

Université Mohamed Boudiaf de M'sila

Faculté de technologie

Département de Génie Electrique

Master 2 : Robotique prof / 2024-2025

Matière : Robotique aérienne / (UE Découverte - Crédits : 1, Coefficients : 1)

Chapitre 1 et 2 : Les DRONE : Classification, Capteurs et Applications

1.1. Définition d'un Drone :

Un Drone ou UAV (Unmanned Aerial Vehicle) est un aéronef sans pilote humain à bord qui utilise les forces aérodynamiques pour produire un vol vertical. Il peut être piloté à distance, autonome ou semi autonome.

Il est susceptible d'emporter différentes charges utiles, le rendant capable d'effectuer des tâches spécifiques, pendant une durée de vol qui peut varier en fonction de ses capacités. Le mot drone qui signifie bourdon ou bourdonnement, est communément employé en Français en référence au bruit que font certains d'entre eux en volant.

Son utilisation a d'abord été connue dans les applications militaires, comme la surveillance et la reconnaissance et comme plateforme de désignation de cible ou comme arme. Puis, plusieurs applications civiles sont devenues concurrentes, notamment dans l'observation des phénomènes naturels (Avalanches, volcans...), la pulvérisation des pesticides sur les surfaces agricoles, la surveillance de l'environnement (exemple : mesures de la pollution) et des réseaux routiers, la maintenance des infrastructures...etc.

Aujourd'hui, plusieurs modèles d'UAVs sont disponibles suivant leurs domaines d'application et la mission accordée. Parmi ces modèles, il y a les UAVs à ailes fixes, les UAVs à ailes battantes et les aéronefs à décollage et atterrissage vertical (à voilures tournantes) 'VTOL : Vertical Take off and Landing ', sur lesquelles nous focalisons notre intérêt.

1.2. Quelques configurations des UAV

Il n'existe pas une seule façon de classer les drones, car ils peuvent être répartis selon plusieurs critères : autonomie, portée, altitude, mission, systèmes de contrôles. Par exemple en Australie, ils sont répartis selon leurs masses, lourdes ou légères, par contre les Américains les classent selon leurs tailles .

1.2.1. Classification selon la taille

- **Micros drones** : Les micros drones ne signifient pas qu'ils ont une taille micrométrique, mais ce sont des drones ayant des tailles variant du centimètre à quelques dizaines de centimètres (figure 1.1). Ce type de drones se caractérise par une faible charge et dégradation de performances de vol en présence du vent.



Figure 1.1 Micro drones (Black Window et Wasp)

- **Minis drones** : Ce sont des drones légers et de taille petite, leur poids est de quelques kilogrammes et d'envergure allant jusqu'à 1, 2 mètres (figure 1.2).



Figure 1.2 Drones portables, Evolution (BAI Aerosystem) et DO-MAV (EADS-Dornier).

- **Male** : Medium Altitude Long Endurance: se sont des drones volants à moyenne altitude et de grande autonomie. Ce type de drones peut embarquer des armes, et de ce fait leur taille est comparable aux avions traditionnels.
- **Hale** : High Altitude Long Endurance : ce sont des drones volants à haute altitude et de grande autonomie et envergure. Ce type de drones est très utilisé dans le domaine de communication.

1.3. Classification selon le mode de propulsion

- **Voilures fixes:** Sont des drones utilisant les ailes fixes dans leur mode de déplacement (figure 1.3).



Figure 1.3 Premiers drones utilisés pendant la guerre de Golfe

- **Ailes battantes**

Les ailes battantes constituent un système de propulsion alternatif pour les mini et micro-aéronefs. Les battements d'ailes reproduisent le vol des oiseaux ou des insectes de plus en plus fidèlement. En France le laboratoire Femto de Besançon et la Société Silmach travaillent sur un projet de libellule artificielle d'une centaine de grammes, voir figure (figure 1.4).

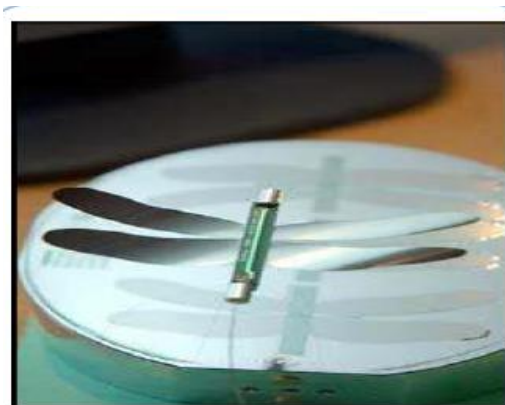


Figure 1.4 Libellule artificielle

- **Voilures tournantes VTOL**

Ce sont des UAVs qui font un décollage et atterrissage vertical ils ont plusieurs avantages par rapport aux aéronefs à ailes fixes. Ils sont capables d'effectuer un vol stationnaire à basse vitesse et à faible altitude, ce qui est très utile dans les applications de surveillance et de poursuite et permet de fournir des informations détaillées sur les secteurs surveillés. De même, la possibilité du décollage et l'atterrissage vertical de ces UAVs permet leur utilisation dans n'importe quel terrain, à l'opposition des aéronefs à ailes fixes, qui nécessitent des pistes préparées pour leur décollage et leur atterrissage. En plus, ils peuvent effectuer des mouvements dans n'importe quelle direction dans leur plan latéral. Il existe plusieurs configurations de ces aéronefs (VTOL).

(a) Drones monorotors

Les drones monorotors sont caractérisés par l'utilisation d'un seul rotor comme actionneur principal. Dans cette catégorie on trouve l'avion appelé 3D (figure 1.5). Ces avions ont un moteur puissant qui permet un décollage vertical et des ailerons d'une grande surface pour assurer la maniabilité de l'appareil. Ces avions mono rotor se développent de plus en plus car ils offrent l'avantage de pouvoir voler comme un avion normal, ce qui donne la possibilité de se déplacer rapidement de manière très économique en termes d'énergie.



Figure 1.5. Avion 3D (a) et drone heudiasyc (b).

(b) Drones birotors

Il existe plusieurs types de configurations à 2 rotors tels que l'hélicoptère classique composé d'un rotor principal et d'un rotor en queue (figure 1.6 (a)). Il existe aussi les appareils possédant 2 rotors sur le même axe tournant dans des sens opposés et des ailerons dans le flux d'air des rotors comme l'Hover-Eye réalisé et commercialisé par Bertrin technologie (figure 1.6 (b)). En plus l'équipe AURYON développe un drone à la base d'une mécanique birotor coaxial contrarotatif à pas variable (figure 1.6 (c)).



(a)



(b)



(c)

Figure 1.6 L'hélicoptère Yamaha air max (a), Hovereye de bertrin technologie (b) et Auryon (c).

(c) Drones trirotors

Il existe 3 catégories de drones à 3 rotors, le trirotor, le vectron et l'hélicoptère auto-stable. Moins performant en vol que le quadrotor, le trirotor est constitué de 2 rotors à l'avant qui tournent dans des sens opposés pour modifier le tangage et d'un rotor à l'arrière pour régler le roulis (fig1.7a).

Le vectron est constitué de 3 rotors qui tournent dans le même sens et qui fait ainsi tourner l'appareil dans le sens contraire. Il possède des moteurs à vitesses variables très précises de manière à obtenir des couples de tangage et de roulis (figure 1.7(b)).

L'hélicoptère auto-stable appelé « bladerunner » est constitué de 2 rotors montés sur le même axe et tournant dans des sens opposés (figure 1.7(c)). Le tangage est obtenu grâce au rotor situé sur la queue de l'appareil. Ce drone est le plus stable des engins à 3 rotors.

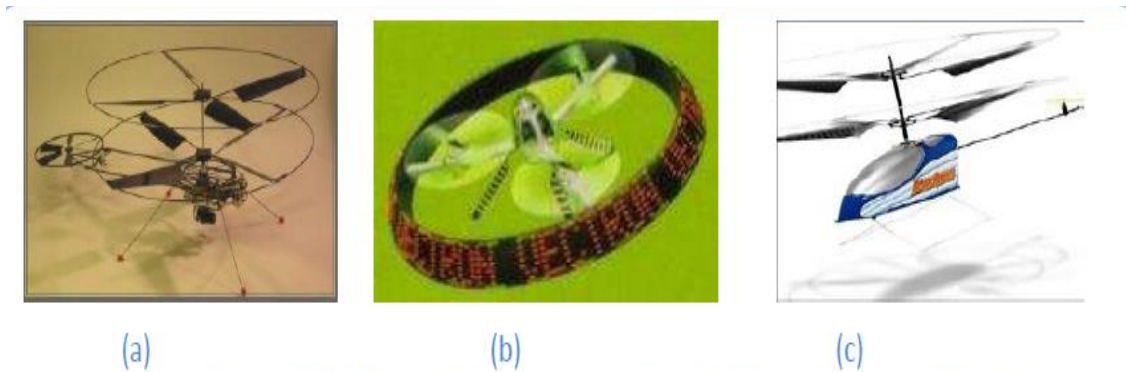


Figure 1.7 Trirotor (a), le vectron (b) et hélicoptère auto-stable (c).

(d) Drones Quadrotors

Le quadrotor est un aéronef soulevé et propulsé par quatre rotors. Comme son nom l'indique, il se compose de quatre moteurs situés aux extrémités d'une armature qui n'est autre que deux axes en croix, comme le montre la figure (1.8). Ces quatre rotors lui fournissent la force verticale (portance) qui lui permet de décoller. Son principe de fonctionnement est comme suit : Deux rotors de même axe tournent dans le sens horaire tandis que les deux autres tournent dans le sens inverse. Ses mouvements possibles sont le Gaz (montée ou descente verticale), le **Roulis** ou **Tangage** qui est une orientation que prend le quadrotor, et le **Lacet** qui est une rotation du quadrotor autour de lui-même.

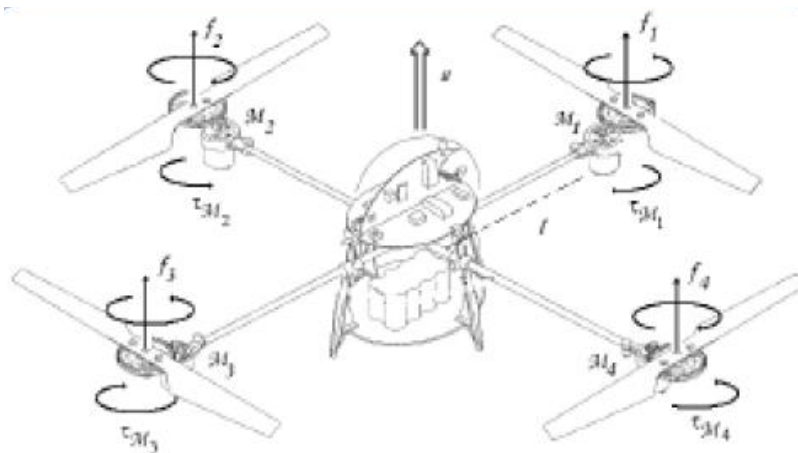


Figure 1.8 Le Quadrotor (Quatre-rotors)

Son mouvement est contrôlé par la variation de vitesse de chaque rotor pour changer la force de portance et le couple créé par chacun. Deux rotors du même axe, tournent dans le sens horaire alors que les deux autres tournent dans le sens antihoraire pour compenser le couple créé par les rotors sur l'armature.

En considérant que les quatre moteurs tournent à la même vitesse et que tous les éléments sont identiques (hélices, dimensions, équilibre des masses), le quadrotor est théoriquement en vol stationnaire (stable sur ses 3 axes). A une vitesse égale des quatre hélices, les couples de rotation générés par une paire de moteurs du même axe s'annulent. Le quadrotor vole à plat et ne tourne pas sur son axe central.

Pour faire monter ou descendre le quadrotor, il faut augmenter ou diminuer la puissance des quatre moteurs (tous ensemble). Comme tous les rotors tournent à la même vitesse, il n'y a pas de rotation horizontale.

Pour obtenir un mouvement de translation selon l'axe X ou Y il suffit de réaliser un roulis ou un tangage en augmentant la vitesse d'un moteur et en diminuant celle du moteur du même axe avec la même quantité pour conserver la portance intacte (figure 1.9(a) et figure 1.9(b)).

Pour le mouvement du lacet (rotation sur lui-même), il faut augmenter la vitesse d'une paire de moteur et diminuer d'autant celle de l'autre paire. Le sens de mouvement du lacet dépendra du sens de rotation qu'on aura choisi pour les paires de moteurs (figure 1.9(c)).

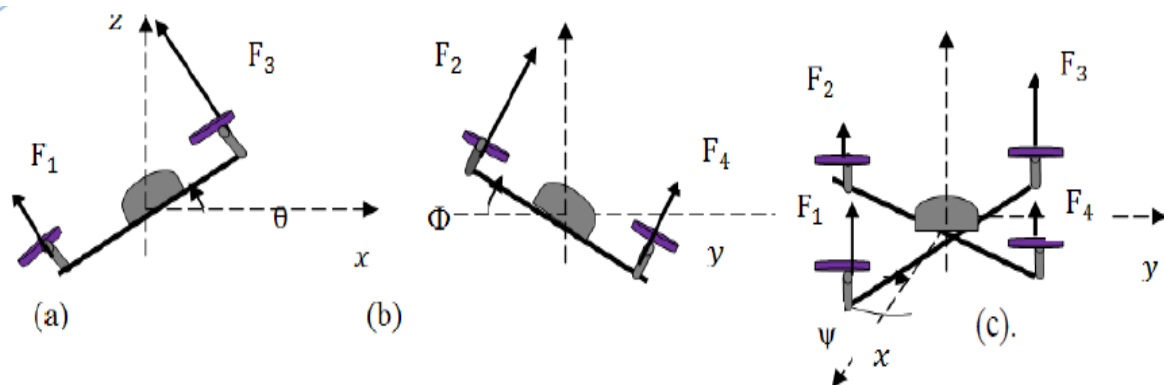


Figure 1.9 : Tangage (a), Roulis (b) et Lacet (c).

L'étude particulièrement est basée sur le quadrotor parce que sa conception offre de réels avantages par rapport à d'autres configurations d'hélicoptères et ouvre de nombreuses perspectives :

- Leurs tailles réduites et leur manoeuvrabilité permettent de voler dans des environnements fermés (Indoor) ou ouvert (Outdoor) et près des obstacles, à l'opposition des hélicoptères conventionnels.
- La simplicité de la mécanique du quadrotor facilite sa maintenance.
- Aucun embrayage n'est exigé entre le moteur et le rotor et aucune exigence n'est donnée sur l'angle d'attaque des rotors.
- Quatre petits rotors remplacent le grand rotor de l'hélicoptère ce qui réduit énormément l'énergie cinétique stockée et minimise les dégâts en cas d'accidents.

1.4. Premiers Quadrotors :

Le premier quadrotor était le *Gyroplane n°1 « Breguet-Richet »*, conçu par les frères scientifiques français Louis et Jaque Breguet en collaboration avec le professeur Charles Richet en 1907 (figure 1.10) .

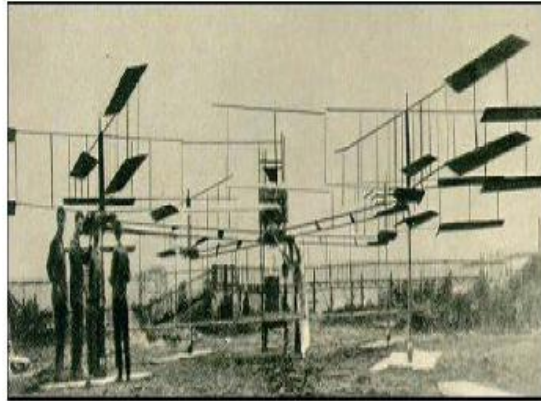


Figure 1.10. Bréguet Richet Gyroplane 1907.

Le décollage du "Gyroplane n° 1" a eu lieu le 24 août 1907. Le "Gyroplane" de 578kg réussit tout de même à décoller de 60 centimètres au-dessus du sol, son "vol" fut cependant si instable que quatre hommes furent nécessaires pour le tenir. Néanmoins, l'académie française des sciences accepta de valoriser cet essai comme le premier décollage motorisé à la verticale d'un homme.

En 1920, Etienne Oemichen a commencé ses expériences dans la conception des aéronefs à voilures tournantes. Six modèles ont été conçus par ce jeune ingénieur de la compagnie Peugeot. Parmi lesquels nous constatons un grand quadrotor de 800kg construit en 1922, avec quatre rotors de diamètre (2 x 7.60 mètres + 2 x 6.40 mètres) et huit hélices tournées par un seul moteur Gnome Rhône de 135kw (Figure1.11). Ce quadrotor a montré un degré considérable de stabilité et de contrôlabilité. En 1924, Oemichen a fait un premier vol réussi de 360 mètres et plus de mille tests de vol ont été effectués au cours des années 20.

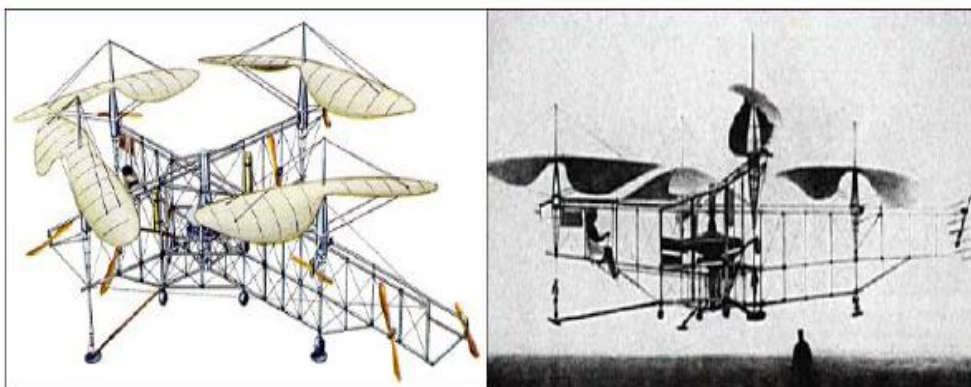


Figure 1.11 Oemichen 1920.

Une autre plateforme à vol vertical été construit pour le service aérien de l'armée américaine à Dayton, Ohio en 1921 par les ingénieurs George de Bothezat et Ivan Jerome . C'était une structure en croix de 1678Kg portant six hélices de diamètre 8.1 mètres sur chaque axe de longueur 9m. Plus de 100 essais de vols ont été exécutés sur ce grand quadrotor, mais la commande en vol était très difficile et le prototype n'a pas répondu aux exigences d'exécution de l'armée américaine (Figure 1.12).

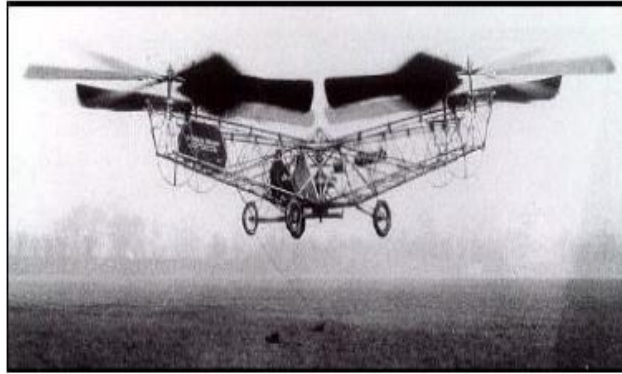


Figure 1.12 Le Quadrotor de Bothezat 1922.

Dans les années 50, Amityville (New York), Convertawings a construit un quadrotor disposant de rotors de diamètre 5.92 mètres et des ailes pour générer une portance vers l'avant. Deux moteurs « Continental » de 90CV ont été utilisés et le véhicule a été commandé en changeant la poussée fournie par chaque rotor. Le quadrotor de Convertawings a été piloté avec succès, mais la production a été arrêtée en raison d'un manque d'intérêt commercial pour cet avion, (Figure 1.13).



Figure 1.13 Convertawings Model A 1956.

1.5. Travaux de recherche récents sur les Quadrotors :

Au fil du temps et grâce à l'avancement des techniques de production et l'innovation connu dans la **technologie des capteurs et des calculateurs numériques**, qui tend particulièrement vers la miniaturisation et la haute précision, une nouvelle génération de quadrotors a vu le jour.

Cette nouvelle génération englobe des prototypes conçus pour être des véhicules aériens sans pilote (Unmanned Aerial Vehicle, UAV). Ces drones sont équipés d'une électronique de commande et des capteurs pour assurer leur autonomie et leur stabilité. Par conséquent, le problème de la commande de cette nouvelle génération d'UAV a connu un énorme progrès et de nouveaux axes de recherches ont été créés pour résoudre cette problématique.

Le nombre de projets portants sur le problème de la conception et la commande des quadrotors ne cesse d'augmenter. Ils existent des projets qui portent sur le problème de la modélisation et la commande en se basant sur des plateformes commerciales comme le Draganflyer, HMX4, UFO4, ...etc. ***L'objectif est de doter (تزويد) ces quadrotors avec plus de capteurs et d'intelligence pour réaliser un certain degré d'autonomie.*** Tandis que d'autres projets ont abordé le problème de conception et à ce niveau réside un grand compromis entre la conception et la commande.

- **Projet Mesicopter (1999-2001) :** Le Mesicopter, appelé également « Meso-Scale » est un nano quadrotor électrique de 1.5 centimètre d'envergure, (Figure 1.14). Ce quadrotor est capable de voler en portant sa propre alimentation fournie par des batteries miniatures et porte des capteurs dédiés à la recherche atmosphérique ou l'exploration planétaire.

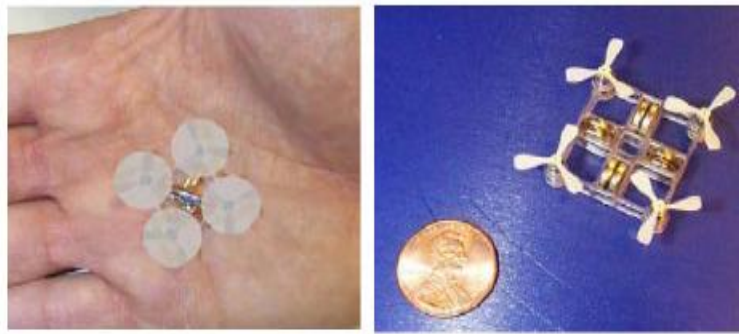


Figure 1.14 Le Mesicopter.

- **Projet STARMAC 2007 :** STARMAC (Stanford Testbed of Autonomous Rotorcraft for Multi-Agent Control), un autre projet très intéressant qui étudie la commande multi – agents à l'université de Stanford d'Aéronautique et d'Astronautique, USA.

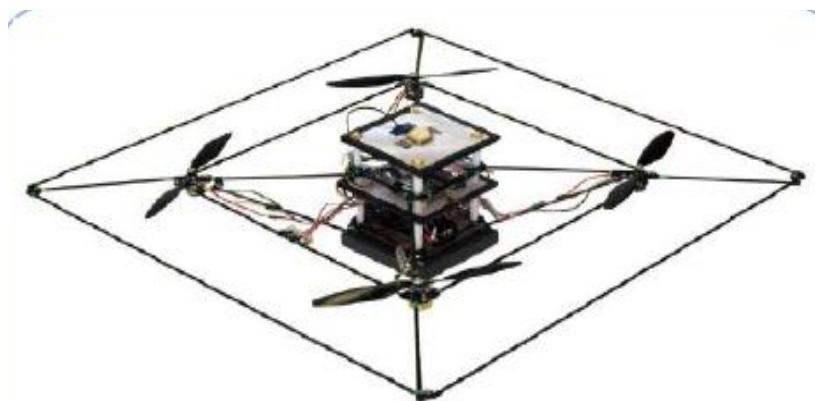


Figure 1.15 Le Quadrotor STARMACII

Les quadrotors conçus pour ce projet (figure 1.15) sont des plateformes autonomes dédiés pour des applications « Outdoor » idéales pour valider de nouveaux algorithmes de coordination multi- véhicules et répondent aux exigences suivantes :

- Une manoeuvre simple et sûr, quelque soit le milieu (interne ou externe) ;
- Une commande de position et de suivi de trajectoire en une pleine autonomie ;
- L'utilisation de plusieurs capteurs pour la perception de l'environnement ;
- La communication avec d'autres plateformes et avec une station au sol ;
- L'implémentation temps réel des algorithmes de coordination multi-véhicules, sur des calculateurs embarqués ;

Le projet OS4 (2003-2007) : Au Laboratoire des Systèmes Autonomes (ASL) de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, EPFL, Suisse, de nombreux projets ont étudié des Hélicoptères existants dans le commerce.

Dans ce projet, l'équipe a travaillé simultanément sur les aspects de la conception et de la commande. Ceci a permet de simplifier la commande par changement de conception et vice versa (figure 1.16).



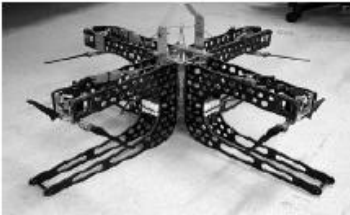
Figure1.16 Le Quadrotor OS4.

Le quadrotor OS4 inclut tous les dispositifs nécessaires de l'avionique et d'énergie pour un vol entièrement autonome. Il comporte :

- Une unité de mesure inertielle 3DM-GX1 comme capteur d'altitude ;
- Un capteur de position basé sur la vision utilisant une caméra CCD miniature, embarquée et une marque au sol ;
- Cinq capteurs à ultrason SRF10 Ultrasonic Ranger sont utilisés, quatre pour l'évitement des obstacles et un pour la mesure de l'altitude ;
- Un ordinateur embarqué Geode1200, de vitesse 266Mhz et 128M de RAM est utilisé pour l'implémentation temps réel des lois de commande;

Le tableau ci-dessous résume les projets les plus réputés concernant la conception des quadrotor :

Tableau I. 1 Quelques projets sur les Quadrotors.

Projets	Université	Plateforme
Le X4-Flyer [41]	Université National Australienne	
Le X4-Flyer [42]	CEA France	
Le Quadrotor du projet Quentin	Ecole Pour l'Informatique et Techniques Avancées France	
Le Quadrotor Scott [36]	Université de Pennsylvanie USA	
Le Draganflyer [20]	l'université de Stanford	

1.6. Application : Constitution du drone X4

Afin de mettre en œuvre la commande d'un système donné, les états et les propriétés de son environnement interne et externe doivent être connues. En d'autres termes, les paramètres importants pour la commande doivent être surveillés et rétroagis au système. Pour établir les exigences de la commande, le drone X4 est constitué de deux parties, une partie électronique (l'électronique embarquée) et une partie mécanique (les propulseurs) (figure 1.17), (figure 1.18).

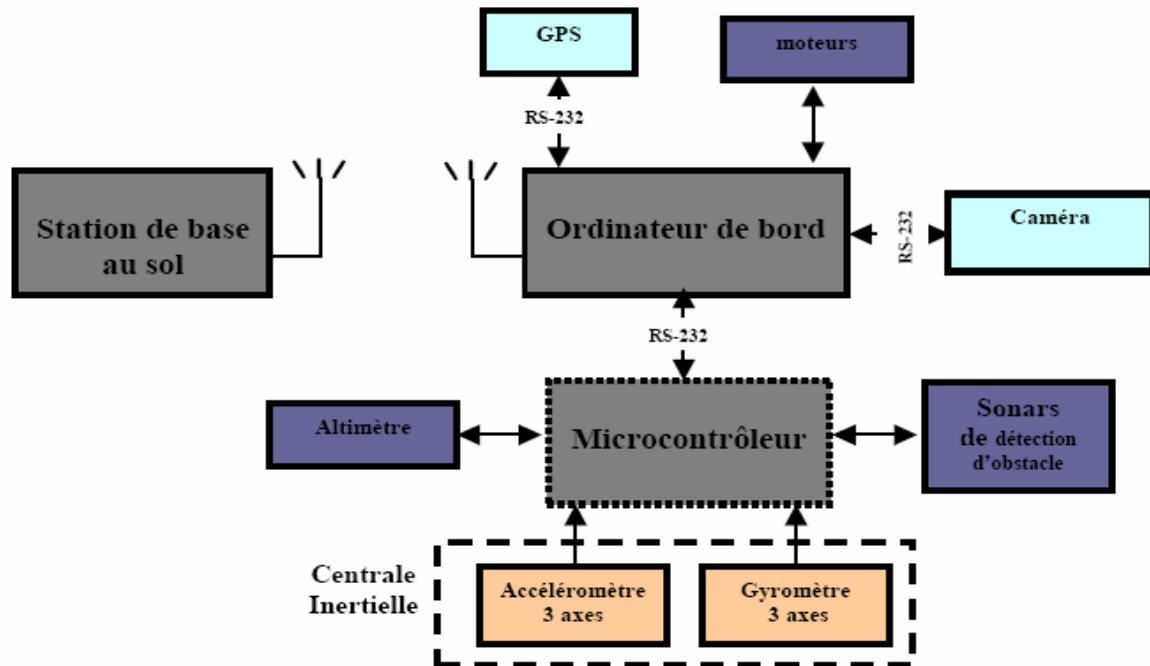


Figure 1.17 Schéma des interconnexions des systèmes embarqués.

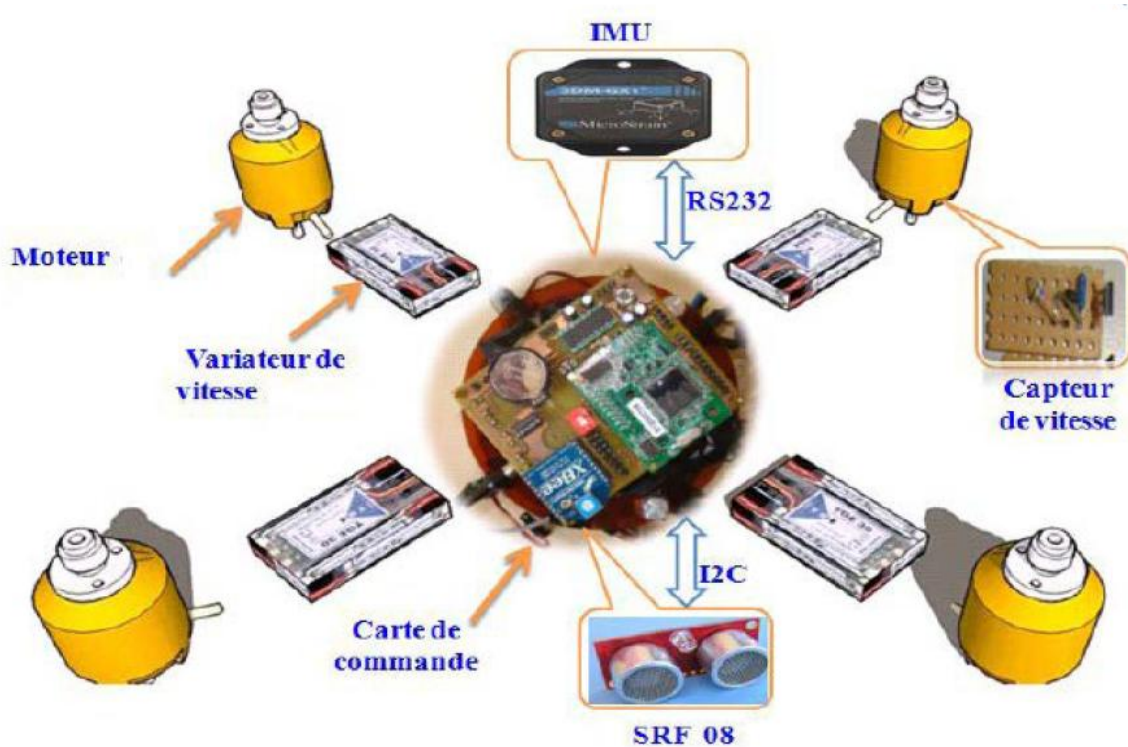


Figure 1.18 Schéma descriptif du système assemblé.

1.6.a. Eléments constituant l'électronique embarquée :

Les batteries : L'autonomie de tout engin est directement liée à l'énergie qu'il peut avoir, donc à la qualité de la batterie dont il est pourvu (figure 1.19). Le développement des batteries ne cesse de nous étonner de plus en plus légères, de plus en plus autonomes; donc une contribution importante au développement des drones.



Figure 1.19 Différents types de batteries

a). Carte intelligente

Un ordinateur de bord qui est une simple carte intelligente permettant de gérer l'ensemble du système. La carte intelligente peut être à base d'un micro processeur, micro contrôleur, DSPic ou DSP. Elle peut être comparée au cerveau du *Drone* qui génère des commandes aux propulseurs après le traitement de l'ensemble des capteurs embarqués sur la machine sauf la caméra qui transmet ses données images à la base au sol, où elles sont traitées (figure 1.20).



Figure 1.20 Carte intelligente

b). Instrumentation et Capteurs

Des capteurs spécifiques pour différents environnements d'observation doivent être utilisés, Par exemple, pour la navigation d'un aéronef, une connaissance précise de son orientation et sa position est nécessaire. Ces informations peuvent être délivrées par :

- Un **GPS** (Global Positioning System).
- L'unité de mesure inertielle (**IMU**) est composée d'**Accéléromètres**, **Gyroscopes** et **Magnétomètres** à trois axes :
 - **Les Gyroscopes** sont utilisés pour mesurer le taux de variation sur la rotation autour d'un axe
 - Alors que les **accéléromètres** sont utilisés pour mesurer des accélérations linéaires du système.

A cet ensemble de capteurs s'ajoutent d'autres types de capteurs pour la détection du champ magnétique terrestre qui sert au calcul de la direction et d'altitude (Figure 1.21 c).

Comme capteur de proximité, les sonars et les altimètres sont largement utilisés en plus des infrarouges. Cet ensemble de capteur donne l'information sur la proximité d'un obstacle ainsi que la position d'une cible (Figure 1.21 a).

c). Caméras et tout autre capteur de vision,

Sont utilisés essentiellement pour estimer les positions relatives des cibles, comme les sites au sol et les véhicules terrestres. Cependant, les systèmes de vision ne sont pas aussi rapides ni aussi fiables que d'autres capteurs et nécessitent un temps de calcul plus important et ils sont très sensibles au changement d'éclairage (Figure 1.21 b).



Figure 1.21 Capteur à ultrasons(a). Caméra(b). Central inertielle(c).

d). Les propulseurs

Les propulseurs du drone X4 sont composés d'un moteur à courant continu de type **Brushless** (figure 1.22 a), un **variateur** (figure 1.22 c) et une **hélice** (figure 1.22 b). Ils représentent les actionneurs de notre engin.

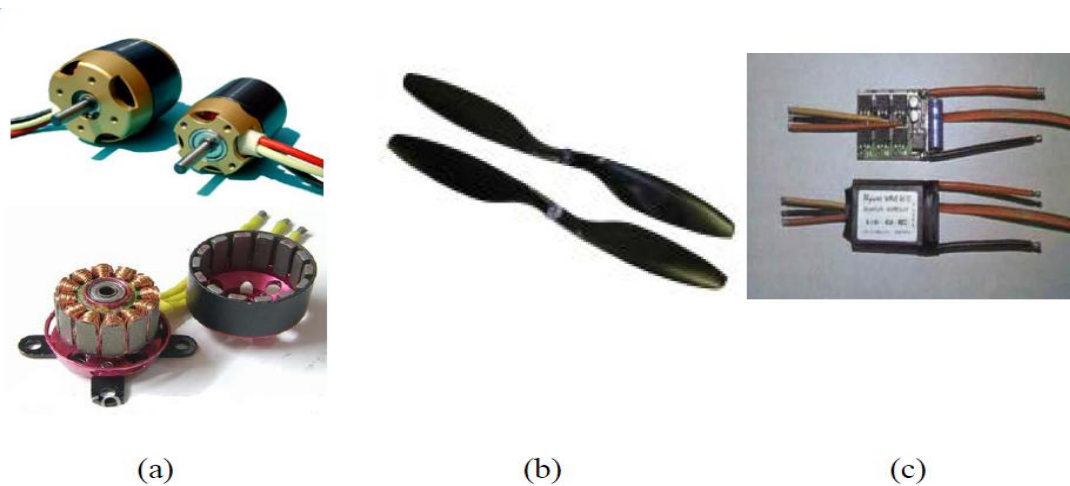


Figure I.22 Actionneur : Moteur *Brushless* (a), une paire d'hélices (b) et variateur (c).

d).1. Moteur BRUSHLESS

Le drone X4 est équipé de quatre moteurs BRUSHLESS dits BLDC (Brushless Direct Courant). Ce sont des moteurs de type synchrone sans balais ni collecteurs. Pour nos moteurs la cage constitue le rotor (à aimants permanents) et le stator est formé des bobinages (figure I.22(a)).

Avantages

Les machines à courant continu sans balais (**Moteur BRUSHLESS**) présentent de nombreux avantages par rapport aux moteurs à courant continu classique:

- L'entretien est bien moindre puisqu'il n'y pas d'usure (تآكل) de contacts mobiles (pas de balais).
- Le comportement thermique est le meilleur puisqu'il n'a pas de frottement et son rotor est externe, donc on aura un fort refroidissement.
- L'inertie du rotor est moindre (pas de collecteur).
- Plus grande durée de vie.
- Pas de vibrations, d'étincelles et de frottement.
- Moins de bruit et de chute de tension.
- Gamme de vitesse plus élevée.
- Optimum.
- Couple important.

Inconvénients :

- Nécessité d'un bon variateur.
- Risque de mauvais démarrage ou de coupures.
- Plus cher.

d).2. Les Hélices

Le drone X4 fonctionne avec le même principe que les hélicoptères, ceci implique que les hélices des propulseurs doivent supporter tout le poids du drone et ainsi être capable de produire la poussée nécessaire au fonctionnement du drone (figure I.22.b).

D'autre part, les pales utilisées dans la fabrication du X4 ont une forme vrillée (ملتوي) leur procurant un bon rendement au niveau de la poussée, donc une économie au niveau de l'énergie.

1.7 Technologie des capteurs pour la localisation des drones :

Les véhicules aériens sans pilote sont équipés de plusieurs instruments et capteurs permettant leur localisation et l'acquisition des différentes grandeurs nécessaires à la mise en œuvre de leur système de commande et de décision. Ces capteurs sont habituellement classés en deux familles [13, 14] :

1. **Les capteurs proprioceptifs** mesurent le déplacement du drone entre deux instants. L'intégration de leurs mesures permet d'estimer la situation courante du véhicule relativement à sa situation initiale. Ces capteurs donnent des résultats qui se dégradent avec le temps. Il faut donc leur adjoindre un système permettant de recalibrer périodiquement la situation absolue du véhicule.
2. **Les capteurs extéroceptifs** mesurent la situation absolue du drone par observation de points de repère naturels (amers visuels) ou artificiels (balises, satellites...) dont la situation est connue dans un référentiel attaché à l'environnement. Ces capteurs peuvent être utilisés tout au long du parcours soit pour mesurer en permanence la situation absolue du mobile, soit pour recalibrer périodiquement la navigation à l'estime. Ils peuvent intervenir également pour assurer la sécurité du véhicule (perception de l'environnement proche, contrôle de l'attitude de la plate-forme) et pour construire en ligne un modèle de l'environnement exploré.

1.7.1 Capteurs Proprioceptifs

a). Accéléromètres

Les accéléromètres peuvent être utilisés pour déterminer la position du véhicule par double intégration. C'est le principe de la navigation inertielle. Leurs mesures ne sont pas encore suffisamment précises pour être directement exploitées en navigation.

Dans le cas de véhicules qui ont une accélération faible par rapport à la gravité, les accéléromètres peuvent être utilisés pour fournir la direction de la gravité. Ils fonctionnent alors comme des inclinomètres [5].

b). Gyroscopes

Un gyroscope est un appareil permettant d'effectuer une mesure de la rotation absolue de son boîtier. On retrouve deux types les gyroscopes mécaniques et les gyroscopes à laser (fibres optiques). Il faut tenir compte de la dérive des mesures au cours du temps et effectuer régulièrement des recalages absolus (on ne les utilise pas seuls, mais en composants intégrés de centrales inertielles) [5].

d). Centrales inertielles (IMU : Inertiel Measurement Unit)

Une centrale inertielle (IMU) est un système complet, composé au minimum de 3 accéléromètres et de 3 gyroscopes permettant de mesurer les composantes selon les 3 axes de l'accélération non gravitationnelle et de la vitesse instantanée de rotation du véhicule par rapport à un référentiel inertielle (qui est confondu avec le repère terrestre dans la plupart des cas). Les centrales inertielles sont des systèmes complexes et chers. Elles intègrent une électronique permettant de corriger les données capteurs : compensation de l'accélération au niveau de la mesure des gyroscopes, auto-compensation en température, orthogonalisation des axes de mesures, etc. On distingue deux types principaux de centrales inertielles : les centrales strap-down et les centrales à plate forme stabilisées [5].

1.7.2. Capteurs Extéroceptifs**a). Compas magnétiques**

Le compas magnétique, appelé aussi magnétomètre, indique la direction du nord magnétique. Généralement, la déclinaison magnétique est compensée pour que le capteur délivre en permanence une mesure absolue du capteur par rapport à la direction du nord géographique. L'inconvénient majeur de ces capteurs est leur perturbation par les masses magnétiques environnantes ainsi que par les champs magnétiques parasites, induits par la proximité de moteurs électriques par exemple [5].

b). Gyrocompas

Le premier effet des gyroscopes est la permanence de l'axe de rotation de la toupie dans une direction donnée, ce qui permet de les utiliser comme indicateurs de direction à condition que leur dérive soit la plus faible possible. Plus lourds et plus onéreux que les compas magnétiques, mais insensibles aux perturbations magnétiques, les gyrocompas constituent une solution intéressante pour les drones de grande taille [5].

c). Localisation sur balises (GPS : Global Positioning System)

Le système GPS est un système de positionnement par satellites conçu initialement pour des applications militaires. Son utilisation pour des applications civiles (géodésie, localisation de mobiles, etc.) est actuellement en plein essor [5].

Ce système comporte 24 satellites répartis de telle sorte qu'en tout point du globe, on peut en observer simultanément 4 à 8, avec une élévation d'au moins 15°. Pour le positionnement absolu, le mobile à localiser est muni d'un récepteur qui mesure sa distance par rapport à plusieurs satellites. Chaque satellite envoie un message qui permet de calculer ses coordonnées spatiales dans un repère terrestre à l'instant de l'observation. La distance entre le satellite et le récepteur est estimée à partir du temps mis par le signal du satellite pour atteindre le récepteur.

En pratique, l'information redondante de 4 à 8 satellites permet un positionnement avec une erreur allant de quelques mètres à 20 m, suivant le code utilisé (civil ou militaire), la qualité des éphémérides, etc.

Pour obtenir des précisions meilleures, il faut utiliser un mode de positionnement relatif, c'est à dire la position d'un récepteur GPS par rapport à un autre récepteur GPS. C'est ce qu'on appelle le GPS différentiel ou DGPS, et la précision est réduite aux centimètres.

d). Capteurs télémétriques

Cette catégorie regroupe les capteurs permettant d'acquérir des mesures sur l'environnement qui les entoure. Leur principe est toujours le même : le télémètre émet un signal qui lui est renvoyé par l'obstacle le plus proche dans la direction d'émission. L'écart de temps entre le signal émis et le signal reçu permet de retrouver la distance à l'obstacle. Mais ils diffèrent par la nature des signaux qu'ils émettent (acoustiques, optiques,...). On distingue ainsi :

1. Les télémètres à ultrasons
2. Les télémètres laser à balayage
3. Les télémètres radars Ultra-Large-Bande

e). Caméra

La camera vidéo est un des capteurs extéroceptifs les plus performants, qui fournit une information particulièrement riche sur l'environnement. Elle permet de transmettre les images vues par le drone, vers l'opérateur au sol. Dans certains cas, on traite les informations transmises par la caméra sur un PC au sol via une carte d'acquisition d'images pour déterminer la position de l'engin, pour faire du suivi de trajectoire, ou bien pour la détection d'obstacles.

Références

[5] J.M. Pflimlin, " Commande d'un mini drone à hélice carénée : De la stabilisation dans le vent à la navigation autonome ", Thèse de doctorat, Ecole Doctorale Systèmes de Toulouse, France, 2006.