



Robotique et Apprentissage

État de l'art : Projet robotique

travail réalisé par

**Mohammed Amine FAIZ
Loïc JACOB
Gaël PERRON**

Rapport de projet : Drone de reforestation

Année universitaire 2022 - 2023

Encadrement

M. Vincent PADOIS
M. Julien GENESTE

Encadrant
Responsable

Résumé

Les drones peuvent avoir des utilités diverses. Entre la surveillance de zones, la détection de personnes ou d'objets et le combat, les domaines d'utilisations sont de plus en plus variés et en pleine évolution. En l'occurrence, cet état de l'art traite d'un drone de reforestation et plus particulièrement du mécanisme de lancement des graines qui sera embarqué sur celui-ci.

La conception d'un tel mécanisme, son embarquement et son utilisation sur un drone soulève de nombreuses problématiques : Quel type de mécanisme de projection utiliser ? Comment l'embarquer sur un drone ? Comment gérer l'embarquement et la sélection des graines avant le tir ? Quel impact aura un tir sur la stabilité du drone ? Comment relier le système à l'électronique embarqué du drone ? Ou enfin quels peuvent être les impacts de ce type de drone sur l'environnement ou les personnes présentes ?

Toutes ces interrogations ont conduit à des recherches qui ont permis de traiter chacune de ces problématiques et d'y apporter une ou plusieurs solutions. Ainsi, vous découvrirez dans ce rapport les choix que nous avons fait en fonctions de nos recherches sur le mécanisme en lui même, son intégration sur un drone, sur l'électronique embarqué et enfin sur le respect des normes de sécurité.

Mots-clés : *Drone, Reforestation, Canon à air comprimé, Graines, Système embarqué*

Table des matières

Table des figures	vii
Introduction	1
1 Canon et système de lancement	3
1.1 Système de lancement	3
1.1.1 Projection par explosion/combustion	3
1.1.2 Projection bi-fluides	4
1.1.3 Projection par compression d'air/CO2	5
1.1.4 Solution à la problématique	5
1.2 Canon	6
2 Stabilité du drone	9
2.1 Position du centre de gravité selon l'horizontale	9
2.2 Position du centre de gravité selon la verticale	10
3 Sélection des graines	13
3.1 Différents alimentateurs du monde de l'industrie	13
3.2 Dispositif de dosage de précision des graines	13
4 Électronique embarqué	15
4.1 Bus de communication	15
4.2 Micro-contrôleur/carte à choisir	15
5 Normes et sécurité	17
5.1 Normes générales	17
5.2 Sécurité	18
Conclusion & perspectives	19
Bibliographie	22

Table des figures

1.1	Fonctionnement d'un système de projection par combustion/explosion . .	3
1.2	Fonctionnement d'un système de projection bi-fluide à mélange interne . .	4
1.3	Fonctionnement d'un système de projection à air/CO2 comprimé	5
1.4	Gammes de résines	6
2.1	Possibles positions du centre de gravité à déterminer	9
2.2	Positions possibles pour le centre de gravité et valeur du couple maximal réalisable dans chaque direction, dans l'hexarotor standard avec une panne totale d'un moteur.	10
2.3	Impact de l'emplacement du centre de gravité sur le rejet des perturbations	11
3.1	Trois types d'alimentateurs à vis sans fin	13
3.2	Exemple de dispositif de dosage de précision des graines	14
4.1	Carte arduino Uno	16
5.1	Zone de vol autorisées, restreintes et interdites à bordeaux et ses alentours.	17

Introduction

La déforestation est un enjeu environnemental qu'il est crucial de résoudre. Le nombre d'incendies que l'on a pu vivre en Gironde, et plus généralement dans le monde, l'été dernier, est en forte croissance au fil des années. Le problème est que la replantation d'un aussi grand nombre d'arbres prend du temps et certaines zones défrichées peuvent être difficiles d'accès (montagnes, bords de fleuves, falaises...).

Une des solutions en vogue actuellement est la reforestation à l'aide de drones éparpillant des nuées de graines en tout genre à très basse altitude. Pilotés au sol ou suivant une mission programmée, ces drones peuvent embarquer plusieurs dizaines de milliers de graines et ainsi les semer sur plusieurs hectares.

Une autre solution est d'utiliser également des drones, mais ceux-ci sont équipés d'un canon qui permet de propulser les graines une par une dans le sol. Ce faisant, les graines plantées ont plus de chances de faire pousser un arbre car elles sont dans de meilleures conditions pour germer.

Pour chacune de ces solutions, il existe des entreprises émergentes qui ont lancé ce type de drone permettant la reforestation à grande échelle. Cependant, aucune d'entre elles utilisant la méthode de propulsion de graines n'est située en Europe. C'est pour cette raison que l'entreprise Kariboo dirigée par Julien Geneste souhaite lancer ce genre de drone de reforestation massive.

La méthode suivie dans le développement de ce projet est celle du Lean start-up, qui consiste à créer aussi rapidement que possible un produit minimum viable ayant pour but de tester la technologie élaborée sur un de ses aspects. Ce produit minimum sera amélioré peu à peu, avec de nouvelles fonctionnalités pour atteindre la forme finale du produit.

Le projet consiste en la création du module de projection et de stockage des graines ainsi qu'un système de guidage du drone et d'un algorithme qui permettra de trouver les positions idéales de dépôt des graines sur le terrain. Les objectifs sont de trouver une solution qui permettra de tirer les graines, avec précision et sans déstabiliser le drone et de mettre en place une stratégie pour maximiser les chances de survie de la pousse.

Ce projet se divise en plusieurs parties incluant plusieurs domaines de la robotique. À savoir l'électronique embarquée, l'informatique, la modélisation, l'étude des matériaux et solutions techniques. Cet état de l'art rend compte de la recherche de solutions afin de mettre au point correctement et dans les meilleures conditions, le drone permettant la reforestation.

1 Canon et système de lancement

Cette partie décrit l'ensemble des problématiques liées au système de lancement des graines ainsi qu'à la fixation du canon sur le drone et apporte les solutions potentielles trouvées à la suite des recherches effectuées.

1.1 Système de lancement

Le lancement de la graine et son mécanisme associé est un des enjeux principaux du projet puisque qu'il est au cœur du mécanisme global qu'est le canon à graine. La problématique est de trouver le meilleur type de projection et à la fois le plus adapté pour être embarqué sur un drone. Il existe beaucoup de types de système et mécanisme de lancement de projectiles, néanmoins, parmi l'ensemble de ces systèmes, on peut distinguer trois grandes catégories présentant des caractéristiques, avantages et inconvénients différents. :

- Les projections par mécanisme à explosion ou combustion de type arme à feu.
- Les projections par système bi-fluide (exemple : Air/Eau) type canon à neige.
- Les projections par compression d'air ou de CO2 de type arme à air comprimé.

1.1.1 Projection par explosion/combustion

Les systèmes de projection par mécanisme à combustion/ explosion suivent le principe décrit sur la figure 1.1 [1] :

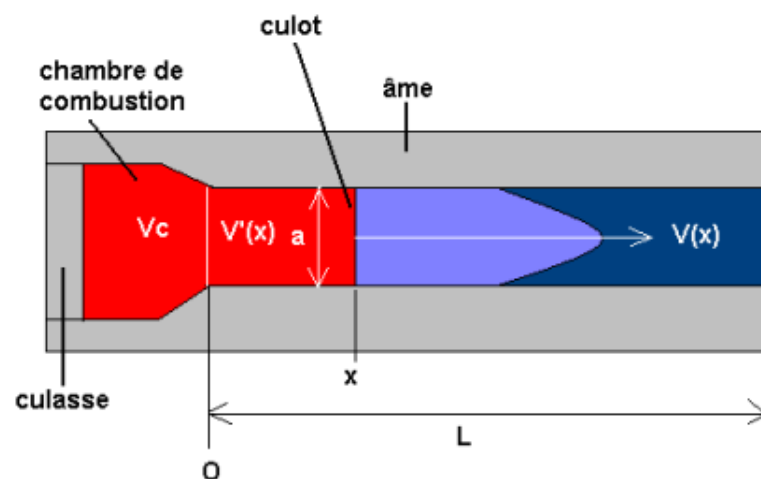


FIGURE 1.1 – Fonctionnement d'un système de projection par combustion/explosion

Dans une arme à feu utilisant un mécanisme de projection par combustion/explosion, le principe est de venir percuter la culasse de la balle à l'aide d'un percuteur pour entraîner la réaction d'explosion et permettre la libération de l'énergie produite par l'explosion et donc la projection de la balle.

Le principal avantage des systèmes de projections par mécanisme à combustion et explosion est l'énergie libérée et donc la capacité en puissance du tir. Néanmoins, les matériels et mécanismes utilisés sont coûteux et peu facile d'accès. De plus, deux inconvénients majeur dans l'utilisation de ce type de mécanisme sur le drone apparaissent. Dans un premier temps, la présence de système de combustion et de mécanisme à explosion peut entraîner des conséquences désastreuses sur la flore et impacter directement le drone en cas de dysfonctionnement. Dans un second temps, l'énergie dégagée lors du tir est bien supérieure à celle des deux autres types de projection. Cette énergie [1] est bien trop importante pour ne pas impacter la stabilité du drone mais aussi largement supérieure à l'énergie nécessaire à la projection de la graine.

1.1.2 Projection bi-fluides

Les projections bi-fluides fonctionnent selon le schéma décrit sur la figure 1.2 [2] :

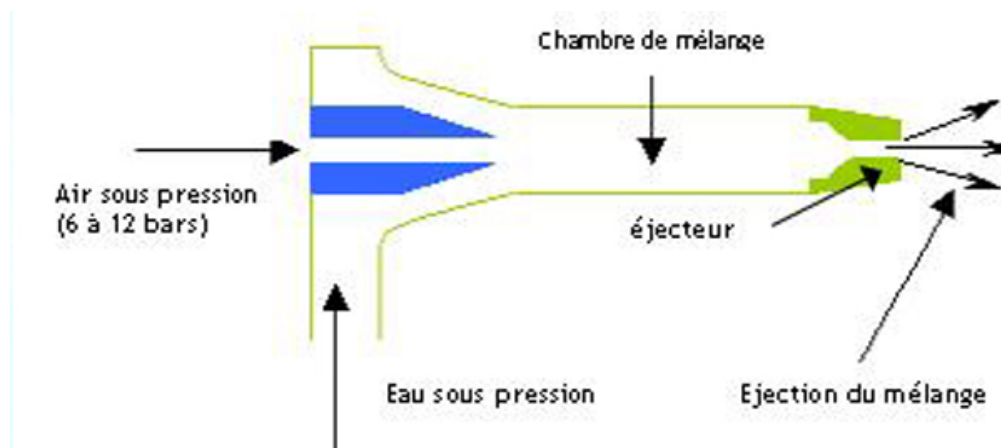


FIGURE 1.2 – Fonctionnement d'un système de projection bi-fluide à mélange interne

Le principe de fonctionnement d'un lanceur bi-fluide est assez intuitif. De l'eau et de l'air sous pression sont injectés dans une chambre puis éjectés à l'aide d'un éjecteur sous forme de mélange.

Les projections bi-fluides ont l'avantage d'utiliser des composants simples et disponibles facilement et d'avoir un mécanisme de fonctionnement assez simple et peu coûteux. En revanche, ce système présente aussi quelques inconvénients d'autant plus si l'on souhaite l'utiliser pour projeter la graine depuis le drone. En effet, le premier inconvénient est que ce type de canon est dépendant à la fois de la pression de l'air mais aussi de la pression de l'eau. De plus, la présence d'eau est contraignante à embarquer sur le drone.

1.1.3 Projection par compression d'air/CO2

Le fonctionnement d'une arme à air comprimé est expliqué sur la figure 1.3 [3] :

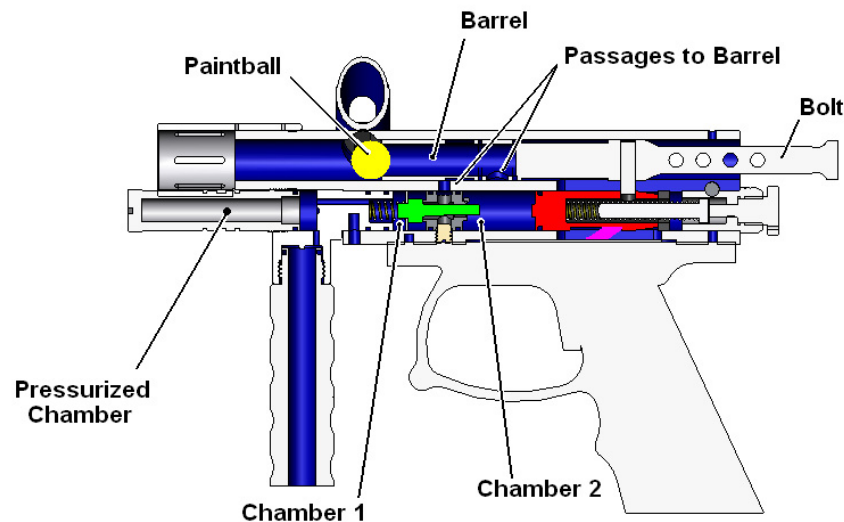


FIGURE 1.3 – Fonctionnement d'un système de projection à air/CO2 comprimé

Le principe de fonctionnement d'une arme à air comprimé (ou CO2) est un mélange des deux systèmes précédents [4]. Dans un premier temps, un réservoir de gaz comprimé est relié à l'arme. Lorsque la gâchette est actionnée, le percuteur se déplace et vient frapper la goupille de soupape (en vert) permettant ainsi au gaz comprimé de se libérer dans le canon et de projeter la balle [3].

L'inconvénient d'un tel système est la puissance de tir. En effet, une arme à air comprimé a une puissance de tir bien inférieure à celle d'une arme à feu. Néanmoins, ce système semble être le plus adapté pour l'embarquement sur un drone. Il y a peu de risque d'explosion ou d'endommagement du drone et le fait que la puissance de tir soit plus faible, le recul dû à la projection le sera aussi et perturbera moins la stabilité du drone. De plus, les matériaux utilisés sont accessibles facilement et peu coûteux.

1.1.4 Solution à la problématique

L'étude de ces différents types de système de lancement a permis d'orienter les choix techniques concernant la méthode à utiliser pour la projection de la graine. En effet, le système embarqué doit représenter le moins de danger possible pour le drone, doit le déstabiliser le moins possible lors du tir et les composants doivent être le plus accessible possible. Par conséquent, un système de projection de type air ou CO2 comprimé semble être le plus adapté. De plus, une deuxième problématique est de déterminer quel gaz entre

l'air et le CO₂ sera utilisé. L'air comprimé requiert un système de compression d'air dans le cas où l'on décide de créer ses propres réservoir ou sinon est beaucoup moins accessible que le CO₂ qui se trouve en capsule. Ainsi, au vu du besoin en réservoir afin de pouvoir effectuer des tests par la suite le CO₂ est l'option qui convient la mieux.

1.2 Canon

L'ajout d'un canon sur un drone augmente la possibilité que celui-ci rentre en collision avec quelque chose. En cas de collision, la problématique est que cela impacte le moins possible le drone et l'ensemble du mécanisme de projection des graines. Pour répondre à cette problématique, l'idée principale est de concevoir un système d'attache entre le tube du canon et le drone. Ce système, issu d'une impression 3D de gamme de résine à déterminer, aurait pour objectif de se rompre en cas d'impact permettant ainsi de réduire les dégâts potentiels sur le drone et le mécanisme global de lancement.

Il existe plusieurs gammes de résines pour impression 3D possédant des propriétés et usages différents comme le montre la figure 1.4 [5] :

PRÉSENTATION DES RÉSINES					
Résine	100 Microns	50 Microns	25 Microns	Applications	
Classique					
Claire	✓	✓	✓	<ul style="list-style-type: none">Transparente après polissageCanaux internes	<ul style="list-style-type: none">Jeux de lumièreSurface semi-brillante
Blanche	✓	✓		<ul style="list-style-type: none">OpaqueSurface semi-brillante	<ul style="list-style-type: none">Convient pour de grandes surfaces lisses
Grise	✓	✓	✓	<ul style="list-style-type: none">OpaqueSurface mate	<ul style="list-style-type: none">Détails bien visible sans apprêt
Noire	✓	✓	✓	<ul style="list-style-type: none">OpaqueSurface semi-brillante	<ul style="list-style-type: none">Détails bien visibles sans apprêt
Technique					
Haute Résistance	✓	✓		<ul style="list-style-type: none">EmboîtagesAssemblages	<ul style="list-style-type: none">Prototypes robustes
Durable	✓	✓		<ul style="list-style-type: none">Prototypage de produits de consommationEmballages	<ul style="list-style-type: none">Pièces mobiles à faible frottement
Flexible	✓	✓		<ul style="list-style-type: none">Poignées, manches et surmoulagesMatelassages et dispositifs d'amortissement	<ul style="list-style-type: none">Prototypage technique et fonctionnelEmballages
Haute Température	✓	✓	✓	<ul style="list-style-type: none">Prototypage pour fabrication de moulesÉquipements résistants à la chaleur	<ul style="list-style-type: none">Flux d'air ou de fluides chaudsTests en conditions réelles
Joaillerie					
Calcinable	✓	✓	✓	<ul style="list-style-type: none">Brûle proprementHaut niveau de détails	<ul style="list-style-type: none">Conçue pour la fonte de précision
Dentaire					
Dental SG		✓		<ul style="list-style-type: none">Résine biocompatible classe I	<ul style="list-style-type: none">Permet d'imprimer des guides chirurgicaux
Dental Model	✓	✓	✓	<ul style="list-style-type: none">Surface mateImpression de modèles de couronnes et de bridges avec dies amovibles	<ul style="list-style-type: none">Contacts à ±35 micronsLignes marginales nettes
Dental LT Claire		✓		<ul style="list-style-type: none">Résine biocompatible de classe 2	<ul style="list-style-type: none">Se polit jusqu'à la transparence optiqueImpression de gouttières, attaches et autres appareils d'orthodontie

FIGURE 1.4 – Gammes de résines

La résine utilisée doit avoir une résistance à la traction à la rupture et une résistance à la flexion à la rupture la plus faible possible tout en conservant des propriétés géné-

rales normales notamment les propriétés thermiques (température de fléchissement sous charge). Parmi l'ensemble des gammes de résines existantes [5], la résine haute température et celle dont les propriétés correspondent le plus avec les besoins issus de la problématique liée au canon en cas d'impact.

2 Stabilité du drone

Pour voler correctement, un drone est conçu de sorte à ce que les masses soient correctement réparties et ainsi le rendre plus stable. Cependant, le drone sur lequel nous travaillons va être équipé de plusieurs modules qui vont l'alourdir et déséquilibrer son centre de gravité. Il est donc nécessaire de connaître les masses des modules ajoutés, leur agencement et d'étudier l'influence de la position du centre de gravité sur la stabilité de vol du drone. Il faut donc déterminer la position selon la verticale et sur l'horizontale (voir figure 2.1).

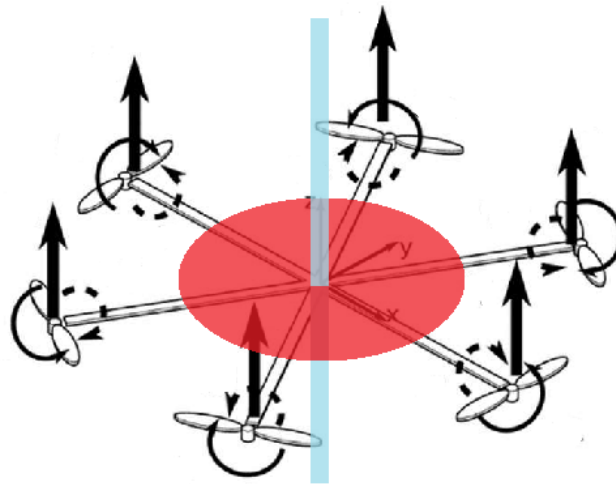


FIGURE 2.1 – Possibles positions du centre de gravité à déterminer

- En rouge : la position selon l'horizontale
- En bleu : la position selon la verticale

2.1 Position du centre de gravité selon l'horizontale

Il est important que le centre de gravité soit situé au milieu du drone. En effet, si celui-ci est décalé, les moteurs vont tourner à des vitesses différentes pour essayer de redresser au mieux le drone. Dans le cas extrême, il est possible qu'un moteur ne tourne presque plus si le centre de gravité est trop excentré. L'article [6] montre que lors d'une panne de l'un des moteurs, en déplaçant le centre de gravité du drone (en déplaçant la batterie) il est possible de garder le drone dans un état assez stable pour être piloté de manière correcte.

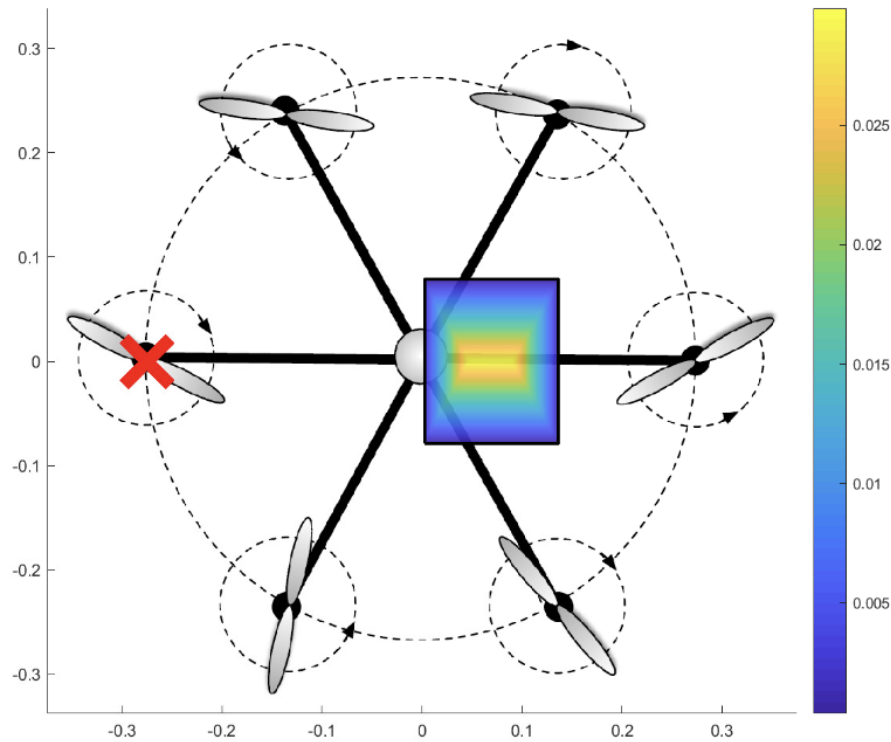


FIGURE 2.2 – Positions possibles pour le centre de gravité et valeur du couple maximal réalisable dans chaque direction, dans l’hexarotor standard avec une panne totale d’un moteur.

Cet exemple représenté sur la figure 2.2 prend le problème dans l’autre sens, mais cela montre qu’il est important de positionner les modules additionnels correctement sur le drone pour que le centre de gravité de celui-ci soit le plus possible au centre du drone.

2.2 Position du centre de gravité selon la verticale

La position du centre de gravité selon la verticale influe sur la stabilité du drone selon les angles de roulis et de tangage. Le risque est que si le centre de gravité est mal positionné, s’il y a un coup de vent trop fort qui fait balancer le drone, il y a un risque de décrochage. Le décrochage arrive lorsque le drone est tellement penché que les hélices n’arrivent plus à produire une portance suffisante pour maintenir le drone en l’air.

L’article [7] étudie l’impact d’une perturbation sur la stabilité d’un drone à quatre moteurs (quadrirotor) en fonction de la position du centre de gravité du drone sur la verticale (voir figure 2.3).

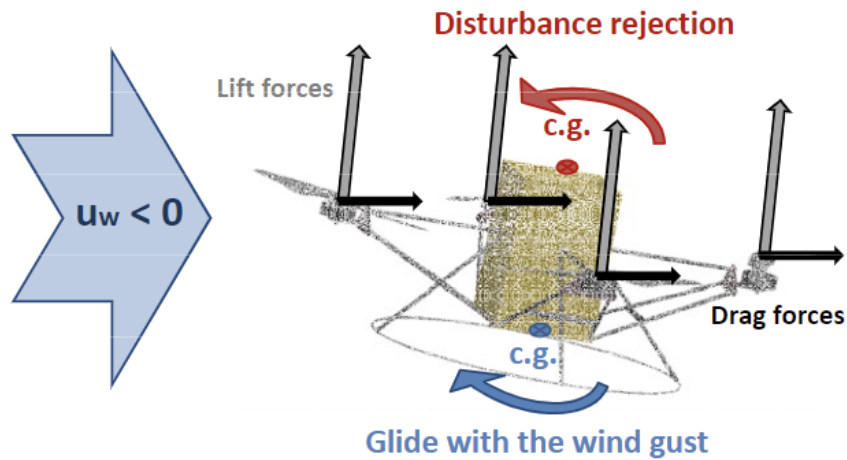


FIGURE 2.3 – Impact de l’emplacement du centre de gravité sur le rejet des perturbations

Si on étudie les pôles des différentes fonctions de transfert entre la commande et le résultat produit, en prenant en compte la flexibilité des hélices, lorsque le centre de gravité est proche du plan du rotor (environ 5 cm), il y a un foyer instable lent et l’emplacement précis du centre de gravité n’a pas d’importance. L’emplacement du centre de gravité n’est pas utilisé pour éviter un nœud instable.

Cependant, pour des raisons de faisabilité, le canon et le système de stockage sont obligatoirement situés en dessous du plan du rotor. Ces deux modules étant les plus lourds par rapport à ceux qui seront situés dans le plan du rotor ou au dessus, le centre de gravité sera situé en dessous du plan du rotor.

Le centre de gravité va évoluer au fur et à mesure d’une mission car la quantité de graines va diminuer. Grâce à cette étude on peut voir que cela ne risque pas de provoquer des problèmes de stabilité.

3 Sélection des graines

Les graines doivent arriver au fur et à mesure, une par une dans le canon pour être propulsées dans le sol. Il faut donc faire en sorte de les amener dans le réservoir sans obstruer la sortie et sans en sélectionner deux à la fois.

3.1 Différents alimentateurs du monde de l'industrie

L'industrie et plus particulièrement l'industrie agronomique est un bon exemple sur la sélection de graine. Pour extraire des grains des silos, l'une des méthodes est d'utiliser des alimentateurs à vis sans fin (figure 3.1)

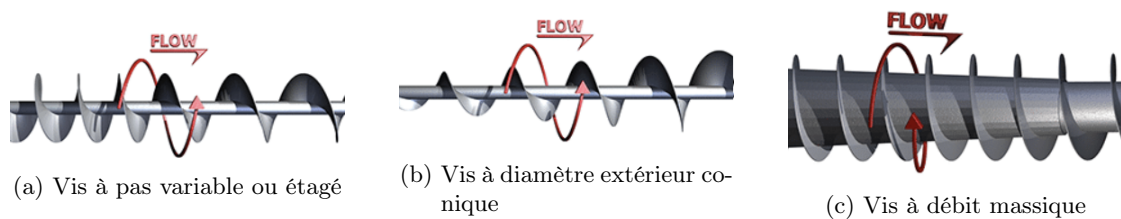


FIGURE 3.1 – Trois types d'alimentateurs à vis sans fin

L'avantage de ce genre d'alimentateur est qu'il y a un très faible risque de blocage des graines.

Par contre, le problème est que ce genre d'alimentateur n'est pas précis. C'est-à-dire qu'il fournit plus d'une graine à la fois.

Cela ne correspond donc pas à ce que l'on attend pour le sélecteur de graine qui doit amener les graines une par une dans le canon.

3.2 Dispositif de dosage de précision des graines

Il existe notamment un sélecteur de graines qui correspond d'avantage à nos besoins. Il s'agit du dispositif de dosage de précision des graines dont on peut retrouver un exemple sur la figure 3.2 [8].



FIGURE 3.2 – Exemple de dispositif de dosage de précision des graines

Dans l'article [9], nous avons un comparatif entre différents dispositifs de précision existants. Celui-ci détaille de manière assez complète les avantages et les inconvénients de chacun de ces dispositifs.

Cependant, à l'heure actuelle, nous ne sommes pas encore en mesure de savoir lequel nous devons choisir, s'il est préférable d'en concevoir un nous même ou non car nous ne disposons pas encore d'assez de connaissance sur la cadence de tir du canon ni sur la vitesse de déplacement du drone.

Pour autant, nous pouvons déjà écarter certains types tel que le système pneumatique car trop complexe.

De plus, les systèmes à plaque ou à brosse peuvent être envisagés car plus simple et moins onéreux.

4 Électronique embarqué

Après avoir conçu le canon et le système de lancement, il reste comment gérer ce système en temps réel. Et donc, la solution universelle pour ce genre de système est le rajout d'une carte électronique qui contrôle par exemple le temps et la position de lancement des graines.

4.1 Bus de communication

Pendant la mission du drone, le système de lancement est obligé de communiquer avec le contrôleur de vol par exemple pour obtenir des informations sur la position du drone et sa trajectoire. Pour cela, il faut utiliser un protocole de communication adapté à l'aviation (protection des données, nombre de bits transférés par seconde...)

Il existe plusieurs bus de communication :

- SPI ;
- I2C ;
- UART.

Or, le bus de communication le plus adapté à ce genre de système et le bus CAN¹ qui est un protocole de communication série qui prend efficacement en charge le contrôle distribué en temps réel avec un très haut niveau de sécurité.

4.2 Micro-contrôleur/carte à choisir

Avant de chercher la meilleure carte/ micro-contrôleur à utiliser pour ce système, il faut d'abord connaître les différentes actions réalisés par le canon et le système de lancement et les contraintes imposées par le matériel :

- lire la sortie des capteurs ;
- ne pas dépasser la tension d'alimentation du drone ;
- gestion de la sélection des graines ;
- temps de traitement des informations faibles.

Micro-contrôleur PIC18F458 [10] :

- avantages : temps de traitement faible, protocole de communication CAN intégré ;
- inconvénients : prix élevé, nécessite une fabrication d'une carte adaptée.

Carte arduino uno :

- avantages : temps de traitement faible, pas cher et facile à trouver ;
- inconvénients : nécessite le rajout d'un contrôleur CAN.

1. Controller Area Network

Pour le bon déroulement du projet (gestion de budget et du temps), le mieux est de travailler sur une carte arduino uno [11] représentée dans la figure 4.1 :

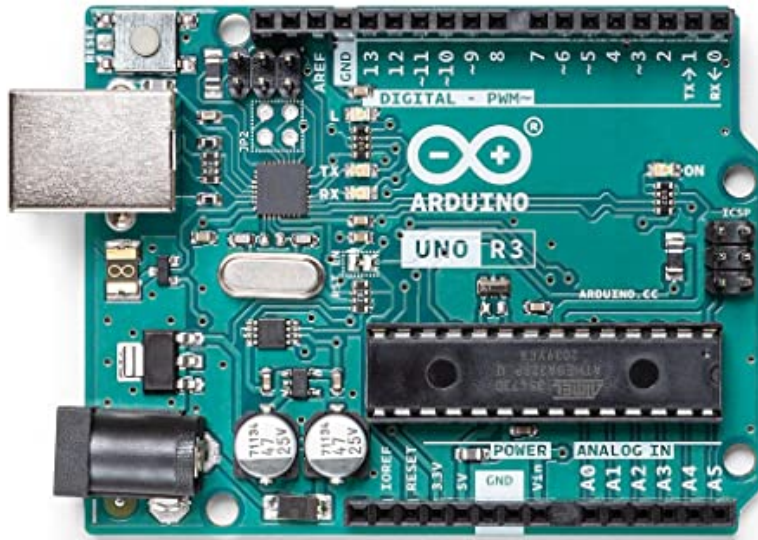


FIGURE 4.1 – Carte arduino Uno

5 Normes et sécurité

5.1 Normes générales

La législation française concernant l'utilisation de drones est extrêmement précise et complexe. Ces règles sont établies par la DGAC¹ et dépendent de la catégorie du drone utilisé. Les normes concernent le survol de gens, la formation et la qualification des télé-pilotes, la protection de vie privée, les zones de vol autorisées et enfin l'équipement nécessaire et obligatoire pour faire voler un drone [12] (Parachute pyrotechnique, transpondeur, ...).

La figure ci-dessous montre un exemple des zones de vol autorisées, restreintes et refusées à bordeaux et à ces alentours [13]².

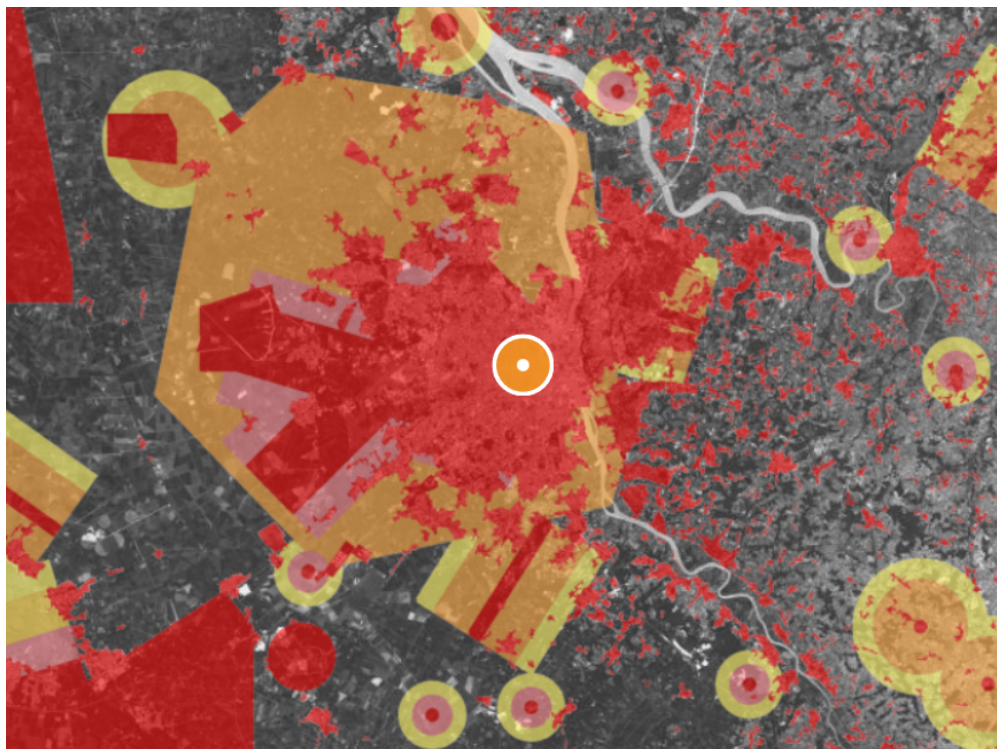


FIGURE 5.1 – Zone de vol autorisées, restreintes et interdites à bordeaux et ses alentours.

-
1. Direction Générale de l'Aviation Civile
 2. En rouge les zones strictement interdites, en rose les zones interdites au dessus de 30m, en orange foncé au dessus de 50m, en orange clair au dessus de 60m, en jaune au dessus de 100m et sans couleur au dessus de 120m

En revanche, ces règles peuvent être allégées par ce qu'on appelle l'utilisation d'un fil à la patte sur un drone ou drone filaire. En effet, selon la DGAC, cela garanti la sécurisation de l'espace aérien. En contraignant le drone par un lien physique sur un volume d'opération donné, le risque d'une échappée de l'aéronef hors de son périmètre d'opération et dans l'espace aérien est nul [14].

5.2 Sécurité

La sécurité (de l'utilisateur, de l'environnement et de toute personne dans les alentours) est un élément primordial à prendre en compte que ce soit dans la confection du mécanisme de projection des graines comme dans le vol du drone en lui-même avec ce mécanisme. Plusieurs problématiques et solutions ont ainsi été envisagées :

- La collision avec un objet durant le vol : Cette problématique est gérée par les normes prévue par la DGAC [15]. De plus, dans le cas où la collision entraînerait une chute du canon, afin d'éviter de blesser quiconque se trouvant dans la zone de chute, une mousse sera installée autour du canon permettant ainsi d'amortir l'impact.
- La détection de corps sous le drone : La détection de corps sous un drone ou de manière générale sous un aéronef est une problématique pour laquelle de nombreuses solutions ont été apportées. L'une d'entre elles consiste à intégrer une caméra thermique sur le drone [16] permettant ainsi de détecter les corps chauds afin de pouvoir éviter de tirer des graines sur un être vivant. Le principe est donc d'annuler l'ordre de tir lorsque le drone survole un corps chaud.
- L'impact sur la faune et la flore : La problématique principale concernant la faune et la flore liée au lancement de graines est le fait qu'un certain type de graine planté dans une certaine zone pourrait avoir un impact plus ou moins néfaste sur l'environnement de cette zone. En réponse à cette problématique, une étude plus poussée sur l'impact de la présence de certaines espèces d'arbres dans certaines zones sur l'environnement est menée en parallèle par un étudiant de Bordeaux Sciences Agro.

Conclusion & perspectives

Cet état de l'art avance différentes parties de la construction d'un canon à graine et son embarquement sur un drone pour faire de la reforestation. Ce document s'attarde plus particulièrement sur le mécanisme de projection des graines et sur l'impact de l'embarquement de ce système sur la stabilité du drone et sur l'électronique embarqué.

Tout d'abord en abordant les problématique liées à la sélection du système de projection nous avons traité des différents systèmes de projections existant, leurs avantages et leurs défauts et au vu de nos problématiques, nous nous sommes attardés sur la solution par air comprimé et plus particulièrement par CO₂ comprimé.

Une fois que le mécanisme de projection a été mis en place, un deuxième aspect important du mécanisme est l'équilibre et la stabilité du drone. Nous en avons conclu que le centre de gravité devait être placé au centre du drone, et pouvait se trouver légèrement en dessous de la matrice du drone sans pour autant déséquilibrer le drone.

Ensuite, pour la sélection des graines, nous avons vu qu'il n'était pas possible de choisir un système de l'industrie agricole car ces systèmes sont fait pour des grosses quantités. Nous avons besoin d'un dispositif de dosage de précision des graines qui permet de sélectionner les graines une à une avec un rendement proche de 1.

Après la conception du système, on a vu que le seul choix possible pour le manipuler est de rajouter une carte embarqué qui gère à la fois la sélection et la projection des graines. De plus, le fait de travailler sur un drone nous oblige à respecter les normes d'aviation et à communiquer en utilisant un bus CAN qui va être lié ensuite avec une carte arduino UNO qui sera la carte sur laquelle nous allons développer nos solutions.

Enfin, l'impact d'un tel système sur la stabilité du drone et sur la programmation de son système embarqué est un élément primordial à prendre en compte pour pouvoir atteindre l'objectif initial du projet qui est la reforestation. Une étude et des recherches plus poussées sur la mécanique du drone ainsi que sur toute la partie système embarqué nous a permis d'avoir une vision plus globale de l'évolution du drone après l'embarquement de ce système et une meilleure vision des composants à utiliser pour optimiser la conception et l'implémentation de ce mécanisme sur le drone.

En conclusion ce document définit et précise l'existant et les solutions qui existent pour résoudre des problèmes typiques à la construction d'un canon à graine et à son embarquement sur un drone pour faire de la reforestation. Les solutions avancées dans ce document permettront de résoudre des problèmes majeurs dans la construction et l'embarquement de ce système, mais ne permettront pas à elles seules d'avoir un mécanisme parfait.

Bibliographie

- [1] Elie FREDERIC. « Balistique interieure ». In : (mars 2013), p. 5-6.
- [2] Neige et ENVIRONNEMENT. *Les canons bi-fluide à mélange interne*. URL : <https://neige-et-environnement.webnode.fr/projet/quels-procedes-utilisent-les-stations-pour-produire-de-la-neige/les-canons-bi-fluides-a-melange-interne/>.
- [3] WIKI.ECE.CMU.EDU. *Paintball marker*. URL : https://wiki.ece.cmu.edu/ddl/index.php/Paintball_marker.
- [4] SEVENTHFLY.FREE. *images des principes de fonctionnement*. URL : <http://seventhfly.free.fr/pouiks.htm>.
- [5] Henry SCHEIN. « Gamme de Résines ». In : (mars 2018).
- [6] Claudio POSE et Juan GIRIBET. « Multirotor fault tolerance based on center-of-mass shifting in case of rotor failure ». In : juin 2021, p. 38-46. DOI : [10.1109/ICUAS51884.2021.9476832](https://doi.org/10.1109/ICUAS51884.2021.9476832).
- [7] Pierre-Jean BRISTEAU et al. « The Role of Propeller Aerodynamics in the Model of a Quadrotor UAV ». In : *2009 European Control Conference, ECC 2009* (août 2009), p. 683-688.
- [8] KINZE. *Kinze True Rate™ Vacuum Meter*. URL : <https://www.kinze.com/which-seed-meter-is-right-for-you/>.
- [9] Noureldin SHARABY et al. « A comparative analysis of precision seed planters ». In : *E3S Web of Conferences* 135 (jan. 2019), p. 01080. DOI : [10.1051/e3sconf/201913501080](https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913501080).
- [10] CHARLES LERY. « Mise ne oeuvre d'une communication par bus CAN ». In : (2009), p. 9-10.
- [11] Erico Pinheiro FORTES. « Seed Plant Drone for Reforestation ». In : (2017).
- [12] DGAC. *Exploitation de drone en catégorie ouverte*. URL : <https://www.ecologie.gouv.fr/exploitation-drones-en-categorie-ouverte>.
- [13] GEOPORTAIL. *Carte des restrictions UAS*. URL : <https://www.geoportail.gouv.fr/donnees/restrictions-uas-categorie-ouverte-et-aeromodelisme>.
- [14] ELISTAIR. *Drone captif ou filaire, qu'en dis la legislation*. URL : <https://elistair.com/news/tethered-drones-applications/general-information/drone-captif-legislation-francaise/>.
- [15] DGAC. « Drones et espaces aérien ». In : (), p. 5-6. URL : https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Synh%5C%C3%5C%A8se_Sympo_2019_DSAC.pdf.

- [16] ABOT. *Inspection par drone*. URL : <https://www.abot.fr/page/inspection-17>.