La forme de la roues de l'avion RC

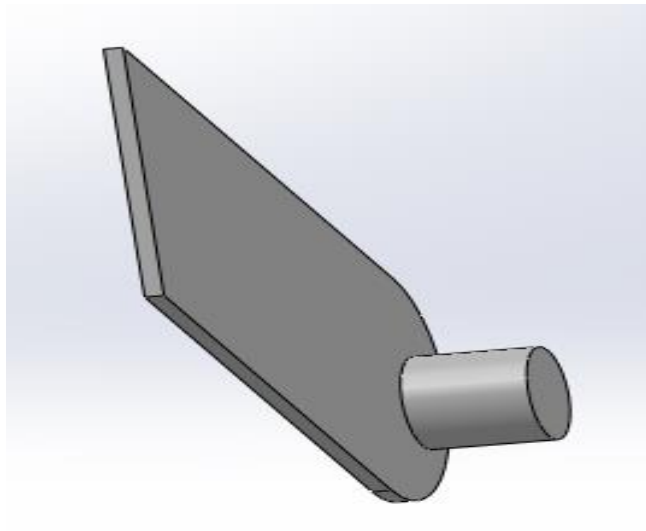


Figure III. 22: La barre en Aluminium pour la fixation de la roue en arrière de l'avion RC

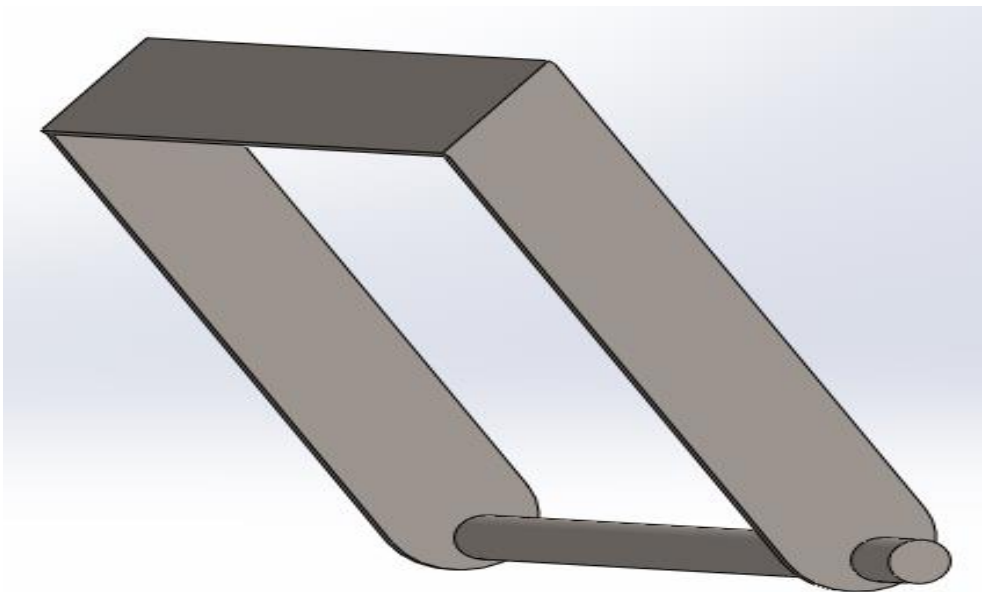


Figure III. 23 : Le support en Acier inoxydable pour la fixation des roues à l'avant de l'avion RC

III.4.2.5 L'assemblage final de L'avion RC

Après avoir conçu toutes les pièces au-dessus, le manque de temps nous a poussé, donc de télécharger une hélice 1045 en format Solidworks (SLDPRT) voir la référence [24], ensuite on a procédé à l'assemblage totale, on obtient un bel avion RC représenté dans les deux figures ci-dessous (III.24) et (III.25).



Figure III. 24 : L'assemblage final de l'avion RC avec une scène dans le désert

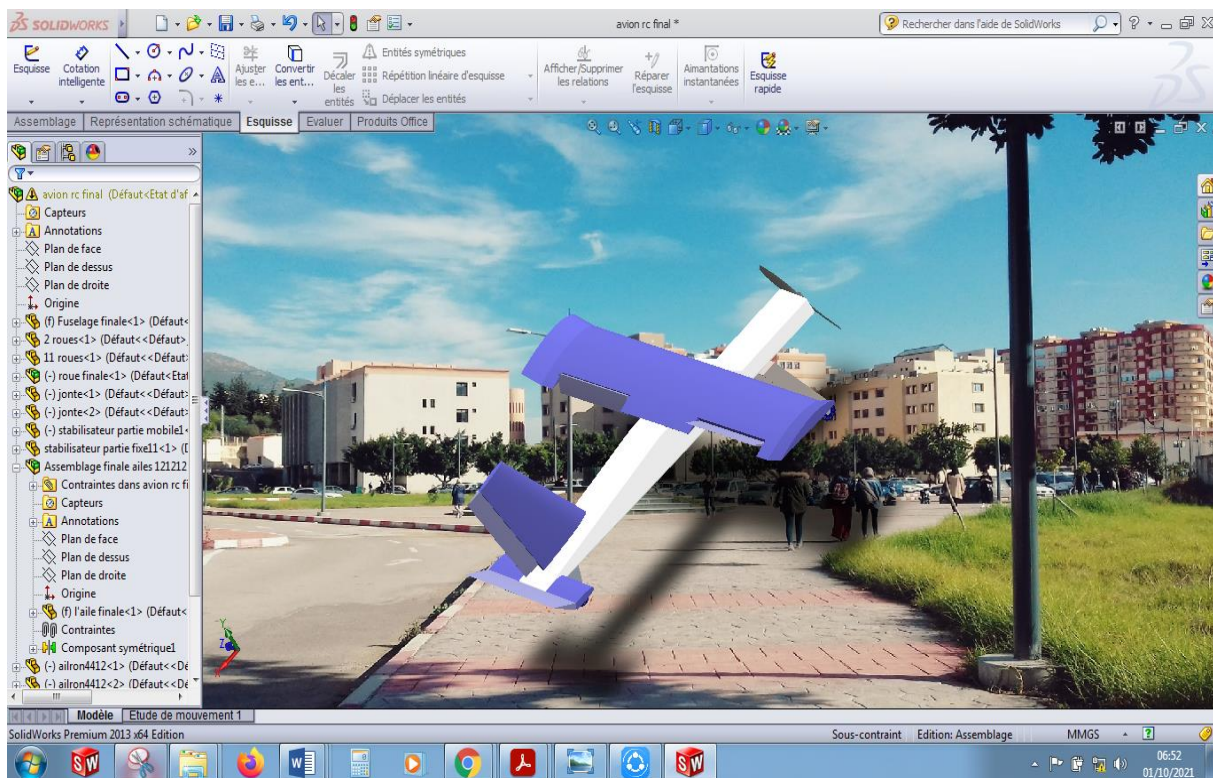


Figure III. 25: Assemblage final de l'avion RC avec une scène d'une photo à l'université de Béjaia

III.4.3 Réalisation de l'avion RC

L'utilisation du polystyrène a été choisie, afin de permettre une maniabilité de former les différentes courbures qui constituent l'avion RC. Tout ce travail a été réalisé à base d'une machine de découpe manuelle de polystyrène qu'on a fabriqué, l'environnement de travail sérieux était l'essentiel dans la réussite du projet dans l'ensemble (la découpe de polystyrène, l'assemblage...etc.).

III.4.3.1 Découpe au fil chaud

Tous les composants de l'avion RC sont en polystyrène découpés grâce à une machine de découpe manuel à deux axes équipé d'un fil fin résistif conducteur non magnétique de diamètre 0,4mm (alliage Nickel et le Chrome) alimenter par un variateur de tension (entre 15V à 35V), relier avec un fil élastique pour garder le fil chaud bien tendu, car une surtension du fil Nickel-Chrome peut causer des défauts structurels ou bruler un excès de matière.



Figure III. 26 : Machine de découpe de polystyrène avec un variateur de tension.

III.4.3.2 Découpe des éléments

A) Découpe des ailes et les empennages

Les ailes et les empennages arrière sont construit à base de polystyrène extrudé et découper à l'aide des gabarits qu'on a réalisé après avoir imprimé sur Solidworks les profils NACA4412 pour les ailes et NACA0012 pour les empennages, ensuite découpage avec la machine de découpe, voir la figure ci-dessous.



Figure III. 27 : Méthode de découpe des éléments de l'avion RC.

Dans cette partie, nous représenterons dans les deux figures ci-dessous l'état final des ailes et les empennages arrière (stabilisateur et la dérive) successivement.



Figure III. 28 : Les deux ailes assemblées avec un dièdre de $2,29^\circ$ et deux winglets



Figure III. 29: L'état final des empennages arrière de l'avion RC

B) Découpe de fuselage

Le fuselage (châssis) de l'avion RC est construit en polystyrène extrudé et découpé à l'aide de deux gabarits qu'on a utilisé comme support de coupe entre les deux facettes. La longueur de fuselage est 890,5mm, sa réalisation est basée sur l'emplacement de moteur et les différents éléments qu'on a réalisé.



Figure III. 30: L'état final de Fuselage (châssis)

III.4.3.3 Trains d'atterrissage

Pour avoir un centrage avant de l'avion, on a réalisé le train d'atterrissage de la façon suivante :

- **Une roue à la queue de l'avion RC** : Nous avons réalisé le support d'aluminium pour la fixation de la roue à la queue de l'avion RC, qui a une masse un peu léger par rapport aux autres matériaux. Voir la figure ci-dessous :



Figure III. 31 : Roue de l'arrière avec sa fixation en aluminium

- **Deux roues à l'avant de l'avion RC** : Nous avons réalisé le support et la barre pour les deux roues avec ses éléments de fixation en Acier, Nous avons aussi fabriqué deux pièces intermédiaires similaires pour lier les roues avec l'axe. Ensuite on a procédé à l'alignement des roues avant avec celle de l'arrière, pour que l'avion RC soit bien centré en avant. Voir la figure ci-dessous :



Figure III. 32 : Les deux roues à l'avant avec sa fixation

Nb : Voir l'annexe G, pour plus de photos sur la réalisation pratique de tous les éléments de l'avion RC.

III.4.3.4 L'assemblage des différentes parties de l'avion RC

On a procédé à l'assemblage final des parties réalisées de l'avion modèle réduit téléguidé. A l'aide de la colle et de scotch et d'autres matériaux de fixation on a obtenu l'avion RC (Abbas AFERNAS) qui est représenté dans la figure ci-dessous :



Figure III. 33 : L'état final de notre avion RC

Le ponçage en papier de verre pour le fuselage avant l'assemblage total est obligatoire pour avoir des surfaces lisses et fines.

III. 5 Troisième partie : Test du vol

III.5.1 Préparatifs avant le vol

L'usage de l'avion est maintenant prêt. Il est possible de s'entraîner à piloter sur l'ordinateur avec la télécommande. Il existe plusieurs simulateurs d'avion RC comme « Phoeni model flight simulation ». Ce dernier est très réaliste. Il y a différents avions à choix et les paramètres des vols sont programmables.

Une fois bien entraîné et prêt pour le vol, s'assurer que les commandes fonctionnent bien à distance. Pour cela tester la portée de la commande en s'éloignant de l'avion et en vérifiant que les gouvernes sont actionnées. Ceci fait, l'avion est prêt.

III.5.2 Analyse de prototype

Selon le modèle mathématique de la mécanique du vol qu'on a décrit au chapitre 2, l'avion est généralement piloté en examinant les deux équations qui permettent à l'avion de décoller, ce qui est illustré à la page 49.

Alors j'ai procédé à deux essais :

- A) **1^{er} essai** : Après avoir testé le module de contrôle de l'avion RC, en regardant la vidéo, il a été constaté que l'avion était très contrôlable. Malheureusement, l'avion s'est penché vers la gauche. Grâce à l'analyse de ce problème, on a constaté que les roues n'étaient pas parallèles et étaient pas assez symétrique.
- B) **2^{em} essai** : On a envisagé une solution en changeant le système de fixation des roues par un autre plus fiable, robuste et plus symétrique. Dans la deuxième vidéo en remarque que l'avion RC avec le nouveau train d'atterrissage se stabilise et roule en ligne droite mais il s'est incliné à une certaine vitesse dû au terrain. Par conséquent, un sol de décollage soigneusement conçu est nécessaire pour empêcher les roues de basculer sur le côté. Le choix de terrain bien lisse nous a causé des difficultés majeures.

III. 6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons décrit les éléments et matériaux utilisé dans cette réalisation de modèle réduit d'avion téléguidé ainsi sa conception sur Solidworks, le seul problème qui est apparu au niveau de terrain d'essai qui doit être long et adapté à la vitesse de décollage (environs 80 Km/h) de cet appareil, malheureusement on n'a pas pu arriver à trouver un terrain lisse.

Conclusion générale

CONCLUSION GENERALE

Enfin, on peut dire que ce projet est une expérience très fructueuse, utile et riche. Il nous a permis de faire le premier pas dans le monde réel de la fabrication de modèles réduits d'avions. Cela nous a permis également d'utiliser divers éléments pertinents de conception et de contrôle du vol de planeur. Au niveau logiciel, ce projet nous a donné un accès direct au logiciel de conception Solidworks.

Pour commander le moteur Brushless, des servomoteurs, ou de piloter cet avion en général, nous nous sommes intéressés à comprendre les caractéristiques, modes de fonctionnement et restrictions d'utilisation de chaque composant, et comment intégrer tous ces éléments « émetteur AT9S, récepteur R9DS, ESC 30A » et leurs procédures afin d'offrir une meilleure navigation à cet aéronef dans son environnement

Ce mémoire est donc le résumé le plus possible du notre projet. Toutefois, en effet, ce projet est vaste et complexe, il a été impossible de détailler tous les composants du projet. Ainsi, certaines parties ont été résumées brièvement et il serait alors nécessaire de les documenter plus en détails pour permettre comprendre mieux le fonctionnement de la commande et avoir une meilleure connaissance sur le mode de navigation de robot aérienne.

Les parties perplexes de ce travail sont les profils aérodynamiques depuis les ailes, ailerons, Winglets (NACA 4412), le stabilisateur, profondeur, la dérive et gouverne de direction (NACA 0012) jusqu'au fuselage ayant des formes complexes que nous avons soigneusement réalisé. Ainsi le dimensionnements de toutes les parties a été calculé via les équations aérodynamiques, à savoir la portance et la traînée. Pour faire décoller ce modèle réduit on doit atteindre une vitesse de seuil enverrons 80 Km/h

Ce projet est très important, concernant notre étude en électromécanique où on a met en pratique les connaissances approfondi en mécanique, électricité et même en programmation (informatique), on s'est rendu compte que la mise en pratique n'est pas simple et nous espérons que d'autres collègues poursuivront ces expériences. Dommage que la situation sanitaire ne nous a pas permis de travailler un peu plus.

Comme perspectives nous proposons :

- La commande d'une façon autonome ;
- Ajouté un correcteur (IMUS) et/ou un contrôleur du vol CC3D ;
- Ajouter un afficheur LCD sur la manette ;

CONCLUSION GENERALE

- Utiliser une caméra embarquée ;
- Utiliser un GPS ;
- Il est recommandé d'utiliser des matériaux composites pour réaliser les différentes parties d'assemblage.

En définitive il est conseillé de s'inscrire dans un club aéromodélisme.

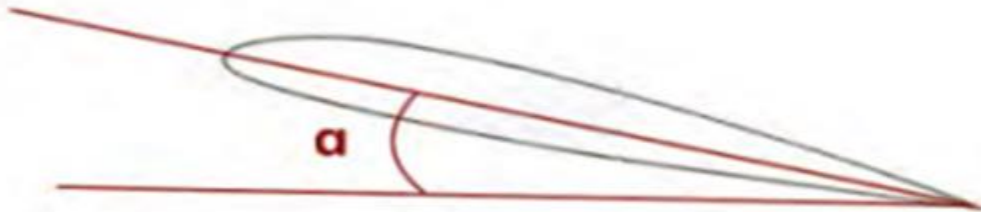
Annexes

Définition :

Servomoteur : c'est un système qui a pour but de produire un mouvement précis en réponse à une commande.



Angle d'attaque : c'est l'angle formé entre la corde qui relie le bord d'attaque avec le bord de fuite et la direction du vent qui vient d'en face.



Formule de l'aérodynamique : la formule utilisée pour nos calculs est la formule de base de l'aérodynamique. Il existe d'autres pour des cas moins généralisés.

Extrudé : Un matériau isolant aux multiples avantages : Le polystyrène extrudé (XPS ou PSX) fait partie des matériaux utilisés pour assurer l'isolation thermique des bâtiments. ... Il est également appelé « styromousse rigide », « mousse bleue », ou « isolant rose »

Décrochage : C'est le moment où l'air n'est plus laminaire sur l'aile. Il y a des tourbillons qui se forment dessus. Il n'y a par conséquent plus de portance et l'avion tombe. Cela arrive lorsque l'avion ne va pas assez vite ou lorsqu'il a un angle d'attaque trop élevé.

Annexe A

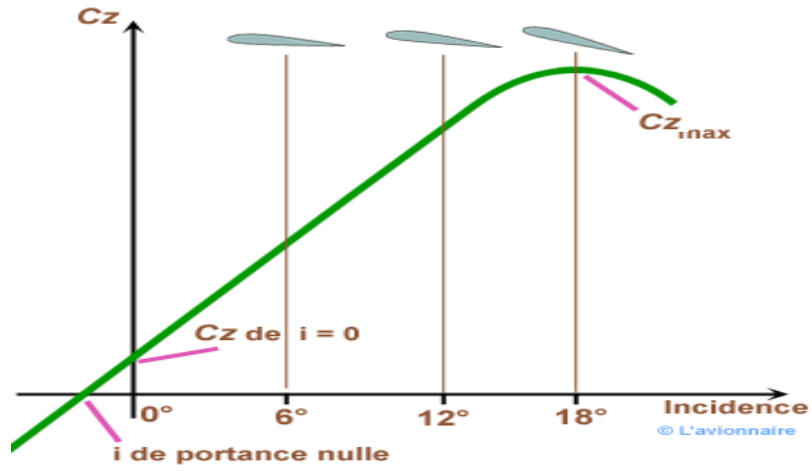


Figure Annexe A : Variation de coefficient de portance en fonction de l'angle d'incidence

Annexe B

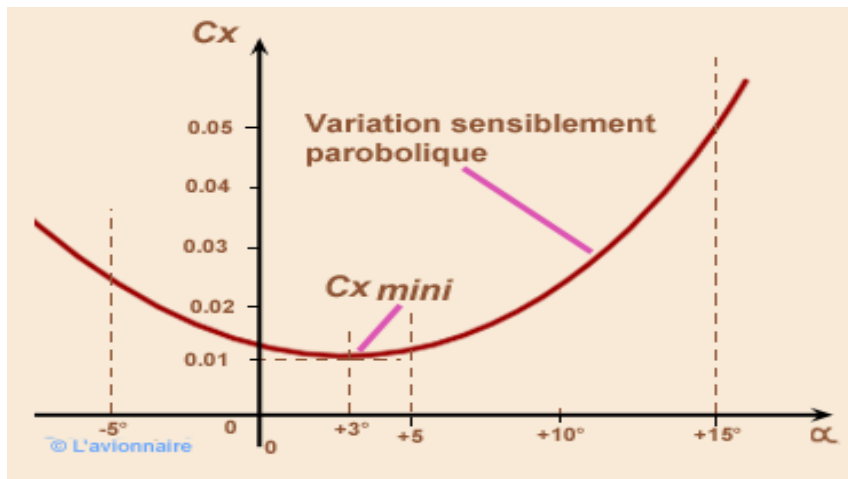


Figure Annexe B : Variation de coefficient de traînée en fonction de l'angle d'incidence

Annexe C

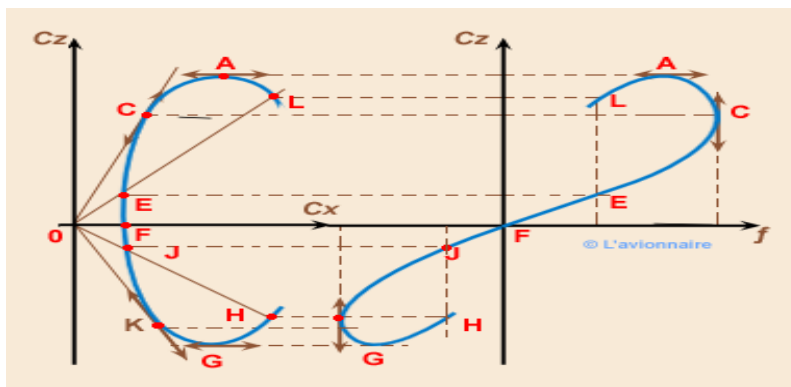


Figure Annexe C : Représentation de la finesse en fonction de C_x et C_z

ANNEXES

Annexe D

X	Y	Z
182	0,2366	0
172,9	2,6754	0
163,8	4,9322	0
145,6	8,8998	0
127,4	12,1758	0
109,2	14,8148	0
91	16,7258	0
72,8	17,836	0
54,6	17,7632	0
45,5	17,1262	0
36,4	16,016	0
27,3	14,3598	0
18,2	11,9938	0
13,65	10,4832	0
9,1	8,6086	0
4,55	6,1698	0
2,275	4,4408	0
0	0	0
2,275	-2,6026	0
4,55	-3,549	0
9,1	-4,5318	0
13,65	-4,9868	0
18,2	-5,2052	0
27,3	-5,2416	0
36,4	-4,9868	0
45,5	-4,55	0
54,6	-4,1132	0
72,8	-3,276	0
91	-2,548	0
109,2	-1,82	0
127,4	-1,183	0
145,6	-0,7098	0
163,8	-0,4004	0
172,9	-0,2912	0
182	-0,2366	0

ANNEXES

Annexe E

Les coordonnées (X ; Y ; Z) de l'arc de profil NACA0012 pour la partie basse de la dérive.

X	Y	Z
200.000000	0.252000	0
199.883220	0.268380	0
199.533160	0.317400	0
198.950640	0.398760	0
198.137000	0.511900	0
197.094180	0.656080	0
195.824580	0.830380	0
194.331180	1.033700	0
192.617460	1.264760	0
190.687440	1.522160	0
188.545600	1.804340	0
186.196980	2.109700	0
183.647020	2.436460	0
180.901700	2.782860	0
177.967440	3.147020	0
174.851080	3.527060	0
171.559900	3.921020	0
168.101580	4.326940	0
164.484220	4.742840	0
160.716260	5.166740	0
156.806480	5.596560	0
152.764040	6.030300	0
148.598340	6.465880	0
144.319160	6.901160	0
139.936460	7.334000	0
135.460500	7.762180	0
130.901700	8.183480	0
126.270740	8.595560	0
121.578420	8.996040	0
116.835720	9.382480	0
112.053660	9.752380	0
107.243480	10.103220	0
102.416380	10.432400	0
97.583620	10.737320	0
92.756520	11.015380	0
87.946340	11.264000	0
83.164300	11.480660	0
78.421580	11.662900	0
73.729260	11.808380	0
69.098300	11.914940	0
64.539520	11.980560	0

ANNEXES

60.063540	12.003440	0
55.680840	11.982040	0
51.401660	11.915100	0
47.235980	11.801620	0
43.193520	11.640960	0
39.283740	11.432800	0
35.515780	11.177120	0
31.898420	10.874300	0
28.440100	10.525020	0
25.148920	10.130260	0
22.032560	9.691340	0
19.098300	9.209780	0
16.352980	8.687420	0
13.803040	8.126200	0
11.454400	7.528280	0
9.312560	6.895840	0
7.382540	6.231180	0
5.668820	5.536540	0
4.175420	4.814120	0
2.905820	4.066000	0
1.862980	3.294120	0
1.049360	2.500220	0
0.466840	1.685780	0
0.116780	0.852060	0
0.000000	0.000000	0
0.116780	-0.852060	0
0.466840	-1.685780	0
1.049360	-2.500220	0
1.862980	-3.294120	0
2.905820	-4.066000	0
4.175420	-4.814120	0
5.668820	-5.536540	0
7.382540	-6.231180	0
9.312560	-6.895840	0
11.454400	-7.528280	0
13.803040	-8.126200	0
16.352980	-8.687420	0
19.098300	-9.209780	0
22.032560	-9.691340	0
25.148920	-10.130260	0
28.440100	-10.525020	0
31.898420	-10.874300	0
35.515780	-11.177120	0
39.283740	-11.432800	0
43.193520	-11.640960	0
47.235980	-11.801620	0
51.401660	-11.915100	0

ANNEXES

55.680840	-11.982040	0
60.063540	-12.003440	0
64.539520	-11.980560	0
69.098300	-11.914940	0
73.729260	-11.808380	0
78.421580	-11.662900	0
83.164300	-11.480660	0
87.946340	-11.264000	0
92.756520	-11.015380	0
97.583620	-10.737320	0
102.416380	-10.432400	0
107.243480	-10.103220	0
112.053660	-9.752380	0
116.835720	-9.382480	0
121.578420	-8.996040	0
126.270740	-8.595560	0
130.901700	-8.183480	0
135.460500	-7.762180	0
139.936460	-7.334000	0
144.319160	-6.901160	0
148.598340	-6.465880	0
152.764040	-6.030300	0
156.806480	-5.596560	0
160.716260	-5.166740	0
164.484220	-4.742840	0
168.101580	-4.326940	0
171.559900	-3.921020	0
174.851080	-3.527060	0
177.967440	-3.147020	0
180.901700	-2.782860	0
183.647020	-2.436460	0
186.196980	-2.109700	0
188.545600	-1.804340	0
190.687440	-1.522160	0
192.617460	-1.264760	0
194.331180	-1.033700	0
195.824580	-0.830380	0
197.094180	-0.656080	0
198.137000	-0.511900	0
198.950640	-0.398760	0
199.533160	-0.317400	0
199.883220	-0.268380	0
200.000000	-0.252000	0

ANNEXES

Annexe F

Les coordonnées (X ; Y ; Z) de profil NACA0012 pour le stabilisateur et la partie haute de la dérive.

X	Y	Z
122	0.15372	0
121.928752	0.163724	0
121.715252	0.193614	0
121.359866	0.243268	0
120.86357	0.31232	0
120.227462	0.40016	0
119.453006	0.506544	0
118.542032	0.630618	0
117.496614	0.771528	0
116.319314	0.928542	0
115.012816	1.100684	0
113.58017	1.286978	0
112.02467	1.486204	0
110.350098	1.697508	0
108.560114	1.91967	0
106.65911	2.15147	0
104.6516	2.39181	0
102.541976	2.63947	0
100.335362	2.893108	0
98.036882	3.151748	0
95.651904	3.413926	0
93.18604	3.678544	0
90.645024	3.944138	0
88.034712	4.209732	0
85.361204	4.47374	0
82.630966	4.734942	0
79.850098	4.991874	0
77.025188	5.243316	0
74.162824	5.48756	0
71.269838	5.723264	0
68.352696	5.948964	0
65.418474	6.162952	0
62.474004	6.363764	0
59.525996	6.549814	0
56.581526	6.719394	0
53.647304	6.87104	0
50.730284	7.003166	0
47.837176	7.114308	0
44.974812	7.203124	0
42.150024	7.26815	0
39.369156	7.308166	0
36.638796	7.322074	0
33.965288	7.30902	0

ANNEXES

31.354976	7.268272	0
28.81396	7.198976	0
26.348096	7.10101	0
23.963118	6.974008	0
21.664638	6.818092	0
19.458024	6.633384	0
17.348522	6.42025	0
15.34089	6.179422	0
13.439886	5.911754	0
11.650024	5.617978	0
9.97533	5.299314	0
8.41983	4.956982	0
6.987184	4.592202	0
5.680686	4.206438	0
4.503386	3.801032	0
3.457968	3.377326	0
2.546994	2.936662	0
1.772538	2.48026	0
1.13643	2.009462	0
0.640134	1.525122	0
0.284748	1.028338	0
0.071248	0.51972	0
0	0	0
0.071248	-0.51972	0
0.284748	-1.028338	0
0.640134	-1.525122	0
1.13643	-2.009462	0
1.772538	-2.48026	0
2.546994	-2.936662	0
3.457968	-3.377326	0
4.503386	-3.801032	0
5.680686	-4.206438	0
6.987184	-4.592202	0
8.41983	-4.956982	0
9.97533	-5.299314	0
11.650024	-5.617978	0
13.439886	-5.911754	0
15.34089	-6.179422	0
17.348522	-6.42025	0
19.458024	-6.633384	0
21.664638	-6.818092	0
23.963118	-6.974008	0
26.348096	-7.10101	0
28.81396	-7.198976	0
31.354976	-7.268272	0
33.965288	-7.30902	0
36.638796	-7.322074	0
39.369156	-7.308166	0
42.150024	-7.26815	0
44.974812	-7.203124	0
47.837176	-7.114308	0
50.730284	-7.003166	0

ANNEXES

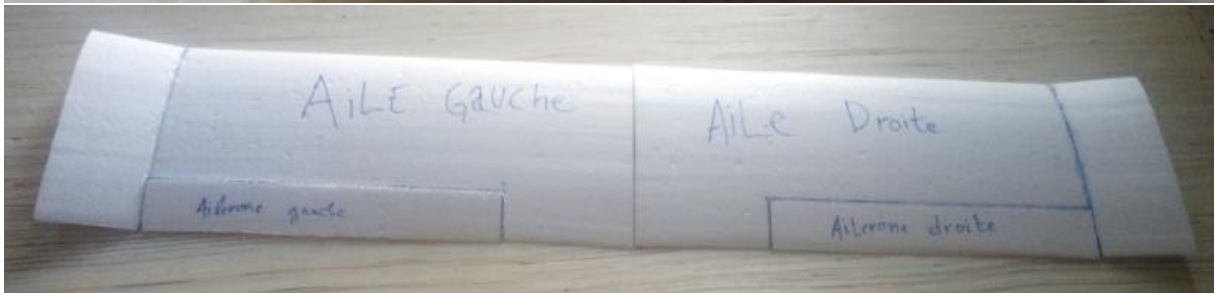
53.647304	-6.87104	0
56.581526	-6.719394	0
59.525996	-6.549814	0
62.474004	-6.363764	0
65.418474	-6.162952	0
68.352696	-5.948964	0
71.269838	-5.723264	0
74.162824	-5.48756	0
77.025188	-5.243316	0
79.850098	-4.991874	0
82.630966	-4.734942	0
85.361204	-4.47374	0
88.034712	-4.209732	0
90.645024	-3.944138	0
93.18604	-3.678544	0
95.651904	-3.413926	0
98.036882	-3.151748	0
100.335362	-2.893108	0
102.541976	-2.63947	0
104.6516	-2.39181	0
106.65911	-2.15147	0
108.560114	-1.91967	0
110.350098	-1.697508	0
112.02467	-1.486204	0
113.58017	-1.286978	0
115.012816	-1.100684	0
116.319314	-0.928542	0
117.496614	-0.771528	0
118.542032	-0.630618	0
119.453006	-0.506544	0
120.227462	-0.40016	0
120.86357	-0.31232	0
121.359866	-0.243268	0
121.715252	-0.193614	0
121.928752	-0.163724	0
122	-0.15372	0

Annexe G

Quelques photos dans la réalisation pratique de l'avion RC Abbas AFERNAS



ANNEXES



ANNEXES



Bibliographies

BIBLIOGRAPHIES

- [1]: Ilan Kroo, « History of Airfoil Development » [archive], sur Stanford Course AA241: Aircraft Design Synthesis and Analysis; 21 Août 2014.
- [2]: Anderson, J.D- John D. Anderson. «Fundamentals of aerodynamics», Boston, McGraw-Hill 2006.
- [3] : M. S. Mounir, A.Halim, PFE « Conception et réalisation d'un bras manipulateur a 3 degré de liberté », Spécialité : Système vision et robotique, Université de Blida, 2017 Algérie.
- [4] : <https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Avion-page-2.html>
- [5] : Définition selon la définition officielle de l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI), Montréal, Canada ; Création : 4 avril 1947, site officielle : https://www.icao.int/about-icao/pages/fr/foundation-of-icao_fr.aspx
- [6]: Pedro Castillo, Rogelio Lozano and Alejandro E. Dzul, “Modelling and Control of Mini-Flying Machines”. Springer-Verlag London. 2005.
- [7] : François Veysset, Thèse de doctorat “Modélisation et identification de comportements de l’avion en vol turbulent par modèles à retards“ ; Lille, France ; 17 Novembre 2006.
- [8] : Mr Lazhar Bouchaour; «Etude d'un écoulement incompressible autour d'un profil tournant »; Diplôme de Magister en physique Energétique; Université Mentouri Constantine; 2011.
- [9] : Fédération Française d'Aéromodélisme, INITIATION A L'AERO-MODELISME (Radiocommandé), APPROCH DE LA CONSTRUCTION, Edition juillet 2009.
- [10] : Livre : AIRCRAFT DESIGN ; Une approche conceptuelle, par l’auteur : DANIEL P RAYMER, 1989.
- [11]: Site web: <http://forums.futura-sciences.com>
- [12] : CHAFFARDON Christopher, LE COLLETER Quentin et POYET Arnaud ; L’aile d’avion ; Lycée Jean Monnet Annemasse (74), France, Juin 2003.
- [13] : MARIE Florian, ORTEGA Vincent, VALERY Sylvain, Dossier TPE : les avions radiocommandés, 2008-2009.
- [14] : Article d’essai sur Radio ROBBE ECO FMS4, Radio modélisme n°166, Octobre 1980.
- [15] : Mrs Boudine et Ratni, mémoire de fin d’étude, «Conception et Réalisation d'un mini drone BR-50 pour l'agriculture» 2013.

BIBLIOGRAPHIES

[16]: AIRCRAFT DESIGN; A Conceptual Approach BY DANIEL P RAYMER.

[17] : Fédération Française d'Aéromodélisme, INITIATION A L'AERO –MODELISME (Radiocommandé), GENERALITES, Edition juillet 2009.

[18]: Site web: <https://www.lavionnaire.fr>

[19] : F. Veysset, L. Belkoura, P. Coton et J-P. Richard : Modélisation de la dynamique du vol longitudinal d'un avion dans la turbulence par modèle à retards. In CIFA2006, 4th IEEE Conférence Internationale Francophone d'Automatique, Bordeaux, France, Mai-Juin 2006.

[20]: site web: <http://fr.jivaro-models.org>

[21] : site web officielle de Radiolink : <https://www.radiolink.com/>

[22] : Marc Derumaux : « Modélisation des moteurs Brushless », Livre en ligne, professeur en classe préparatoire scientifique au lycée Saint-Louis à Paris, 22 décembre 2017.

[23]: Site web: <http://airfoiltools.com/>

[24] : Site web : <https://grabcad.com/> (GrabCAD est une plate-forme de collaboration pour les professionnels afin qu'ils puissent partager leurs fichiers CAO et les imprimer en 3D).

[25]: Site web: <https://www.absolu-modelisme.com/>

Résumé

Le modèle réduit d'avion téléguidé Abbas AFERNAS est un avion sans pilote commandé à distance avec des signaux radio PWM. On peut l'utiliser pour une variété d'application civile et militaire. Une étude aérodynamique préliminaire nous a amené à définir une configuration idéale dans sa conception avec une masse de 1,78Kg et une envergure de 1,15m.

Abbas AFERNAS est construit à base de polystyrène, cet avion servira pour des reconnaissances et identification dotée par une propulsion électrique de 470W.

Enfin, j'espère que les générations futures adopteront ce modèle et le développeront.

Mots clés : Modèle réduit, Téléguidé, radio fréquence, PWM, étude aérodynamique, conception, reconnaissance

Abstract

The Abbas AFERNAS RC model aircraft is a remotely controlled unmanned aircraft with PWM radio signals. It can be used for a variety of civilian and military applications. A preliminary aerodynamic study led us to define an ideal configuration in its design with a mass of 1.78Kg and a wingspan of 1.15m.

Abbas AFERNAS is built on a polystyrene base; this aircraft will be used for reconnaissance and identification equipped with an electric propulsion of 470W.

Finally, I hope that future generations will adopt and develop this model

Key words: Model aircraft, Remotely controlled, radio frequency, PWM, aerodynamic study, design, reconnaissance