

Dédicace:

Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut.... Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, le respect, la reconnaissance... Aussi, c'est tout simplement que je dédie ce modeste travail en témoignage de toute mon affection et mon respect à :

- **La chère mère et le cher père pour leurs sacrifices, ma mère, la lumière des yeux et source de notre volonté. mon père qui est tout sacrifié pour que nous puissions étudier.**
- **Le frère Mohammed et les sœurs « romi, sari, zoun, hafsa, aloula, isro», mes neveux « rani, rafo »**
- **Le professeur Tamar Mustafa et sa épouse madame Tahya .**
- **Me.Azzdine, Me.Djallel , Me.Rabah .**
- **La tante Nouara et l'oncle Mohamed .**
- **Toute mes amies et surtout khoula , Aicha. Wafaa, et spécialement pour h. Nacira .**
- **La sœur Sonia , Nardjesse et tous mes freres .**

Remercîment'

Louange à ALLAH Clément et Miséricordieux.

Mes reconnaissances et vifs remerciements vont tout d'abord à mes encadreurs Me.Lamri Me.Cahgrani et Me.Abada .

J'exprime bien évidemment toute la gratitude à tous mes enseignants de l'institut des sciences aéronautiques et d'étude spatial pour le savoir qu'ils m'ont transmis durant mes cinq années d'études.

Mes remerciements s'adressent aussi aux membres du jury qui me font l'honneur d'évaluer mon travail.

Enfin, merci à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce modeste travail .

Résumer :

L'objectif de ce travail est l'application de nos connaissances acquises en aérodynamique et en propulsion pour faire une investigation et expertise complète sur quelques moteurs électrique type « brushless » et des hélices pour les applications aéronautique. Une recherche théorique a été effectuée sur l'état de l'art des drones et l'aérodynamique d'un rotor tournant plus le fonctionnement des hélices. Des études, simulations et résultats obtenus par le logiciel ANSYS où se déroule une étude sur différentes géométries d'hélice pour obtenir la meilleure géométrie. Enfin, Développement d'un moyen de test et les essais expérimentaux a été réalisée pour Le but de présenter une configuration expérimentale et un système d'acquisition de données en temps réel pour déterminer les caractéristiques et les performances des moteurs UAV.

Mots clés :

Drone, rotor tournant, hélices, le logiciel ANSYS, des moteur UAV

Abstract:

The objective of this work is to apply our knowledge acquired in aerodynamics and propulsion to carry out a complete investigation and expertise on a few "brushless" type electric motors and propellers for aeronautical applications. Theoretical research has been done on the state of the art of drones and the aerodynamics of a rotating rotor plus the operation of the propellers. Studies, simulations and results obtained by the ANSYS software where a study is carried out on different propeller geometries to obtain the best geometry. Finally, Development of a test facility and experimental trials was carried out for The purpose of presenting an experimental setup and a real-time data acquisition system to determine the characteristics and performance of UAV engines.

Key Words:

Drone, spinning rotor, propellers, ANSYS software, UAV engines

المخلص :

الهدف من هذا العمل هو تطبيق المعرفة المكتسبة في الديناميكا الهوائية والدفع لإجراء تحقيق كامل وخبرة في عدد قليل من المحركات والمراوح الكهربائية من النوع "Brushless" لتطبيقات الطيران. تم إجراء بحث نظري حول أحدث تقنيات الطائرات بدون طيار والديناميكا الهوائية للدوار الدوار بالإضافة إلى تشغيل المراوح. الدراسات, المحاكاة والنتائج التي تم الحصول عليها بواسطة برنامج « ANSYS » حيث يتم إجراء دراسة على هندسة المروحة المختلفة للحصول على أفضل هندسة. أخيرًا، تم تطوير مرفق اختبار وتجارب تجريبية لغرض تقديم إعداد تجريبي ونظام الحصول على البيانات في الوقت الفعلي لتحديد خصائص وأداء محركات الطائرات بدون طيار

الكلمات الدالة:

الطائرات بدون طيار، الدوار الدوار، المراوح، برنامج ANSYS، محرك الطائرات بدون طيار

Table des matières :

<i>dedicases</i>	<i>I</i>
<i>Remerciement</i>	<i>II</i>
<i>Resume</i>	<i>III</i>
<i>Tableau des matieres</i>	<i>IV</i>
<i>Liste des figures</i>	<i>IX</i>
<i>Nomenclature</i>	<i>XV</i>
<i>Liste des abréviations</i>	<i>XVII</i>
<i>Introduction general</i>	<i>XIX</i>

CHAPITRE 01 : GENERALITE SUR LES DRONES

ERRO

R! BOOKMARK NOT DEFINED.

<i>1 Introduction :</i>	<i>Error!</i>
<i>Bookmark not defined.</i>	
<i>2 Les drones :</i>	<i>Error!</i>
<i>Bookmark not defined.</i>	
<i>2.1 L'histoire des drones :</i>	<i>Error!</i>
<i>Bookmark not defined.</i>	
<i>2.2 Qu'est-ce qu'un drone ?</i>	<i>Error!</i>
<i>Bookmark not defined.</i>	
<i>3 Classification des drones :</i>	<i>Error!</i>
<i>Bookmark not defined.</i>	
<i>3.1 Selon le nombre d'hélices :</i>	<i>Error!</i>
<i>Bookmark not defined.</i>	
<i>3.2 Selon la taille :</i>	<i>Error!</i>
<i>Bookmark not defined.</i>	
<i>3.3 Selon les fonctions :</i>	<i>Error!</i>
<i>Bookmark not defined.</i>	
<i>4 Domaines d'utilisation :</i>	<i>Error!</i>
<i>Bookmark not defined.</i>	

5 Difficultés d'opérations :	Error!
<u>Bookmark not defined.</u>	
5.1 Les contraintes opérationnelles :	Error!
<u>Bookmark not defined.</u>	
5.2 Les contraintes techniques :	Error!
<u>Bookmark not defined.</u>	
6 Quadri-rotor :	Error!
<u>Bookmark not defined.</u>	
6.1 Définition :	Error!
<u>Bookmark not defined.</u>	
6.2 Historique:	Error!
<u>Bookmark not defined.</u>	
6.3 Avantages :	Error!
<u>Bookmark not defined.</u>	
7 Conclusion :	Error!
<u>Bookmark not defined.</u>	

CHAPITRE 02 : GENERALITES AERODYNAMIQUES D'UN ROTOR TOURNANT

ERRO

R! BOOKMARK NOT DEFINED.

1 Introduction:	Error!
<u>Bookmark not defined.</u>	
2 Moteurs électriques (brushless):	Error!
<u>Bookmark not defined.</u>	
2.1 Définition:	Error!
<u>Bookmark not defined.</u>	
2.2 Les différents types des moteurs brushless:	Error!
<u>Bookmark not defined.</u>	
2.3 Principe de fonctionnement :	Error!
<u>Bookmark not defined.</u>	
3 Les hélices:	Error!
<u>Bookmark not defined.</u>	
3.1 Définition:	Error!
<u>Bookmark not defined.</u>	
3.2 Le rôle de l'hélice :	Error!
<u>Bookmark not defined.</u>	
3.3 Profil d'une pale d'hélice:	Error!
<u>Bookmark not defined.</u>	
3.4 Hélice avec une forme d'un profil d'aile:	Error!
<u>Bookmark not defined.</u>	
3.5 Pas d'une hélice:	Error!
<u>Bookmark not defined.</u>	
3.6 Nombre de pales et diamètre:	Error!
<u>Bookmark not defined.</u>	

<u>3.7 Vrillage et angle de calage:</u>	Error!
<u>Bookmark not defined.</u>	
<u>3.8 Rendement d'une hélice:</u>	Error!
<u>Bookmark not defined.</u>	
<u>3.9 Fonctionnement Aérodynamique de L'hélice:</u>	Error!
<u>Bookmark not defined.</u>	
<u>4 Les paramètres Aérodynamiques De rotor tournant :</u>	Error!
<u>Bookmark not defined.</u>	
<u>4.1 Les force:</u>	Error!
<u>Bookmark not defined.</u>	
<u>4.2 Les moments:</u>	Error!
<u>Bookmark not defined.</u>	
<u>4.3 Les effets gyroscopiques :</u>	Error!
<u>Bookmark not defined.</u>	
<u>5 conclusions:</u>	Error!
<u>Bookmark not defined.</u>	

CHAPITRE 03 : SIMULATION NUMERIQUE.

ERRO

R! BOOKMARK NOT DEFINED.

<u>1 Introduction :</u>	Error!
<u>Bookmark not defined.</u>	
<u>2 La géométrie :</u>	Error!
<u>Bookmark not defined.</u>	
<u>2-1 présentation de la géométrie :</u>	Error!
<u>Bookmark not defined.</u>	
<u>2-2 le maillage :</u>	Error!
<u>Bookmark not defined.</u>	
<u>3 simulations numériques (Ansys Fluent) :</u>	Error!
<u>Bookmark not defined.</u>	
<u>3-1 présentations du solveur :</u>	Error!
<u>Bookmark not defined.</u>	
<u>3-2 la vitesse rotationnel :</u>	Error!
<u>Bookmark not defined.</u>	
<u>3-3 les conditions aux limites :</u>	Error!
<u>Bookmark not defined.</u>	
<u>3-4 solutions convergence :</u>	Error!
<u>Bookmark not defined.</u>	
<u>4- Résultats et comparaison :</u>	Error!
<u>Bookmark not defined.</u>	
<u>4-1 comparaison par rapport la longueur des hélices :</u>	Error!
<u>Bookmark not defined.</u>	
<u>4-2 comparaisons par rapport largeur des hélices :</u>	Error!
<u>Bookmark not defined.</u>	

4-3 comparaison par rapport l'angle des hélices : Error!

Bookmark not defined.

4-4 Hélice d'un moteur brushless : Error!

Bookmark not defined.

5 Etude dans le cas instationnaire : Error!

Bookmark not defined.

5-1 Contours et résultats pour les 08 cas : Error!

Bookmark not defined.

5-2 Moteur brushlesse : Error!

Bookmark not defined.

6 Conclusion : Error!

Bookmark not defined.

CHAPITRE4 :

ERRO

R! BOOKMARK NOT DEFINED.

1. Introduction : Error!

Bookmark not defined.

2. Circuit électronique pour l'acquisition de données : Error!

Bookmark not defined.

2.1. Description générale : Error!

Bookmark not defined.

2.2. Matériel : Error!

Bookmark not defined.

2.3. Logiciels (Software) : Error!

Bookmark not defined.

2.4. Description du système d'acquisition de données : Error!

Bookmark not defined.

3. Essais expérimentaux : Error!

Bookmark not defined.

3.1. Configuration des mesures expérimentales : Error!

Bookmark not defined.

3.2. Mesure en temps réel du moteur : Error!

Bookmark not defined.

4. Conclusion : Error!

Bookmark not defined.

conclusion general Error!

Bookmark not defined.

BIBLIOGRAPHIE

ERRO

R! BOOKMARK NOT DEFINED.

List des figures :

<i>1-1 Kettering Bug (à gauche) Aerial Target (à droite).</i>	<i>01</i>
<i>1-2 avion Voisin BN3.</i>	<i>02</i>
<i>1-3 Drone Denny 1 (TDD-1).</i>	<i>02</i>
<i>1-4 Predator-and-hellfire</i>	<i>03</i>
<i>1-5 AR Drone</i>	<i>03</i>
<i>1-6 Les différents nombres d'hélices.</i>	<i>04</i>
<i>1-7 Le drone mono-rotor</i>	<i>04</i>
<i>1-8 Le tricoptère</i>	<i>05</i>
<i>1-9 Le Quad-copter</i>	<i>05</i>
<i>1-10 Hexacoptère</i>	<i>06</i>
<i>1-11 Octocoptère</i>	<i>07</i>
<i>1-12 Les drones aux ailes fixes</i>	<i>08</i>
<i>1-13 Drone à ailes battantes</i>	<i>08</i>
<i>1-14 Un très petit drone</i>	<i>08</i>
<i>1-15 Un très petit drone</i>	<i>09</i>
<i>1-16 micros drone</i>	<i>14</i>
<i>1-17 Un grand drone</i>	<i>15</i>
<i>1-18 Gyroplane Breguet-Richet</i>	<i>15</i>
<i>1-20 Appareille n °2 d'Oehmichen</i>	
<i>1-21 Prototype volant du Parrot AR.Drone (à gauche) Décollage de Parrot AR.Drone 2.0, Nevada, 2012 (à droite)</i>	<i>16</i>

<i>1-22 Drone Nixie</i>	16
<i>2-1: moteur brushless</i>	20
<i>2-2: moteur brushless outrunner</i>	21
<i>2-3: moteur brushless inrunners</i>	21
<i>2-4: Profil d'une pale d'hélice</i>	23
<i>2-5: Courbe d'une aile NACA 0015 produite à partir de la formule</i>	25
<i>2-6: Courbe d'une aile NACA 2412</i>	26
<i>2-7: La courbe désignant le pas d'hélice</i>	31
<i>2-8: Pas d'hélice</i>	32
<i>2-9: pas constant</i>	32
<i>2-10: Vitesse de la pale en fonction de la distance par rapport au moyeu pour un régime r de 2500 tours/minute.</i>	33
<i>2-11: Le vrillage de la pale de l'hélice</i>	33
<i>2-12: la courbe de rendement d'une hélice</i>	34
<i>2-13: Fonctionnement propulseur</i>	35
<i>2-14: Illustration des forces agissantes sur un quad-copter stagnant dans les airs</i>	35
<i>2-15: Aile d'une Hélice</i>	36
<i>2-16: Illustration des forces agissantes sur un quad-copter en mouvement</i>	37
<i>2-20: Effet gyroscopique.</i>	40
<i>3-1 la géométrie de l'hélice.</i>	42
<i>3-2 sélections nommées.</i>	43
<i>3-3 le domaine rotatif.</i>	44
<i>3-4 solveur et modèle de la turbulence.</i>	44
<i>3-5 la vitesse rotationnel.</i>	44

<i>3-6 conditions aux limites.</i>	45
<i>3-7 solutions convergence.</i>	45
<i>3-8 exemple d'adaptation d'un maillage (a) : avons l'adaptation, (b) : après l'adaptation</i>	46
	47
<i>3-9 la pression au niveau de la lige du centre après l'hélice.</i>	47
	47
<i>3-10 la vitesse au niveau de la lige du centre après l'hélice.</i>	48
	48
<i>3-11 contours de la pression : (A) cas 01, (B) cas 02, (C) cas 03.</i>	49
	49
<i>3-12 contours de la pression et vitesse : (A) cas 01, (B) cas 02, (C) cas 03.</i>	50
	50
<i>3-13 les lignes des courants : (A) cas 01, (B) cas 02, (C) cas 03.</i>	51
	51
<i>3-14 les courbes cd et cl pour les cas 01, 02 et 03.</i>	52
	52
<i>3-15 la pression au niveau de la lige du centre après l'hélice</i>	53
	53
<i>3-16 la vitesse au niveau de la lige du centre après l'hélice.</i>	54
	54
<i>3-17 contours de la pression : (A) cas 02, (B) cas 04, (C) cas 05</i>	55
	55
<i>3-18 contours de la pression et vitesse : (A) cas 02, (B) cas 04, (C) cas 05.</i>	56
	56
<i>3-19 lignes des courants : (A) cas 02, (B) cas 04, (C) cas 05.</i>	57
	57
<i>3-20 les courbes cd et cl pour les cas 02, 04 et 05.</i>	58
	58
<i>3-21 la pression au niveau de la lige du centre après l'hélice.</i>	59
	59
<i>3-22 la vitesse au niveau de la lige du centre après l'hélice</i>	60
	60
<i>3-23 contours de la pression : (A) cas 06, (B) cas 07, (C) cas 08.</i>	61
	61
<i>3-24 contours de la pression et vitesse : (A) cas 06, (B) cas 07, (C) cas 08.</i>	62
	62
<i>3-25 les lignes des courants: (A) cas 06, (B) cas 07, (C) cas 08.</i>	63
	63
<i>3-26 les courbes cd et cl pour les cas 06, 07 et 08.</i>	64
	64
<i>3-27 Moteur Brushless Hacker B20-18L</i>	65
	65
<i>3-28 Moteur brushless à cage tournante LRK</i>	

3-29 La géométrie de l'hélice étudiée.	66
3-30 Maillage.	67
2-31 Pression statique au niveau de la surface de l'hélice.	67
3-32 Pression statique au niveau du plan ($y=0$) du domaine rotatif.	68
3-33 Vitesse au niveau du plan ($y=0$) du domaine rotatif	68
3-34 Les lignes des courants.	69
3-35 les force « F, F_x, F_y, F_z » au niveau de la surface de l'hélice.	69
3-36 Pression statique au niveau de la surface de l'hélice.	70
3-37 Pression statique au niveau du plan ($y=0$) du domaine rotatif « $\omega = 200rpm$ »	71
3-38 Vitesse au niveau du plan ($y=0$) du domaine rotatif « $\omega = 200rpm$ »	72
3-39 les force « F, F_x, F_y, F_z » au niveau de la surface de l'hélice. « $\omega = 200 rpm$ ».	72
3-40 courbe de la pression au niveau de la lige du centre après l'hélice pour $\omega = 100rpm, \omega = 200 rpm$.	73
3-41 courbe de la vitesse au niveau de la lige du centre après l'hélice pour $\omega = 100rpm, \omega = 200 rpm$.	74
3-42 les courbes des coefficients de trainé.	74
3-43 les courbes des coefficients de la portance.	75
3-44 contours des vitesses.	76
3-45 changements vers étude transitoire.	77
3-46 itérations et étapes du temps.	78
3-47 les courbes c_d et c_l pour les cas 01, 02 et 03.	78
3-48 les courbes c_d et c_l pour les cas 02, 04 et 05.	79
3-49 les courbes c_d et c_l pour les cas 06, 07 et 08	80

<i>3-51 contours des pressions.</i>	81
<i>3-52 contours des vitesses.</i>	82
<i>3-53 les lignes des courants.</i>	83
<i>3-54 les courbes cd et cl on fonction du temps.</i>	84
<i>4-1. Architecture de système de test</i>	85
<i>4-2 Architecture du microcontrôleur</i>	89
<i>4-3 Capteur de force (à gauche) et son module électronique (à droite)</i>	91
<i>4-4 Circuit électronique d'acquisition de données.</i>	92
<i>4-5 Circuit de commande du moteur brushless</i>	94
<i>4-6 Interface Labview</i>	94
<i>4-7 Configuration du test</i>	94
<i>4-8 La force de portance et la vitesse de rotation RPM (Moteur 01)</i>	95
<i>4-9 Le courant, la tension et la puissance électrique (Moteur 01)</i>	96
<i>4-10 La force de portance et la vitesse de rotation RPM (Moteur 02)</i>	97
<i>4-11 Le courant, la tension et la puissance électrique (Moteur 02)</i>	98
	98
	99

Nomenclature:

K_v : coefficient des moteurs brushless

c : est la longueur de la corde de profil

x : est la position le long de la corde

Y_t : est la moitié de l'épaisseur du profil, en fraction de corde, pour une valeur donnée de x .

t : est l'épaisseur maximale en fraction de la corde

m : est égal à la cambrure maximale (défini par le premier des quatre chiffres)

p : est la position de la cambrure maximale (défini par le deuxième chiffre)

k_l : constante

H : Le pas géométrique

h : Le pas effectif

D : diamètre de l'hélice

Θ : L'angle de calage

W_m : Puissance moteur

W_u : Puissance utile

η_h : Rendement de l'hélice

γ : paramètre de fonctionnement de l'hélice.

V_a : Vitesse avion,

N : nombre de tours/s de l'hélice,

α : angle d'incidence

P : poids

m : masse

g : constante de gravité = 9.81

ρ : densité de l'air 1.2 Kg m⁻³.

V : la vitesse du vent en m s⁻¹.

S : la surface de l'aile en m².

C_p : coefficient de portance.

F_p : force de portance

C_t : coefficient de traînée.

F_t : force de traîné

n²: vitesse de rotation de l'hélice en tours/s.

D : diamètre de l'hélice.

C_{poussées} : coefficient de poussée.

M_x : moment créé par la différence entre les forces de portance des rotors droit et gauche.

l : la longueur du bras entre le rotor et le centre de gravité du quadri-rotor.

F_i : les forces de poussé

b : le coefficient de portance

ω_i : la vitesse de rotation des moteurs

M_y : au moment créé par la différence entre les forces de portance des rotors avant et arrière

M_a : Moment résultant des frottements aérodynamiques

K_{fa} : Le coefficient des frottements aérodynamiques

Ω : la vitesse angulaire.

M_z : Moments dus aux forces de traînée.

M_{gh} : Moment gyroscopique des hélices

J_r : l'inertie des rotors.

M_{gm} : Moment gyroscopique dû aux mouvements de quadri-rotor

J : l'inertie du système.

Liste des abréviations :

UAV : *Uninhabited (ou Unmanned) Aerial Véhicule.*

ADAV: *en anglais Vertical Take-off and Landing aircraft ou VTOL.*

MAV : *Micro Air Véhicule.*

FVP: *First Person View.*

CW : *en anglais "ClockWise", en français "sens des aiguilles d'une montre".*

CCW : *en anglais "Counter-ClockWise", en français "sens inverse des aiguilles d'une montre".*

NACA: *National Advisory Committee for Aeronautics* .

RPM : *la vitesse de rotation de l'hélice*

PWM : *Pulsed Width Modulation*

PIC : *en anglais Peripheral Interface Controller et en français contrôleur d'interface périphérique*

RAM : *Random Access Memory*

EPROM : *en anglais Erasable Programmable Read-Only Memory signifiant mémoire morte*

UART: *Universal Asynchronous Receiver Transmitter.*

Introduction Générale:

Au cours de ces dernières décennies, l'intérêt porté par la communauté scientifique à la thématique des véhicules aériens autonomes (Unmanned Aerial Vehicle, UAV) n'a cessé de s'accroître. Ces engins volants, aussi appelés drone (faux bourdons).

Les drones sont des aéronefs capables de voler et d'effectuer une mission sans pilote à bord, de parcourir de grande distance et d'effectuer des relevés dans des zones dangereuses et ainsi éviter à des personnes de s'exposer à ces dangers et de faire des relevés extrêmement précis sur l'imagerie thermique, relevé topographique, calcul de distance, calcul de volume, etc....

Ces dernières années les drones titrent une place de plus en plus importante dans les milieux aéronautiques et de la défense et représentent la plus forte progression du secteur de l'industrie aéronautique et spatiale qui s'organise pour développer les technologies des systèmes et pour définir les services qui peuvent être offerts parmi une multitude d'applications reliées.

Le marché du drone civil est en pleine expansion. Le potentiel de ces systèmes aériens sans pilote à bord a séduit plusieurs secteurs de l'industrie. En effet elle fait intervenir des domaines très variés tels que l'aérodynamique, le traitement du signal et de l'image, la commande automatique, la mécanique, les matériaux composites, l'informatique temps réel

Parmi ces drones, le quadri-rotor se détache comme étant l'un des appareils les plus prometteurs de par la diversité des applications pour lesquels il peut être utilisé. Mission de surveillance et d'observation, prises de vue aériennes, contrôle de l'état d'un édifice difficilement accessible ou même transport de marchandise sont des filières à présents largement développées par les constructeurs.

Dans ce mémoire, nous nous intéressons en particulier aux véhicules aériens miniatures et plus particulièrement à un quadri-rotor. Les drones quadri-rotor sont parmi les plus complexes des objets volants, parce que leur dynamique de vol est intrinsèquement non linéaire, et les variables sont fortement couplées. Le quadri-rotor a la capacité d'effectuer un vol stationnaire, ce qui est requis dans certaines applications. L'objectif de ce projet est d'appliquer nos connaissances acquis en aérodynamique et en propulsion pour faire une investigation et expertise complète sur quelques moteurs électrique (brushless) qui existent commercialement. Cette expertise permet d'évaluer les performances des moteurs (Force, consommation,...) en utilisant des différentes hélices et choisir les meilleurs moteurs pour les utilisés sur les différents types des drones (UAV).

Plans de travail :

Notre mémoire est structuré comme suit :

Chapitre I : Généralité sur les drones

Dans ce chapitre nous avons brièvement présenté le contexte historique associé à l'apparition des drones. Nous avons également vu les principaux types et architectures de drones et leurs applications. Enfin nous avons cité les différentes contraintes et difficultés qui peuvent limiter les applications d'un drone et sa fiabilité.

Chapitre II : Généralités Aérodynamiques d'un rotor tournant

Ce chapitre porte sur la partie théorique aérodynamique des éléments des drones/quadri-rotors. Dans un premier temps, nous avons présenté les moteurs électriques (brushless) utilisés sur les drones. Dans un deuxième temps nous avons défini l'hélice. Dans un troisième temps, nous avons présenté une description des profils d'aile. Pour finir, nous identifions toutes les forces, les moments et effets ayant un impact sur le rotor tournant d'un quadri-rotors.

Chapitre III : les études, simulations et résultats obtenus par le logiciel ANSYS

Dans ce chapitre, Premièrement on va présenter notre modèle physique de chaque cas d'étude. Ensuite on présente les conditions aux limites et les résultats obtenus pour chaque cas avec une comparaison entre ces résultats.

Chapitre IV : développement d'un moyen de test et les essais expérimentaux

Le but de ce chapitre est de présenter une configuration expérimentale et un système d'acquisition de données en temps réel pour déterminer les caractéristiques et les performances des moteurs UAV. Ce système économique peut tester et fournir tous les paramètres de conception nécessaires d'un quadri-rotor, tels que la force de portance, la vitesse de rotation de l'hélice (RPM), courant électrique, la tension et la puissance électrique du moteur.

