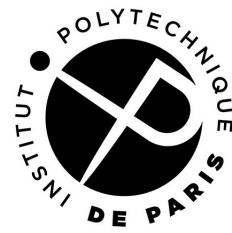




ENSTA



**INSTITUT
POLYTECHNIQUE
DE PARIS**

Spectacle dronautique

Réalisé par :

OKABAYASHI Aimi
POTEL Pierre
RAMAMBASON Jeanne
LAMPE Quentin
PRISER Victor
LOMBARD Agathe
BENNATAN Adrien
FREON Dimitri
Encadré par :
Franck TARUFFI
Pascal FERRET

2^{ème} Année

Année universitaire : 2020/2021

Table des matières

1	Enjeux et objectif du projets	2
2	Périmètre du projet	2
3	Gestion du projet	3
3.1	Répartitions des rôles	3
3.2	Planification	6
3.3	Matrice SWOT	6
3.4	Budget	7
3.5	Gestion des risques	9
3.6	Parties prenantes	11
4	Livrables du projet	12
4.1	Livrables matériels	12
4.2	Livrables documentaires	13
5	Conclusion et ouverture pour les années suivantes	16
5.1	Conclusion	16
5.2	Ouverture pour les années suivantes	16
6	Annexe A : Diagramme de Gantt initial	17
7	Annexe B : Diagramme de Gantt final	18
8	Annexe C : Tableau récapitulatif des risques	19

1 Enjeux et objectif du projets

L'objectif de ce projet est de réaliser un spectacle dans lequel un essaim de drones lumineux se coordonnent pour réaliser des formes dans l'espace aérien. Il a pour but de développer à une échelle réduite une performance similaire aux spectacles de type "drone display" qui s'apparentent à des feux d'artifice mettant en scène des drones en plein air.

L'enjeu de la réalisation de ce spectacle miniature est de pouvoir mettre en place à coûts réduits et de manière plus simple ce genre de performance visuelle. En effet, dans la plupart des spectacles de type "drone display" un très grand nombre de drones sont mis en coopération pour effectuer un ballet au dessus de grandes villes. Ainsi la réalisation de ce genre de spectacle demande un investissement financier conséquent et doit se faire en coopération avec les maires et municipalités. L'avantage du spectacle miniature conçu dans ce PIE est qu'il peut être installé en intérieur, comme par exemple dans un hall d'aéroport ou dans une galerie de centre commercial, pour distraire les visiteurs de ces espaces.



FIGURE 1: Drones rappelant aux citoyens de Séoul, en Corée du Sud, de porter des masques.
Photo : Ministry of Land, Infrastructure and Transport

2 Périmètre du projet

Initialement, nous avions décidé de piloter un essaim de 8 micro-drones (DJI Tello ou Crazyflie) dans un volume d'environ $4*4*2,5$ m couvert par le système Optitrack de l'U2IS (composé de caméras Prime 13W) qui sera chargé d'acquérir leurs positions respectives. Ces drones seront contrôlés par un poste central qui communiquera aux drones la trajectoire qu'ils devront suivre en fonction de la position et de la vitesse de chacun des drones.

Contrairement aux drones Crazyflie qui peuvent être commandés en essaim, les drones DJI Tello nécessitent d'être connectés individuellement, ce qui nécessite donc une clé wifi pour chaque drone. De plus, les drones Crazyflie permettent de connecter une ou plusieurs leds directement

au circuit qui n'est pas recouvert. Les drones Crazyflie nous ont donc semblé être la meilleure solution, et pour des raisons budgétaires, nous pilotons un essaim de 7 drones.

Notre objectif est donc de pouvoir faire voler 7 drones Crazyflie simultanément et de manière coordonnée au sein d'un volume couvert par le système Optitrack, en leur envoyant des instructions de vols et d'allumage des leds directement depuis un poste central.

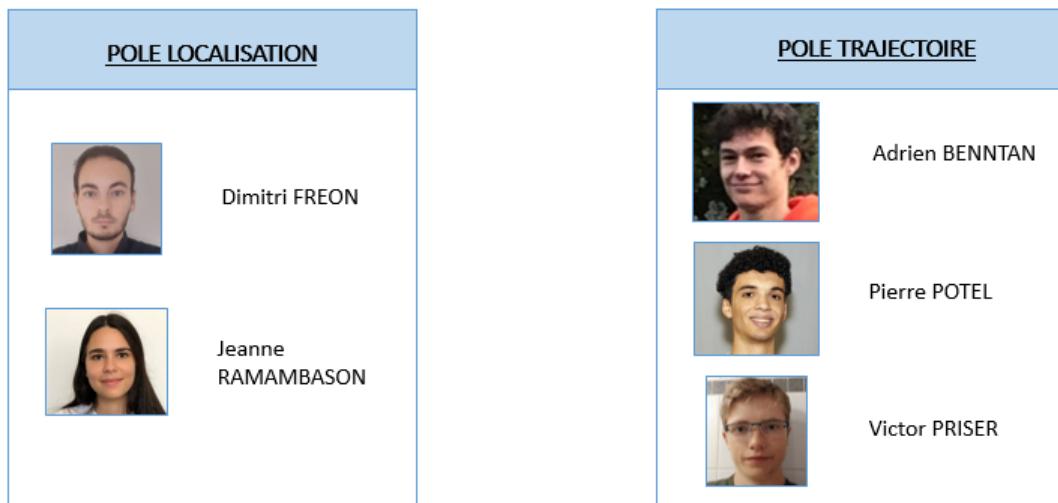
3 Gestions du projet

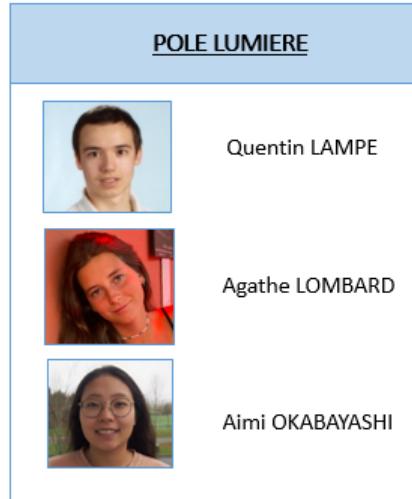
3.1 Répartitions des rôles

La répartition des rôles a été réaménagée pour faire face aux problèmes rencontrés et au départ d'un des membres de notre équipe.

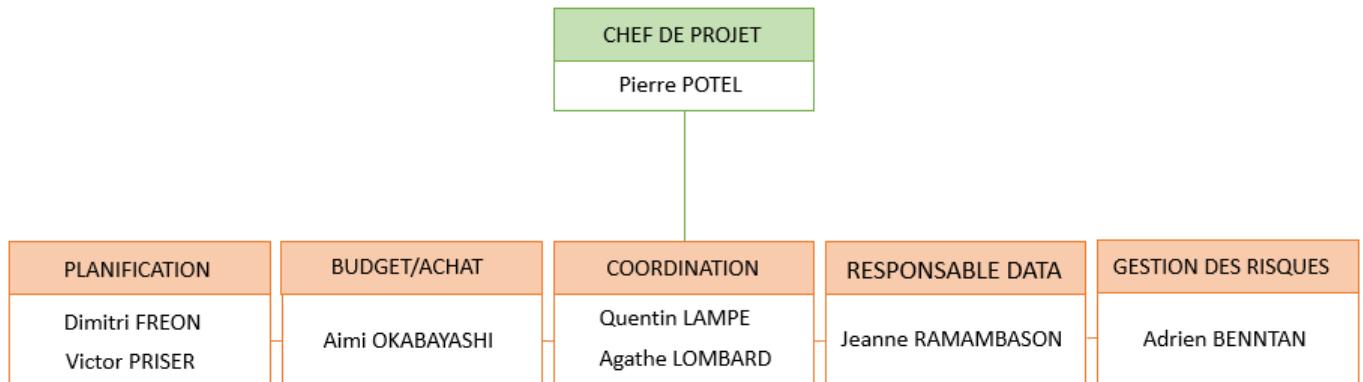
Initialement, nous avions défini 3 grands pôles dans le département conception : le pôle Localisation, le pôle Trajectoire et le pôle Lumière. Nous avons également défini des responsables dans chaque pôle afin de garantir la coordination entre les différents pôles : Jeanne Ramambason pour la Localisation, Pierre Potel pour la Trajectoire, et Aimi Okabayashi pour la Lumière. Chaque membre de l'équipe était réparti dans un de ces grands pôles et avait également un rôle dans la gestion de projet (cf diagrammes ci-dessous).

(i) Département conception initial :



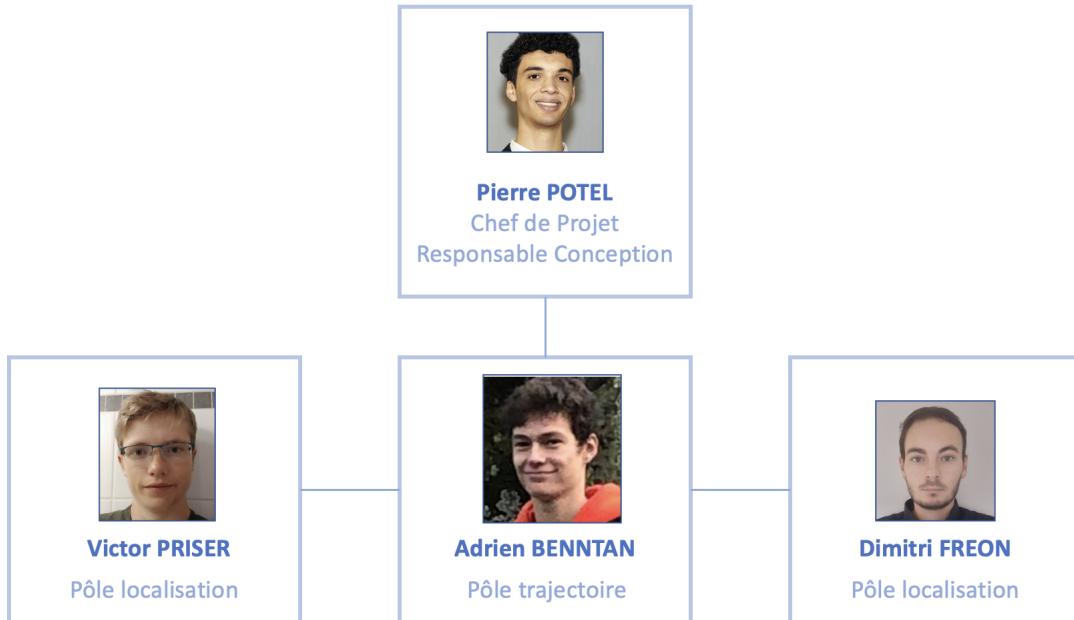


(ii) Département gestion de projet initial :

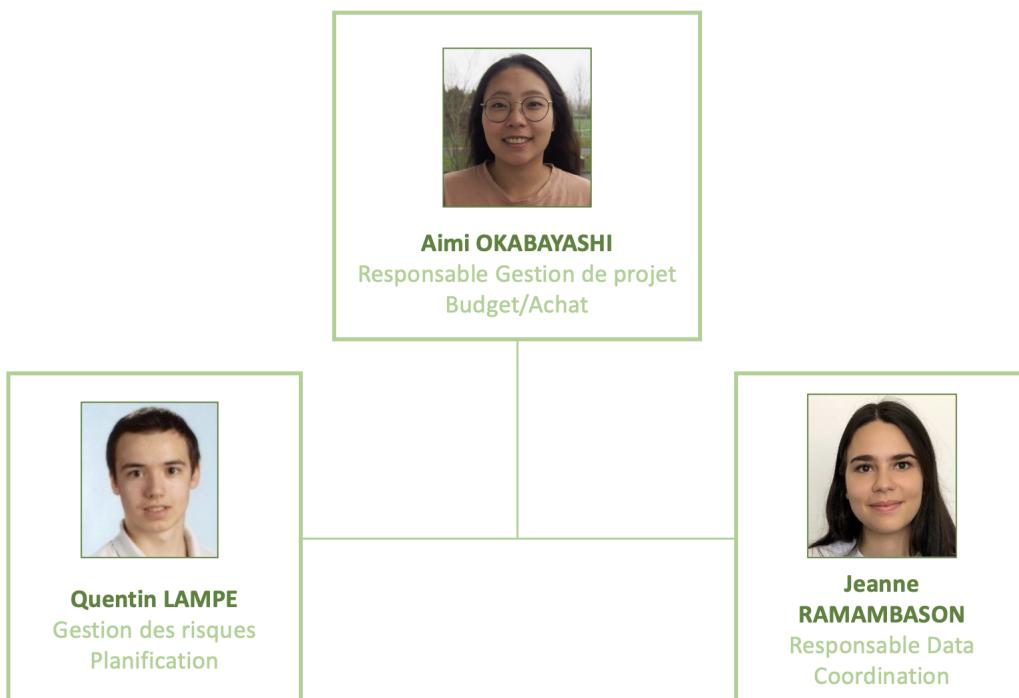


Cependant, après avoir récupéré les drones Crazyflies de l'U2IS, nous sommes rendu compte que la définition initiale des rôles rendait la répartition du travail inégale. En effet, le pôle lumière n'avait plus lieu d'être car nous avions déjà fait le choix des LED à souder sur les drones. De plus, les pôles Localisation et Trajectoire avaient en fait le même travail : analyser, comprendre et modifier un code "type" afin de faire voler les drones. Nous avons donc dû restructurer. Nous avons divisé l'équipe en deux grands pôles : un pôle conception avec Pierre Potel comme responsable et un pôle gestion de projet avec Ami Okabayashi comme responsable. Cette répartition a été choisie car nous sommes rendu compte que le travail de compréhension et de prise en main du logiciel pour les drones était long et fastidieux mais ne demandait pas que toute l'équipe travaille dessus. Ainsi, avec cette répartition, nous avons pu avancer dans la compréhension de l'utilisation des drones ainsi que sur le rapport et la documentation.

(iii) Département conception final :



(iv) Département gestion de projet final :



3.2 Planification

Le diagramme de Gantt initial (Annexe A) a été établi lors des premières semaines dédiées au projet, début décembre. Nous avons pris du retard sur plusieurs aspects suite à des imprévus.

Premièrement, nous avons pris du retard sur les commandes de matériel car la commande a été bloquée au pôle achat de l'ENSTA. Nous n'avions pas anticipé ce retard et donc cela a entraîné un retard sur les tests de drones. Nous n'avons pas pu effectuer tous les tests espérés avec les drones Tello avant la fin Janvier. En effet, nous avons besoin de clefs wifi pour pouvoir connecter les drones DJI Tello en réseau mais la commande de ces clefs wifi a été retardée.

Fin janvier, nous avons eu accès à de nouveaux drones, Crazyflie 2.0, empruntés au laboratoire Drahi-X à l'Ecole Polytechnique. Après plusieurs recherches et comparaisons des drones DJI Tello et Crazyflie 2.0, nous avons décidé de continuer notre projet avec les drones Crazyflie 2.0. En effet les drones DJI Tello ne peuvent pas nativement se connecter en essaim, contrairement aux crazyflies 2.0. De plus le fait que le code source des crazyflies soit open source nous permet de modifier son fonctionnement au gré de nos besoins du projet et ces avantages compensent largement les inconvénients des crazyflies (charge utile plus faible, moins d'autonomie). Ainsi nous avons donc opté de réaliser ce projet sur l'architecture crazyflie. Ce changement de direction n'est donc pas visible sur le diagramme de Gantt initial car nous n'avions pas anticipé cette possibilité.

Nous avons ensuite rencontré de nouveaux problèmes qui ont entraîné des retards dans notre projet. En effet, nous n'avons pas réussi à communiquer avec le dispositif Optitrack de l'U2IS qui permet de récupérer en temps réel la position des drones malgré l'aide de Thibault Toralba, ingénieur à l'U2IS, et nos questions posées aux développeurs de crazyswarm sur un [forum](#) en ligne.

Finalement nous n'avons jamais reçu nos drones commandés car un des deux colis a été perdu lors du transport et l'autre n'est pas arrivé à temps pour la fin du PIE.

Ainsi, nous n'avons pas eu le temps de tester les trajectoires que nous avions simulées et ainsi, nous n'avons pas réussi à faire voler notre essaim de drones comme espéré. Tous ces changements sont visibles sur le diagramme de Gantt final (annexe B).

3.3 Matrice SWOT

Nous avions déjà produit une version initiale de la matrice SWOT dans le rapport initial. Nous proposons ici notre version finale. Les points qui sont en couleur sont les nouveaux facteurs positifs/négatifs qui sont apparus au cours du projet alors que les lignes barres représentent les facteurs positifs/négatifs qui ont mal été évalués initialement.

Nous avons donc réalisé un second diagramme de Gantt en février afin de prendre en compte ces modifications (annexe B).

Forces internes : La diversité des filières n'a finalement pas été une force car les connaissances spécifiques acquises dans chaque filière n'ont été daucune utilité. Cependant, comme anticipé, Pascal Ferret s'est révélé être une aide précieuse pour la gestion de notre projet et les locaux

	Facteurs Positifs	Facteurs Négatifs
Diagnostic Interne	FORCES	FAIBLESSES
	<ul style="list-style-type: none"> Définitives filières (STIC, maths appr...mée) ; Aide pour la gestion de projet (Pascal Ferret) ; Accès aux locaux de l'U2IS (permet de faire des expériences) ; 	<ul style="list-style-type: none"> Pas d'expert technique qui nous aide sur le projet, pas d'expérience en gestion de projet ; Budget limité ; Temps limité ; matériel fourni non adapté pour la réalisation finale (il faut le modifier) ;
Diagnostic Externe	OPPORTUNITÉS	MENACES
	<ul style="list-style-type: none"> Une autre équipe qui fait le même projet ; Des chercheurs sont disponibles pour d'éventuelles questions (Thibault Toralba) ; Des projets similaires déjà réalisés ; 	<ul style="list-style-type: none"> crise covid (augmentation des délais de livraison, difficulté de faire des réunions en présentiel, ...); Locaux de l'U2IS souvent occupés par d'autres groupes ; Peu de documentations sur les logiciels à utiliser ;

FIGURE 2: Matrice SWOT

de l'U2IS qui disposent d'un enclos équipé de caméras infrarouges étaient indispensables à la bonne réalisation du projet.

Faiblesses internes : Le fait de ne pas avoir d'expert technique qui nous soutienne lors de la réalisation a été un manque cruel. Car sans lui, on a perdu beaucoup de temps lors de l'utilisation/l'installation de logiciels qui nous étaient inconnus auparavant. Le manque d'expérience en gestion de projet n'a finalement pas été problématique car le soutien de Pascal Ferret a suffi à combler ce manque. Le budget limité nous a empêché d'avoir des drones plus performant et en nombre suffisant. Et le temps limité nous a gêné car nos commandes ont tardé à arriver.

Opportunités externes : L'opportunité d'avoir une autre équipe qui effectue le même projet s'est révélée être un avantage car on a pu gagner du temps en se répartissant le travail. De plus Thibault Toralba, un chercheur de l'U2IS a pu nous proposer son aide pour qu'on puisse se connecter aux caméras de l'U2IS. Pour terminer, le fait de pouvoir accéder au projet open source d'une équipe de chercheurs californiens nous a permis de partir directement dans la bonne direction.

Menaces externes : La crise sanitaire à comme prévu été une menace car les délais de livraison ont été importants et ont donc entravé l'avancement du projet. De plus, comme d'autres équipes utilisaient les locaux de l'U2IS, il était difficile de se partager la salle tout en respectant les distances sanitaires requises. Pour finir, une grosse menace à la réalisation du projet non anticipée a été le manque de documentation pour l'installation des logiciels nécessaires, ce qui nous a fait peur beaucoup de temps.

3.4 Budget

Dans le cadre de ce projet, nous avons décidé d'exploiter deux solutions possibles, dépendant du matériel qui nous est mis à disposition. En effet, nous avons contacté l'U2IS en octobre pour avoir une idée du matériel à notre disposition. Suite à cette discussion nous avons récupéré des AR Drones, et des DJI Tello. Nous avons décidé de ne pas utiliser les AR Drones car nous

n'avons pas trouvé de solution pour déterminer la position des drones. Les DJI Tello, quant à eux, ne disposaient pas non plus d'un système pour obtenir leur position, mais nous avons pensé à utiliser des clés wifi pour remédier à ce problème.

Dans un second temps, nous avons eu echo de la possibilité d'emprunter des drones Crazyflie 2.0 au laboratoire Drahi-X de l'Ecole Polytechnique. Cependant ces derniers ont fini par ne pas donner suite à cette demande, ce qui nous a retardé dans l'établissement du budget final. L'U2IS a finalement pu nous prêter 3 drones Crazyflie 2.0, quantité qui nous semblait trop faible. Nous avons donc choisi de mettre en commun le budget avec l'autre équipe (l'équipe 2), et de commander chacun un crazyflie 2.1 et 2 clés wifi. Ainsi, nous aurions eu à notre disposition 5 drones Crazyflie, et des clés wifi en option de secours. En outre Frank Taruffi a décidé de relancer une commande de 2 crazyflies avec le budget restant du PIE pour augmenter la taille de notre flotte.

Objet	Quantité	Prix unitaire HTT	Prix unitaire TTC en €	Prix TTC	référence
clé wifi	2		9	9	18 https://www.electrocompagny.com
Crazyflie 2.1	1	161,36		201,7	201,7 https://www.electrocompagny.com
					Coût total TTC
					219,7
					avec frais de port
					223,33

FIGURE 3: Budget pour commande 1

Enfin, après avoir choisi de travailler avec les drones Crazyflies, nous avons décidé de commander des LEDs ainsi que des résistances afin de les souder sur les drones. Nous avions au préalable demandé à l'U2IS si nous pouvions utiliser leurs LEDs et résistances mais ces derniers ne nous ont pas répondu. Nous avons donc décidé d'acheter nous-mêmes ces LEDs et résistances. Les drones étaient déjà équipés de LEDs mais elles n'étaient pas contrôlables (elles servaient simplement à indiquer l'état actuel du drone) et ne se trouvaient pas au centre des drones. Cependant cette commande n'est aussi jamais arrivé et Frank Taruffi nous a indiqué un endroit de l'U2IS où se trouvaient des LEDs et résistances dont nous avions besoin.

Objet	Quantité	Prix unitaire TTC	Prix TTC	référence
résistances	1	3,6	3,6	https://www.amazon.fr
Leds (lot de 10)	1	9,99	9,99	https://www.amazon.fr
				Coût total TTC
				13,59

FIGURE 4: Budget pour commande 2

3.5 Gestion des risques

Objectifs :

Nous avions initialement défini les objectifs du projet et une description des livrables qui constituent un succès ou un échec.

Il est difficile de dire dans quelle position nous nous trouvons à l'issue, puisque nous avons produit un résultat "Excellent" en simulation mais sans réussir à l'appliquer en réel à cause des problèmes d'installation, de configuration et de communication avec le matériel de l'U2IS.

	Livrable	Documentation	Valorisation
Insuffisant	Une flotte de drones incapable de travailler ensemble		
Réussite acceptable	Une flotte de drones capable de dessiner une forme	Comment passer un nuage de points à l'algorithme	Être pris en photo dans l'ENSTAntané
OK	Une flotte de drones capable de dessiner plusieurs formes successives	Comment passer plusieurs nuages de points à l'algorithme	
Excellent	Une flotte de drones capable de dessiner plusieurs formes + une interface utilisateur pour planifier un spectacle	Comment utiliser l'interface utilisateur	Spectacle pour les étudiants du campus

FIGURE 5: Matrice d'objectifs

Risques :

Les risques qui peuvent mettre en péril le projet sont décrits ci-dessous dans un diagramme qui représente à la fois leur possible fréquence d'apparition et leur gravité.

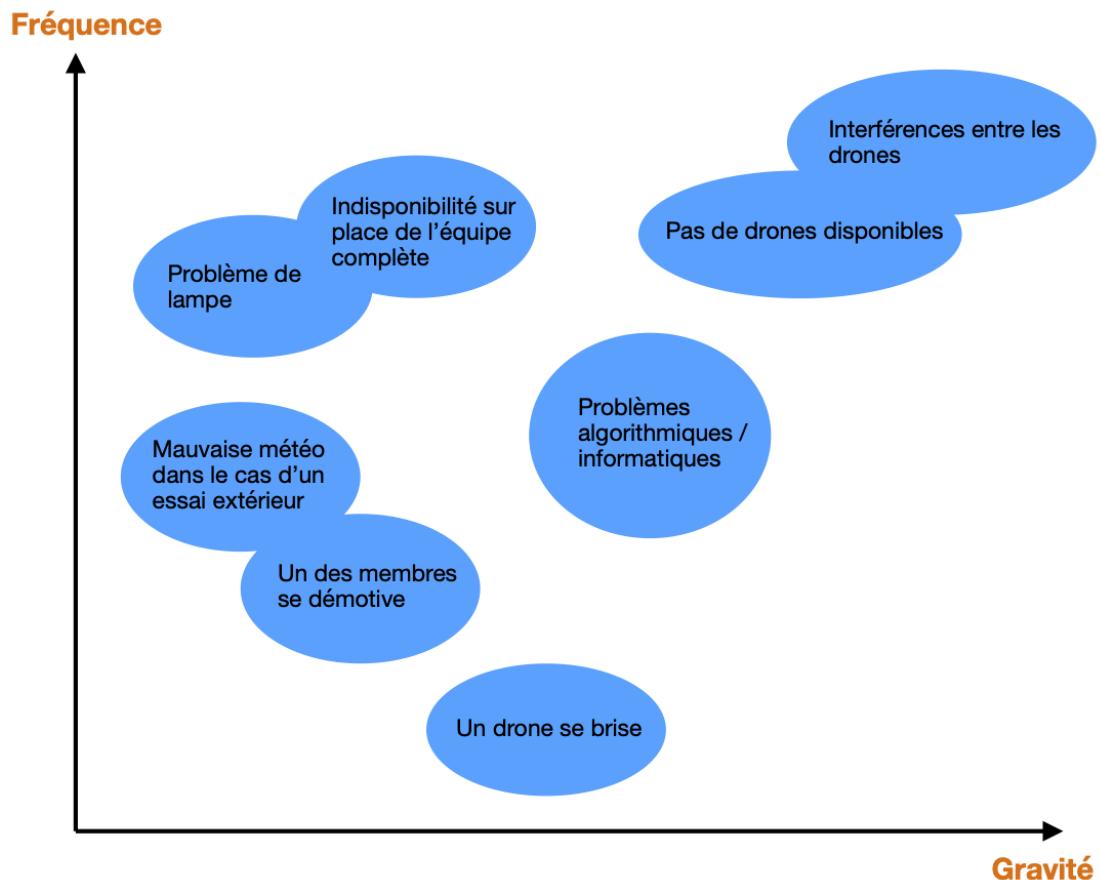


FIGURE 6: Diagramme Fréquence/Gravité

Ils sont synthétisés dans le "Tableau récapitulatif des risques" en annexe C, qui attribue la responsabilité de la gestion de chaque risque à un membre de l'équipe. Les moyens de prévention sont aussi précisés.

3.6 Parties prenantes

Par définition, une partie prenante désigne tout acteur (individu, organisation, groupe) concerné par notre projet, c'est-à-dire dont les intérêts sont affectés par sa mise en place. Initialement, nous avions comme parties prenantes :

Commanditaire :

-> L'ENSTA Paris : notre projet se déroule dans le cadre du PIE, institué par l'école.

Équipe projet :

-> Équipe projet 1

Superviseur :

-> Franck Taruffi

Expert en gestion de projet :

-> Pascal Ferret

Conseils externes :

-> U2Is : L'Unité d'Informatique et d'Ingénierie des Systèmes est un laboratoire regroupant les activités de recherche de l'ENSTA Paris notamment en robotique. Ils nous ont fourni les drones que nous utilisons pour le projet

-> Équipe projet 2 : Régulièrement, nous communiquons de notre avancée et de nos choix avec l'équipe 2, afin de s'entraider et de se mettre d'accord sur les dépenses avec notre budget mis en commun.

Fournisseurs :

-> Drones : U2IS

Mais suites aux décisions que nous avons prises, certaines parties prenantes ont changé notamment au niveau des fournisseurs puisque l'U2IS n'a pu nous fournir que 3 drones Crazyflie, et que nous avons du en commander 4. Au final, nous avons comme parties prenantes :

Commanditaire :

-> L'ENSTA Paris

Équipe projet :

-> Équipe projet 1

Superviseur :

-> Franck Taruffi

Expert gestion de projet :

-> Pascal Ferret

Conseils externes :

-> U2IS

-> Équipe projet 2

Fournisseurs :

-> U2IS : 3 drones Crazyflie

-> Smartflyer : commande de 4 drones Crazyflie

- > SPC-Boutique : commande de résistance 330 Ohms
- > GTIWUNG : commande de leds

4 Livrables du projet

4.1 Livrables matériels

Code pour simuler de la trajectoire d'un essaim de drones :

Le logiciel Crazyswarm (licence MIT) qui synchronise les drones est bas niveau et est codé en C++. Il utilise ROS, un ensemble d'outils standards pour communiquer aux robots. Crazyswarm met en place une API Python qui permet de communiquer facilement et de façon plus abstraite avec l'essaim, et que nous utiliserons. Utilisé avec un système de localisation, il évite aussi les chocs entre drones. De plus, Crazyswarm permet une utilisation en simulation (déroulé du spectacle représenté graphiquement), en garantissant que si la simulation est concluante alors le vol réel le sera aussi.

Nous nous sommes dans un premier temps documentés sur cette API Python, et avons effectué différents vols en simulation à partir de scripts écrits par l'équipe.

Crazyswarm permet notamment de prendre des trajectoires en entrée et de les distribuer de façon synchrone aux drones en vol ; c'est sur cette partie que nous nous sommes concentrés.

Notre travail a donc été de comprendre comment ces trajectoires étaient lues par Crazyswarm et de produire une interface utilisateur facile d'utilisation permettant de créer une trajectoire. Il s'agissait ensuite de charger ces trajectoires pour le vol. L'utilisateur n'est à aucun moment confronté à la complexité de la représentation des trajectoires et se contente de placer des points à l'aide de sa souris où il souhaite que sa trajectoire passe.

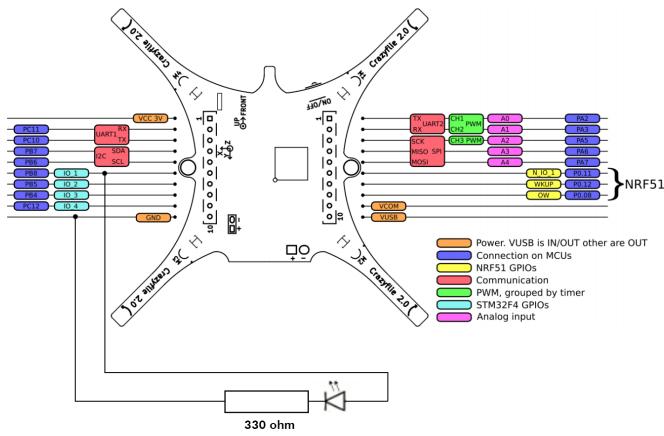
Ces trajectoires sont ainsi générées par un programme Python codé par nos soins dans un fichier Comma-Separated Values (.csv). Un document détaillé sur la génération de ces trajectoires et l'utilisation du programme est dans la partie "4.2 Livrables documentaires".

L'implémentation du logiciel Crazyswarm dans notre projet en simulation a donc été un succès puisque l'on dispose d'une interface utilisateur facile d'utilisation qui permet de générer n'importe quelle trajectoire. Un script Python pour effectuer le vol avec cette trajectoire est également généré à chaque fois. Crazyswarm garantit ensuite que ces trajectoires seront réalisées sans chocs entre les drones.

Code pour le logiciel de localisation des drones :

Pour localiser les drones, nous utilisons des caméras infrarouges de l'U2IS. Ainsi, les drones doivent être munis de marqueurs qui réfléchissent les infrarouges. Les caméras communiquent directement avec un PC de l'U2IS. Il faut donc configurer les caméras à l'aide de ce PC en utilisant *Motive*. Ensuite le but est de streamer les données des caméras sur le réseau de l'U2IS à l'aide du PC équipé de *Motive*. On peut donc normalement récupérer les données des caméras (donc les positions des drones) en connectant un de nos PC au réseau de l'U2IS et en utilisant *Optitrack*. (L'installation de *Optitrack* est détaillée dans la documentation technique).

Code pour allumer les leds :



La LED de chaque drone est connecté à sa sortie numérique n°1 (IO1) et est mise en série avec une résistance pour la protéger. Ainsi le code tf.c permet de choisir d'allumer ou éteindre la led à l'aide de la variable tf (ici initialisée à 1 et qui reste inchangée, ce qui signifie que la led reste toujours allumée). Il serait judicieux d'ajouter une colonne au fichier .csv qui contrôlerait l'état de cette variable tf, ce qui permettrait de choisir les moments où la led est allumé ou éteinte pour chacun des drones durant le spectacle.

4.2 Livrables documentaires

Un document technique détaillé sur le choix des technologies, l'installation et la configuration des software est donné en parallèle de ce compte rendu.

Un document technique sur l'explication détaillé du logiciel Crazyswarm pour les trajectoires :

Trajectoires crazyswarm

Les trajectoires de Crazyswarm sont représentées par des polynômes définis par morceaux de degré 7, dans chacune des 3 directions ainsi que pour le "yaw" (lacet). La trajectoire complète est découpée en plusieurs étapes et on utilise exactement un polynôme par étape. Dans la suite, on ne se soucie pas du yaw (tous les coefficient sont mis à 0).

Constructeur de trajectoires

Il s'agit d'un programme python qui utilise les modules d'interpolation de **scipy**, et se lance avec la commande `python3 traj.py` :

- on choisit les points par lesquels on veut que la trajectoire passe un à un sur un graphe 2D; après chaque clic, on doit spécifier la hauteur du point. Une fois la trajectoire construite, on valide en quittant la fenêtre popup.
- un fichier `trajectoire.csv` est généré.
- un fichier `trajectoire.py` qui charge déjà la trajectoire avec **crazyswarm** est généré afin de la tester facilement.

Les premier et dernier points de la trajectoire sont toujours (0,0,0).

Note: Chaque ligne du fichier `trajectoire.csv` représente un polynôme et donc une trajectoire. Toutes ces trajectoires durent un même temps T (3s par défaut).

Charger la trajectoire avec crazyswarm

Dans le script **crazyswarm**, il est possible d'allouer une trajectoire à un ou plusieurs drones en même temps. Pour cela, il est nécessaire de configurer les positions de départ de chaque drone, ce qui translate la trajectoire calculée, de sorte que tous les drones soient synchronisés à partir de leur point de départ.

Il faut donc modifier le fichier `ros_ws/src/crazyswarm/launch/crazyflies.yaml` de façon à initialiser les positions des différents drones.

Note: La documentation plus précise (mais parfois lacunaire) de crazyswarm peut être trouvée ici: <https://crazyswarm.readthedocs.io/en/latest/>

Ensuite, la forme d'un script **crazyswarm** est la suivante:

```
swarm = Crazyswarm()
trajectory = uav_trajectory.Trajectory()
trajectory.loadcsv('trajectory.csv')
```

Pour assigner à un drone ou à un groupe de drones une trajectoire:

- `single_cf = swarm.allcfs.crazyflies[0]`
`single_cf.uploadTrajectory(id,0,trajectory)`
- `cf1 = swarm.allcfs.crazyflies[0]`
`cf2 = swarm.allcfs.crazyflies[1]`
`cf1.uploadTrajectory(id,0,trajectory)`
`cf2.uploadTrajectory(id,0,trajectory)`
`cf1.setGroupMask(1)`
`cf2.setGroupMask(1)`

Enfin:

- `cf1.startTrajectory(id)`
- `swarm.allcfs.startTrajectory(id, groupMask=1)`

Note: il est nécessaire de faire suivre chaque lancement de trajectoire par un `swarm.timeHelper.sleep(T_trajectory)` pour que le script attende la fin des trajectoires avant de continuer.

Lancer le vol (simulation & réel)

En supposant que le script **crazyswarm** ait été enregistré dans `script.py`:

- `python3 script.py --sim` pour la simulation
- `python3 script.py` pour un vol réel

Note: La documentation **crazyswarm** assure que si un vol est fructueux en simulation, alors il le sera aussi en réel.

5 Conclusion et ouverture pour les années suivantes

5.1 Conclusion

Ce projet nous a permis de nous rendre compte de l'importance des étapes de planification et de délimitation lors de l'élaboration d'un projet. Nous nous avons été soumis à des imprévus qui ont entraîné des retards dans la progression du projet. La bonne planification et la définition du cahier des charges nous a permis de nous restructuré en conséquences afin de d'aboutir à un projet le plus développé possible en temps imparti. Malheureusement, les retards pris dans la prise en main des logiciels pour faire voler les drones en essaim nous ont empêché de mener le projet à bien. Cela nous a fait prendre conscience de la complexité de notre projet. Ce projet s'avère donc un projet à construire sur plusieurs années.

5.2 Ouverture pour les années suivantes

Ce projet est donc déjà bien avancé : la documentation technique est faite. Le but de la prochaine équipe est donc de faire voler l'essaim de drone à partir des documents techniques fournies. Les premiers mois du projet pourront donc être dédié à la compréhension et au bon fonctionnement des logiciels ce qui permettra sûrement d'aboutir à un spectacle lumineux dronautique de 8 micro-drones à la fin de l'année suivante.

Dans les années qui suivent, le nombre de drones pourrait augmenter pour rendre le spectacle plus impressionnant et se rapprocher plus du but initial du projet.

6 Annexe A : Diagramme de Gantt initial

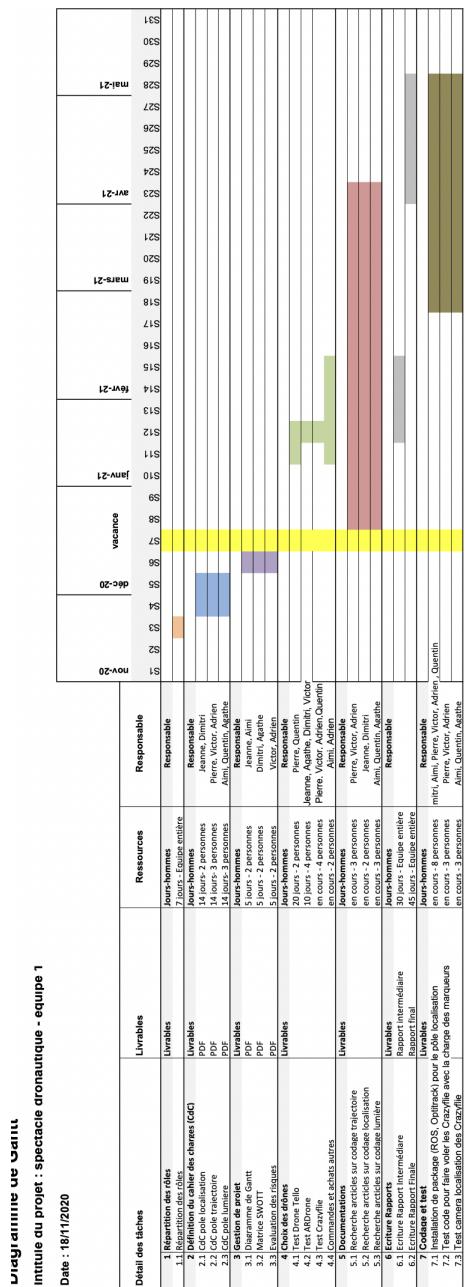


FIGURE 7: Diagramme de Gantt initial

7 Annexe B : Diagramme de Gantt final

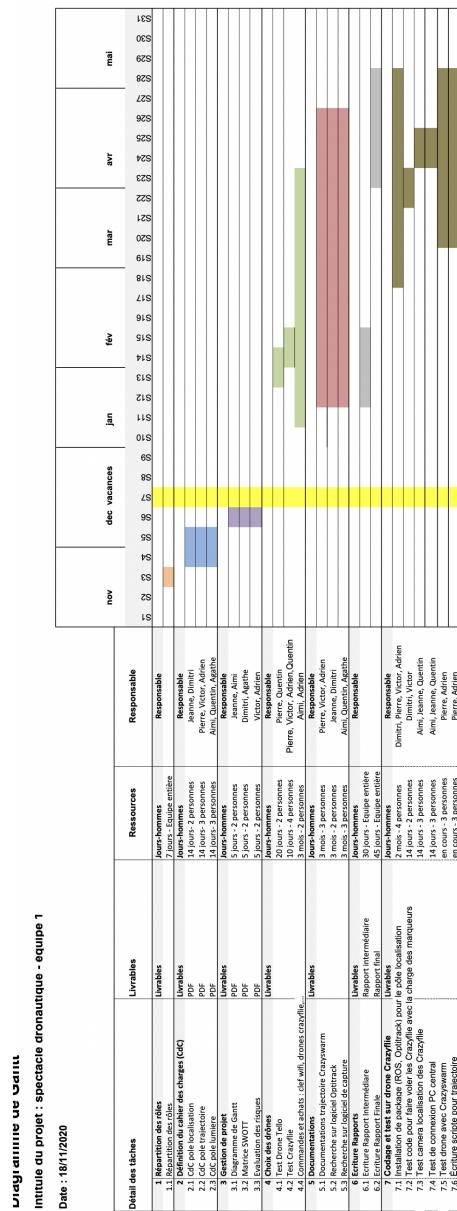


FIGURE 8: Diagramme de Gantt final

8 Annexe C : Tableau récapitulatif des risques

Description	Gravité 1-4	Fréquence 1-4	Criticité	Resp.	Prévention
Interférences entre les drones	4	3	12	Dimitri PIREON	Établir un règlement pour les normes de communication entre drones possibles
Indisponibilité des drones	4	2	8	Pierre POTEL	Bien communiquer avec les différents fournisseurs
Problèmes informatiques	3	2	6	Adrien BERNATAN	S'informier en amont sur les systèmes et aller au plus simple
Le projet est inutilisable pour le client	3	2	6	Jeanne RAMAMBASON	Vouler à garder une documentation claire et précise
Les 2 équipes dronautiques font deux fois le même travail	2	3	6	Pierre POTEL	Mettre régulièrement en commun les résultats et questionnements
Problèmes algorithmiques	2,5	2	5	Victor PRISER	Relecturer du code par tous les auteurs du projet / traçabilité
Indisponibilité de l'équipe complète sur place due à la crise sanitaire	1,5	3	4,5	Jeanne RAMAMBASON	Prévoir longtemps à l'avance et faire évoluer les stratégies de travail en fonction de la situation possible amélioration de la situation
Météo peu clémence	1,5	2	3	Aimi OKABAYASHI	Étudier à l'avance la météo à venir
Problème de temps	1	2,5	2,5	Quentin LANPE	Donner une grande importance à la robustesse lors du choc des temps
Un des membres se démettre	1,5	1,5	2,25	Agathe LOMBARD	Lâcher de façon équilibrée le travail
Un drone se brise	2	1	2	Quentin LANPE	Bien choisir l'environnement de tests

FIGURE 9: Tableau récapitulatif des risques