

Samuel LE BERRE

Master Informatique parcours Application Interactives et Données Numériques

Année 2019 / 2020

Rapport de Veille Technologique

Sujet 16 : Imagerie drone

Université Bretagne Sud

Campus de Tohannic

Rue André Lwoff

56000 Vannes



Table des matières

Introduction.....	1
Les drones.....	2
Définition.....	2
Fonctionnement.....	2
Drone à 4 hélices.....	2
Drone à ailes.....	3
Le contrôle.....	4
Capteurs.....	4
Baromètre.....	4
Gyroscope.....	5
Magnétomètre.....	5
Accéléromètre.....	5
GPS.....	5
Camera.....	5
Optique.....	5
Normale.....	5
Thermique.....	6
Infrarouge.....	6
Montage.....	6
Stockage.....	7
Hardware.....	7
Cloud.....	7
Applications.....	8
Livraison.....	8
Loisirs.....	8
Militaire.....	8
Cartographie 3D.....	8
Santé.....	9
Déployer la couverture réseau.....	9
L'agriculture.....	9
Sport.....	10
Conclusion.....	11
Bibliographie.....	Erreur ! Signet non défini.

Introduction

Depuis plusieurs années, on voit émerger une nouvelle forme de connexion à Internet faisant des objets du quotidiens des objets connectés, on appelle cela l'Internet des objets ou Internet of Things. Ainsi des montres sont connectées au téléphone, des enceintes intelligentes répondent à nos demandes de musique. Dans tous les objets qui ont été popularisés par ce modèle et cette connectivité l'un d'entre eux est connu pour son déplacement à l'extérieur, remplaçant la voiture télécommandée et prenant de superbes photos de paysages extérieurs en tout genre le drone civil a fait son apparition il y a quelques années. Alors que ses créateurs les ont d'abord pensés à des fins militaires tel que la surveillance, l'espionnage ou encore un moyen d'attaque. Le principe était simple il s'agissait d'un avion qui n'avait pas besoin de pilote donc aucune vie humaine n'était mise en danger lors du vol de ces engins. Le drone civil est utilisé par des particuliers mais aussi par des professionnels ou sociétés dans certains cas qui seront montrés plus tard.

Nous chercherons donc ici à expliquer le fonctionnement des drones, nous montrerons également de quels capteurs ils sont équipés et comment ces derniers aident au vol de l'appareil. Nous nous intéresserons ensuite au système optique de l'engin et à son système de stockage des informations. Enfin nous montrerons les domaines dans lesquels les drones peuvent aujourd'hui être utilisés.

Les drones

On va dans un premier temps définir ce qu'est un drone et présenter son fonctionnement et les capteurs qui le composent.

Définition

Tantôt appelé UAV (Unmanned Aerial Vehicle), tantôt drone. On va dans un premier temps définir ce qu'est un drone, selon le Larousse un drone est « Petit avion télécommandé utilisé pour des tâches diverses » [1].

Une question apparaît ensuite qu'est-ce qu'un avion, le Larousse à encore une fois la réponse à cette question, il s'agit d'après eux d'un « appareil de navigation aérienne plus lourd que l'air, muni d'ailes et propulsé par un ou plusieurs moteurs » [2].

On peut donc dire qu'un drone est un appareil de navigation plus lourds que l'air, muni d'ailes et propulsé par un ou plusieurs moteurs qui sont télécommandé afin de réaliser des tâches diverses.

Fonctionnement

Maintenant que l'on a défini ce qu'est un drone intéressons-nous à son fonctionnement. Il existe deux types de drones :

- Les quadricoptères : Le modèle le plus populaire pour les amateurs de drones et de photos. Il possède 4 hélices et peut voler sans se déplacer.
- Les drones à ailes : Ils ressemblent à des avions sans pilotes et nécessite d'être en mouvement lorsqu'il vol. Plus utilisé par les armées

Les deux systèmes ne fonctionnent pas de la même façon, ils seront donc tous deux expliqués en commençant par le quadricoptère.

Drone à 4 hélices

Le schéma suivant représente un drone à 4 hélices et leurs sens de rotations.

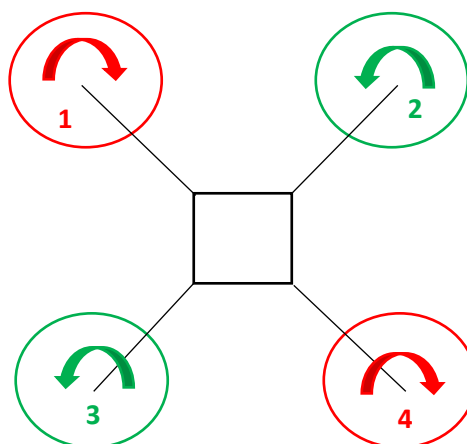


Figure 1 - Drone à 4 hélices et leurs sens de rotation

Afin de prendre ou perdre de l'altitude les hélices du drone vont soit accélérer soit ralentir, pour maintenir une altitude les hélices devront toutes tourner à la même vitesse qui devra générer une

force égale à la force gravitationnelle appliqué au drone. Pouvoir s'élever est intéressant, mais le point essentiel des drones à 4 moteurs sont leurs mobilités, et pour atteindre une très grande mobilité chacun des moteurs est géré individuellement. Ainsi pour tourner sur lui-même à droite l'hélice numéro 1 va ralentir légèrement ce qui va avoir pour effet d'avoir les hélices 2 et 3 qui tournent 2 fois plus vite dans le sens opposé de l'hélice 4.

Pour pencher le drone vers l'avant il suffira de diminuer la force de propulsion des hélices 3 et 4 et dans le même temps on diminue la vitesse de rotation des hélices 1 et 2, c'est ce mouvement qui va permettre au drone d'avancer ou de reculer, les deux mouvements étant identique mais inversé.

Drone à ailes

Les drones à ailes fonctionnent de la même manière que les avions, ces appareils de vol ne permettent pas de reculer et encore moins de tourner sur eux-mêmes, ce système fourni également pour contrainte de ne jamais être immobile en lors du vol. Les différents systèmes sont tous deux propulsés par un moteur, dans le cas de l'avion il s'agit de réacteurs situés sous les ailes, tandis que pour le drone il est question d'une hélice placée généralement à l'arrière de l'appareil. Ces deux moteurs servent à donner la poussé nécessaire aux appareils de vol pour avancer.

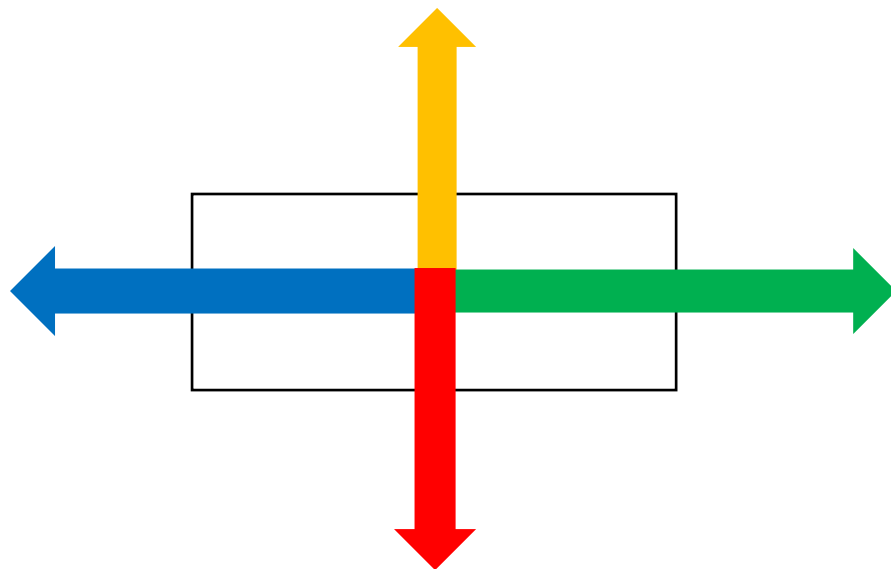


Figure 2 Forces appliqués à un objet en vol

Lorsqu'on parle de vol d'un objet on regarde les forces qui s'applique à cet objet :

- **Traction** : La force qui est fournie par le moteur.
- **Trainée** : La trace laissée par un objet en mouvement.
- **Poids** : La force gravitationnelle appliqué à l'objet.
- **Portance** : La force permettent à l'objet de voler, résulte des 3 autres forces.

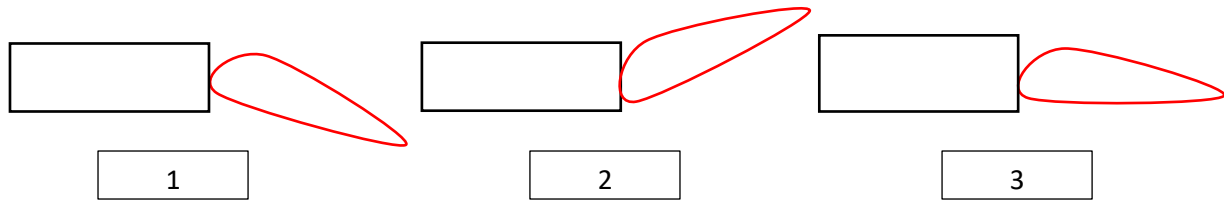


Figure 3 - Positions des volets d'aile

Pour se mouvoir de gauche à droite et de haut en bas, les avions et les drones ont des volets. Ces volets se trouvent au bout des ailes et ont un angle qui peut varier suivant la direction que l'on souhaite emprunter. Pour le décollage, les volets des 2 ailes seront dans la position 2, cette action a pour effet d'augmenter la Portance de l'appareil et donc de l'élever dans les airs. Si l'on souhaite faire tourner le drone à gauche alors on mettra le volet de l'aile gauche en position 3 ce qui maintient la portance au même niveau et le volet droit en position 2, cette combinaison permet de tourner à gauche et la position inverse, volet droit en position 3 et volet gauche en position 2, permet de tourner à droite. Pour voler tout droit les deux volets doivent se trouver en position 3. Afin de diriger le drone vers le bas, tout en conservant la vitesse, les volets devront tous deux se trouver en position 1.

Pour l'atterrissage le drone ou l'avion devra se trouver dans la même position (angle) qu'au décollage, la seule différence sera que la vitesse générée par le moteur sera diminuée afin de permettre la descente en douceur. De plus, l'atterrissage comme le décollage devront être exécuté sur une piste

Le contrôle

Les drones sont des avions ayant pour seule différence qu'ils sont contrôlés à distance. Ce contrôle est effectué à l'aide d'ondes radio, la télécommande de guidage que possède le pilote du drone envoie tous ces signaux grâce à ces ondes. Il existe différentes portées de transmission et de réception des ondes, certains drones ne peuvent émettre (leur télécommande) et conserver le contrôle du drone que sur une centaine de mètres, alors que les drones professionnels eux peuvent aller jusqu'à sept kilomètres de distance. Les drones à usage militaire quant à eux doivent couvrir une distance bien plus grande de l'ordre de plus d'une centaine de kilomètres cependant aucune information précise ne peut être trouvée sur ce sujet. Les drones avec des itinéraires programmés eux ne sont limités que par l'autonomie de leur batterie.

Capteurs

Les drones ne sont pas composés uniquement d'hélices ou d'ailes, pour qu'ils fonctionnent correctement ils ont besoin de nombreux capteurs qui ont tous une utilité différente. Ces capteurs servent au système interne au drone à faire les dernières modifications nécessaires au bon déroulement du vol.

Baromètre

Un Baromètre est un outil qui est défini comme un « Instrument qui sert à mesurer la pression atmosphérique » [3]. Pour un drone ou un avion, ce capteur sert à déterminer l'altitude de ce dernier, et au moindre changement de pression cela signifie un changement d'altitude. Si la pression diminue alors c'est que le drone monte en altitude, dans le cas contraire, diminution de l'altitude, c'est donc que le drone descend. Le baromètre est si précis qu'il est capable de déterminer si le drone bouge de quelques centimètres.

Gyroscope

Un gyroscope est un « Appareil indiquant une direction constante grâce à un axe autour duquel il tourne » [5]. Un gyroscope sert donc à mesurer les forces de rotations qui s'applique au drone lors de son vol. Le gyroscope mesure la vitesse de rotation de l'objet, grâce à ces mêmes forces le drone peut rester en position géostationnaire s'il s'agit d'un quadricoptère car les modifications de positions liées au vent peuvent être compensé en observant les nouvelles forces appliqués aux drones et en modifiant les forces des moteurs afin de conserver la position de départ. La stabilité du drone n'en est qu'augmenter grâce aux corrections faites.

Magnétomètre

Un magnétomètre sert à mesurer le magnétisme de la planète et donc à déterminer les pôles magnétiques, on peut donc connaître le Nord grâce à cet outil, tel une boussole. « Ce capteur est important pour les drones multi rotors car les capteurs de l'accéléromètre et du gyroscope ne sont pas suffisants pour permettre au contrôleur de vol de connaître la direction dans laquelle se trouve le drone » [19] et il ne peut donc pas savoir comment avancer correctement sans ce capteur. Le magnétomètre est souvent placé à coté du GPS car ce dernier se trouve éloigner des autres composants qui peuvent provoquer des interférences magnétiques et donc fausser l'appareil.

Accéléromètre

Un accéléromètre est un « Appareil de mesure qui enregistre l'accélération des mouvements sous formes de graphiques » [6]. Lorsqu'on parle d'accéléromètre en aviation on en parle en 3, 6 ou 9 axes. Si l'on parle de cet appareil en 3 axes il s'agit uniquement de l'accéléromètre alors que si l'on parle du même objet à 6 axes, on parle de l'accéléromètre et du Gyroscope ensemble. Dans le cas d'un accéléromètre à 9 axes, il est question de l'objet à 6 axes plus un Magnétomètre.

Il sert à enregistrer l'accélération linéaire d'un objet, il existe 2 types d'accélération. Les accélérations statiques correspondent aux forces qui sont tous le temps présentes telle que la gravité qui s'applique à tous objet en continue. L'accélération dynamique quant à elle symbolise les éventuels chocs que pourrait rencontrer le drone ou son déplacement. Ainsi un accéléromètre est capable de déterminer l'inclinaison de l'objet, il peut également mesurer si un objet est en chute libre.

GPS

Beaucoup de drone sont maintenant équipé de balise GPS (Global Positioning System). Ces balises ont de nombreuses utilités, par exemple on peut programmer un drone pour qu'il fasse un trajet très précis en lui. Le système GPS est également utilisé lorsque les drones sont contrôlés à distance et que l'on souhaite connaître leurs positions afin de les faire revenir.

Camera

Optique

Normale

Tous les drones de loisirs possèdent une caméra qui permet la prise de vue et une aide conséquente lors du pilotage en temps réel du drone. Ces caméras peuvent varier de qualité suivant le prix du drone. Là où des drones premiers prix ont une caméra qui a une qualité de 720p haute définition pour les photos, les drones un peu plus chers peuvent avoir une caméra 1080p haute définition. Pour les drones les plus sophistiqués, et donc les plus chers, leurs caméras ont une résolution 4K avec 60 images par secondes. Quant aux drones de professionnels, ces derniers ont une qualité de 6K avec 30 images par seconde, la qualité de l'image augmente en diminuant légèrement la fluidité.

Thermique

Les drones peuvent, à la place d'avoir une caméra ordinaire, être équipé d'une caméra thermique qui sert à mesurer « les plus infimes *variations* de chaleur – de l'ordre de seulement 0,01 °C » [17] et renvoie une image montrant la température en degrés grâce aux images prises à l'aide de cette caméra. Ce dispositif est possible car tous objets émettent une énergie thermique. Cet objectif permet notamment d'inspecter les lignes électriques, recherche des rescapés par la chaleur que le corps humain dégage en cas d'accident mais également savoir l'origine d'un feu ou s'il est bien éteint pour les pompiers. Il donne aussi la possibilité de surveiller les champs afin de déterminer quand un arrosage est nécessaire et dans quelle zone. On peut également mener une étude du sol.

Infrarouge

Cette optique de caméra permet de capturer des images dans le noir. Son fonctionnement est le suivant, la caméra émet « un faisceau d'énergie proche de l'infrarouge, lequel devient perceptible lorsqu'il est renvoyé par un objet » [17], une fois ce signal récupéré une image en noir et blanc est récupérable et affichable grâce à un traitement complexe. Ce système a cependant quelques inconvénients comme la nécessité d'utiliser des contrastes prononcés afin d'obtenir une image suffisamment précise pour être identifiable.

Montage

Il existe deux types de montage de caméra. Tous d'abord, il y a le montage fixe, une caméra est intégrée au drone et nous permet de voir précisément ce que le drone verrait s'il était un oiseau, on a ainsi une vue depuis l'avant de l'appareil vers l'endroit où l'on se dirige. Deuxièmement, il existe un montage moins répandu car il est plus destiné aux professionnels et il s'agit d'un montage que l'on pourrait qualifier de dynamique. Ce montage place la caméra en dessous du drone et l'installation fait qu'il est possible de faire pivoter la caméra afin de pouvoir observer la direction que l'on souhaite sans avoir besoin de tourner le drone.

Stockage

Hardware

Presque tous les drones vendus dans le commerce permettent à leur utilisateur d'utiliser des cartes micro-SD afin de sauvegarder les photos qu'ils prennent ou les vidéos de leurs vols. Ces cartes SD ont une capacité de mémoire variants de 32, 64 ou 128 Go. Ses cartes mémoires sont interchangeables à tout moment et ne nécessite pas forcément la suppression des fichiers si une nouvelle carte est utilisé.

Les drones actuellement vendues possèdent également une mémoire interne, tel la gamme Mavic de DJI qui a une mémoire interne de 8 Go. Lorsqu'on souhaite récupérer les fichiers on connecte le drone à un ordinateur et on copie les fichiers (photos, vidéos) vers l'ordinateur. Il suffit après de formater la mémoire interne de l'appareil afin d'en supprimer les anciens contenus.

Certains stocke toutes les données collectées sur des serveurs dédiés afin d'exploiter les données récoltées ultérieurement.

Cloud

Au cours de l'expansion de la présence des drones, des entreprises ont commencés à proposer des services dédiés à l'utilisation des drones. Ils permettent donc à leur client de sauvegarder leur image sur le cloud.

Cependant certaines entreprises vont plus loin et mettent en place un système complet pour les clients qui le souhaite, ainsi l'entreprise *FlyBase* offre la possibilité à ses utilisateurs de contrôler leurs drones de manière automatique à travers un navigateur web. S'adaptant à n'importe quel drone, leur système donne accès en temps réel aux caméras des différents drones et permettent le stockage de toutes les données sur leur cloud, ces données sont ensuite disponibles pour créer des graphiques et produire des analyses précises. Leur service inclut des fonctionnalités orientées pour certaines utilisations comme la livraison, la surveillance, l'exploitation des données pour l'agriculture ou encore la classification d'objet, leur comptage.

Applications

Livraison

C'est en juin 2019 que Amazon à annoncer qu'il allait utiliser des drones pour livrer les colis de ses clients. Ces drones seront des quadricoptères qui sont plus simple pour la livraison étant donné que l'appareil doit se poser pour livrer le colis et que l'utilisation d'un drone à aile requerrait une piste d'atterrissage chez le client. Les drones produits par Amazon sont entièrement autonomes et ne nécessite aucun pilote, uniquement à l'aide de ses capteurs le drone serait où il doit aller et si un obstacle se trouve sur sa route et de ce fait il éviterait l'obstacle. Le chemin n'étant pas réalisé par un pilote le drone va utiliser les positions GPS afin de déterminer son parcours à réaliser. Pour atterrir, le drone possèdera une caméra qui reconnaitra le logo d'Amazon et se posera dessus.

Ces systèmes de livraisons vont être très utiles pour les régions rurales voire presque inaccessible dans le but de livrer les paquets rapidement

Loisirs

Au cours des dernières années, les drones sont devenus très populaire pour les panoramas qu'ils peuvent offrir, les caméras étant de plus en plus performantes, elles permettent de plus en plus d'obtenir des images très précises sur de grandes photos d'horizon. Les drones permettent également à leur utilisateur de voir en temps réel ce que leur drone voit à travers sa caméra. Les plus férus d'aéronautique ont plaisir à les contrôler, tant leur ressemblance aux avions peut être fortes. La programmation de multiples drones permet de créer des spectacles

Militaire

Comme la plupart des technologies qui ont vu le jour, les drones ont d'abord eu une utilisation militaire avant tout autre domaine. Les drones ont tout d'abord été utilisé pour la reconnaissance car ils peuvent obtenir des photos très précises de zone et ils sont commandés à distance donc en cas de destruction aucune vie humaine n'est perdue. Ces pilotes de drones sont entraînés à détecter à la présence de personne.

En plus de la reconnaissance, certains drones sont équipés d'armes afin d'abattre des cibles. Barack Obama à affirmer que les frappes qui avaient été planifiées par l'Amérique ont sauvés des vies humaines d'innocent et que les personnes ciblées par ces missiles étaient des terroristes qui voulaient attaquer des civils. Il affirme également qu'aucune mission n'étaient données à ces drones sans une consultations de multiples consultants.

En France, l'utilisation des drones de la société Safran sont principalement fait pour le renseignement à l'aide du *Patroller*, spécialisé dans les vols longues durée et la discrétion dont fait preuve l'appareil en vol. Ce système est optimisé pour le temps réel ainsi plusieurs personnes peuvent avoir accès au flux vidéo en même temps afin d'aider au mieux les équipes lors de leurs interventions. Il est l'un des appareils les plus performants dans le traitement d'image en temps permettent une identification plus rapide des menaces.

Cartographie 3D

Aujourd'hui les drones prennent des photos en haute qualité mais que peut on faire de ces photos. On peut imaginer qu'en regroupant ces photos et en les associant on parviendrait à recréer les lieux que le drone à visité, à la manière d'un Google Street View.

C'est précisément ce qu'on fait des chercheurs de l'Université de Rio et *Aeyron Labs* au Brésil. Ils ont décidé qu'ils allaient reproduire en 3D la statue du Christ Rédempteur qui surplombe la colline de Rio de Janeiro. Ils ont commencé par faire survoler la statue par un drone en prenant des photos de la statue sous de multiple angle et à l'aide de ces photos ils sont parvenus à les faire fusionner pour ne former qu'un seul et même objet 3D : le Christ Rédempteur. La reproduction est très précise mais le traitement des images n'était pas automatisé et a été fait manuellement.

On peut donc imaginer que tous les monuments historiques appartenant au patrimoine mondial vont être, dans un avenir proche lorsque le traitement sera automatisé, modélisé en 3D et que la planète entière va pouvoir être reproduite à l'échelle avec une très haute précision.

Santé

Les drones commencent à apparaître dans les domaines médicaux pour le transport de médicament mais également de diverses choses, ils ont une vitesse équivalente à une voiture mais eux volent droit et ne sont pas dérangé par la circulation.

L'équipe de *Medical Drones* réunissant des chercheurs de l'université John Hopkins ont ainsi commencé en transportant du sang. Il explique que ce système permettrait aux zones rurales et aux sites de catastrophe de recevoir les poches de sang nécessaire plus rapidement. Le but final est de permettre aux équipes de premier secours de pouvoir tester le sang des victimes et ainsi de demander à un drone d'apporter le sang du groupe correspondant à la victime.

Ont peu imaginer que d'ici quelques années, les personnes contactant les secouristes pour des cas d'allergie, d'arrêt cardiaque ou encore de coma diabétique se verrait envoyer les médicaux ou appareils nécessaires à la survie du malade. Ces personnes avec l'assistance d'une personne au téléphone pourraient appliquer les premiers secours en attendant les secouristes.

Déployer la couverture réseau

Les drones sont capables de survoler toute la planète alors pour quoi ne pourrait on pas les utiliser pour transmettre le réseau. Le projet Aquila de Facebook avait pour but de permettre le déploiement d'Internet sur Terre. Ces drones auraient permis aux zones les plus reculés et/ou pas encore connecté d'obtenir Internet grâce au vol constant de drones. Ce drone à ailes fonctionnait grâce à l'énergie solaire capté par les panneaux solaires qui se trouve sur les ailes, permettant en théorie au drone de ne jamais avoir besoin de se poser pour se recharger.

L'agriculture

Surveiller les champs et l'état des plantations peut-être une tâche compliquée et longue à exercer. Il existe maintenant des drones dit agricole développé notamment par la société Parrot. Ces drones peuvent surveiller les cultures et observer si aucune maladie n'est présente et, en collectant les données d'observation sur plusieurs années, optimiser l'utilisation de fertilisant et mieux planifier leurs futures actions. Certains de ces drones étudies la terre au préalable afin de déterminer quelle plantation serait le plus efficace et à quel endroit. A l'aide de caméra infrarouge les drones peuvent aussi renseigner sur quand les plantes ont besoin d'être arroser, ce qui réduit le gaspillage d'eau.

Sport

L'eSport à aujourd'hui un sport spécialisé dans les drones, le drone racing ou course de drone. Ce sport fait partie des derniers sports se liant à la technologie. Le but est simple, les drones sont pilotés par des professionnels qui doivent réaliser un parcours prédéfini, tous les drones courent en même temps et c'est le premier à passer la ligne d'arrivée qui l'emporte. Dans un souci d'équité, certains championnats fournissent les drones afin que tous aient les mêmes chances, cependant d'autres acceptent que les participants utilisent leur propre prototype.

C'est ce type d'activité qui permet au drone d'évoluer en permanence tant la demande de performance est demandée et les sponsors présents dans ces sports permettant de financer les nouveaux drones et les nouvelles recherches.

Conclusion

On a donc pu voir que les drones peuvent soit avoir quatre hélices, le mouvement se fait en changeant la puissance de chacune des hélices, soit deux ailes, le changement de direction se fait alors en changeant l'inclinaison des volets fixés aux ailes et la vitesse est gérée par l'hélice. Leurs fonctionnements différents totalement mais leur contrôle et les capteurs qu'ils utilisent tels que le baromètre, le magnétomètre, le gyroscope, l'accéléromètre et le GPS sont les mêmes, ces capteurs servent à analyser où se trouve le drone dans l'espace et à faciliter sa stabilisation.

On a ensuite vu les appareils optiques des drones qui vont d'une caméra 720p sur un montage fixe fait pour les amateurs, à une caméra 6k sur un axe pivotable sur commande fait pour les professionnels. Mais on a également vu qu'il existait des caméras thermiques et infrarouge fait pour prendre des images représentant la température des surfaces captées et aussi pour prendre des clichés de nuit.

Pour finir, on a vu que les drones sont utilisés dans de nombreux secteurs tels que la livraison avec l'exemple d'Amazon, dans l'Agriculture pour déterminer quel type de culture est planté où et surveiller les cultures en cours, dans la Santé pour livrer médicaments et équipement de premier secours mais encore le sauvetage grâce aux caméras thermique, dans le Sport avec les courses de drones et bien d'autres domaines encore.

Les drones sont de plus en plus utilisés par tout le monde tant bien qu'un problème d'intrusion dans la vie privée commence à apparaître dans la société on pourrait alors se demander quelles réglementations vont être mise en place par les gouvernements pour gérer cette question.

Bibliographie

- 1 : Larousse, Éditions. Définitions : drone - Dictionnaire de français Larousse.
<https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/drone/26865>. Consulté le 20 décembre 2019.
- 2 : Larousse, Éditions. Définitions : avion - Dictionnaire de français Larousse.
<https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/avion/7097>. Consulté le 20 décembre 2019.
- 3 : Larousse, Éditions. Définitions : baromètre - Dictionnaire de français Larousse.
<https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/baromètre/8060>. Consulté le 20 décembre 2019.
- 4 : Larousse, Éditions. Définitions : gyroscope - Dictionnaire de français Larousse.
<https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/gyroscope/38735>. Consulté le 20 décembre 2019.
- 5 : Gyroscope : Définition simple et facile du dictionnaire.
<https://www.linternaute.fr/dictionnaire/fr/definition/gyroscope/>. Consulté le 20 décembre 2019.
- 6 : Accéléromètre : Définition simple et facile du dictionnaire.
<https://www.linternaute.fr/dictionnaire/fr/definition/accelerometre/>. Consulté le 20 décembre 2019.
- 7 : Amazon.com: Prime Air. <https://www.amazon.com/Amazon-Prime-Air/b?ie=UTF8&node=8037720011>. Consulté le 20 décembre 2019.
- 8 : Hélin, Yan. « Quelles sont les applications et usages des drones ? » *Dronedecole*, 7 avril 2016,
<https://dronedecole.fr/differentes-utilisations-drones/>.
- 9 : « Flying Aquila: Early Lessons from the First Full-Scale Test Flight and the Path Ahead ». *Facebook Engineering*, 21 juillet 2016, <https://engineering.fb.com/connectivity/flying-aquila-early-lessons-from-the-first-full-scale-test-flight-and-the-path-ahead/>.
- 10 : RedBull. <https://www.redbull.com/mea-en/drone-racing-the-sport-of-the-future>. Consulté le 20 décembre 2019.
- 11 : « SenseFly - Agriculture ». *SenseFly*, <https://www.sensefly.com/industry/agricultural-drones-industry>. Consulté le 20 décembre 2019.
- 12 : « Drones ». *Safran*, 17 octobre 2014, <https://www.safran-group.com/fr/defense/drones>.
- 13 : « Système Patroller ». *Safran Electronics & Defense*, 24 novembre 2014, <https://www.safran-electronics-defense.com/fr/aeronautique-et-espace/drones/systeme-patroller>.
- 14 : « Site Officiel Parrot ». *Site Officiel Parrot*, <https://www.parrot.com/fr/>. Consulté le 20 décembre 2019.
- 15 : « FlytCloud: Connect Drones To Cloud ». *FlytBase*, <https://flytbase.com/flytcloud/>. Consulté le 20 décembre 2019.
- 16 : « Zenmuse XT - Unlock the Possibilities of Sight - DJI ». *DJI Official*,
<https://www.dji.com/zenmuse-xt>. Consulté le 20 décembre 2019.
- 17 : *Quelle est la différence entre l'imagerie thermique et la vision nocturne ?*
<https://www.flir.fr/discover/ots/thermal-vs-night-vision/>. Consulté le 20 décembre 2019.
- 18 : « Histoire du drone ». *Fédération Professionnelle du Drone Civil*, <https://www.federation-drone.org/les-drones-dans-le-secteur-civil/histoire-du-drone/>. Consulté le 20 décembre 2019.

19 : « Capteurs sur aéronefs télépilotés », Institut Aéronautique JEAN MERMOZ, https://campus.institut-mermoz.com/demo/4-5-DRONES_edition_Juillet_2018.pdf. Consulté le 20 Décembre 2019.

20 : « Les accéléromètres », F. Ferrero, Université Côte d’Azur, <http://users.polytech.unice.fr/~ferrero/TPelec2/arduino2.pdf>. Consulté le 20 Décembre 2019.

21 : « PATROLLERTM RPAS », *Safran Electronics & Defense*, <https://www.safran-electronics-defense.com/sites/sagem/files/patroller-rpas.pdf>.

22 : Allain, Rhett. « How Do Drones Fly? Physics, of Course! » *Wired*, mai 2017. www.wired.com, <https://www.wired.com/2017/05/the-physics-of-drones/>.