



Co-funded by
the European Union

MODULE 05

PROGRAMME DE FORMATION

PRATIQUE DU VOL



Dirección General de Formación
CONSEJERÍA DE ECONOMÍA,
HACIENDA Y EMPLEO



BZB

Bildungszentren des
Baugewerbes e.V.





Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

Table des matieres

1. Objectifs du module	5
2. Préparation du vol	6
3. Précautions générales	7
3.1 Zone d'apprentissage	7
3.2 Paramètres de vol	8
3.3 Exemple de zone d'évolution sécurisée pour les drones	9
4. Exercices de base : comprendre le contrôleur	11
4.1 Affichage du contrôleur	11
4.2 Vol unidirectionnel	12
4.3 Vol combiné	15
Manette de droite	15
Manette de gauche	15
Cercle avec les deux manettes	16
Pente avec les deux manettes	16
Deux manettes pour faire une spirale "comme un avion"	17
5. Contrôle des vols : réaliser un circuit	18
5.1 Exercices généraux	18
En suivant les côtés :	19
Côtés et centre : faire un "8"	20
5.2 Utilisation de la caméra	21
Manœuvrer l'appareil photo seul	21
Manœuvre à 360° autour d'un point	21
Manœuvre du point d'intérêt	22
6. Vol technique : contexte du génie civil	24
6.1 Étude des façades : photogrammétrie, Lidar ou thermographie	24
Déclenchement automatique des photos :	27
6.2 Photogrammétrie de terrain ou Lidar : grille sur le terrain	28
6.3 Levé 3D de bâtiments ou de volumes : vol circulaire	29
6.4 Suivi des structures, expertise, thermographie ou lidar local	30

DRONES4VET : participants et auteurs du projet Erasmus+

Equipe du CMQE HEREC Occitanie. France:

Régis Lequeux – professeur et ingénieur en génie civil, Lycée Dhuoda, Nîmes –
coordinateur des 10 modules

Nicolas Privat - professeur et ingénieur en génie civil, Lycée Dhuoda, Nîmes

Eric Remola – professeur de génie civil, Lycée Dhuoda, Nîmes

Nicolas Vassart - professeur et docteur en génie civil, Lycée Dhuoda, Nîmes

Valerie Poplin - Directrice exécutive du CMQE

Equipe du MTU Ireland :

Sean Carroll, Maître de conférence, ingénieur en génie civil

Michal Otreba Inz, Maître de conférence, ingénieur en génie civil
coordinateurs des “Levelling & Follow-up sessions for educators”

University of Applied Sciences Kufstein Tirol, Autriche

Emanuel Stocker, Enseignant-chercheur en gestion des infrastructures et de
l'immobilier. Manuel coordinateur.

Sarah Plank, Contrôleur de la Recherche et Développement

Equipe CRN Paracuellos. (DG Formación. Comunidad de Madrid) Espagne :

José Manuel García del Cid Summers, Directeur

Daniel Sanz, directeur de Dron-Arena

Santos Vera, technicien

Jorge Gómez Sal, chef de l'unité technique

Fernando Gutierrez Justo. Erasmus coordinateur

Promoteurs du projet

Equipe BZB Düsseldorf. Allemagne :

Frank Bertelmann-Angenendt, chef de projet

Markus schilaski, chef de projet

Equipe DEX. Espagne – Gestion Erasmus+ :

Ainhoa Perez

Ignacio Gomez Arguelles

Diego Diaz Mori

Yvan Corbat

1. Objectifs du module

Ce module vous permet de prendre le contrôle du drone d'un niveau débutant à une première étape vous permettant de voler dans la sous-catégorie A2 de la catégorie ouverte où un cours de vol d'auto-formation doit être effectué.

Une zone de vol sécurisée est proposée, et tous les exercices se déroulent dans cette zone.

Les vols sont de nature purement utilitaire, en vue de prendre des photos manuelles :

- Photogrammétrie
- Expertise des constructions
- Thermographie
- Lidar

NB : Le module est écrit pour un enseignant qui explique à ses élèves, mais un élève seul peut s'exercer en suivant le module.

2. Préparation du vol

Reportez-vous au module 2 : Il est particulièrement important d'établir la liste de contrôle et de remplir la "fiche de mission drone" avec les élèves.

Remplissez leurs carnets de vol et montrez-leur comment signaler un éventuel incident.

Se référer à la partie "maintenance" du module 3 : DYNAMIQUE DU VOL ET MAINTENANCE DES DRONES pour une préparation technique plus approfondie.

Enfin nous considérons qu'il est indispensable que les étudiants s'inscrivent sur le site Alpha Tango et réussissent le QCM en ligne « catégorie ouverte A1/A3 ». Il est très facile, permet de vérifier le bon apprentissage des règles de base, et chacun peut voler de façon légale.

Ce serait une erreur d'aller directement sur le terrain et de commencer les exercices décrits ci-dessous sans donner aux élèves de bonnes habitudes aéronautiques.

3. Précautions générales

3.1 Zone d'apprentissage

La zone doit être interdite à toute personne extérieure, nous nous plaçons autant que possible en catégorie A3, à 150m des personnes extérieures et des habitations. Un terrain privé est indispensable, pas de vol d'apprentissage au-dessus du domaine public. L'autorisation du propriétaire est bien sûr nécessaire.

Si ce n'est pas possible, il est possible d'utiliser une zone suffisamment dégagée et large de l'école, comme un **terrain de sport**, balisée contre les intrusions, il s'agit d'une unité de formation et donc couverte par l'assurance pour les activités liées à l'enseignement. Le vol sera alors en sous-catégorie A1, les drones utilisés ne pourront pas dépasser 900g et être certifiés C1 (sauf pour les anciens drones non certifiés de moins de 500g jusqu'en janvier 2024, susceptible d'être prolongé).

Il est préférable que le GPS soit bien connecté dans ce domaine.

En particulier, avec les petits drones, il est également possible d'effectuer les tout premiers vols dans un **gymnase**, fermé à toute personne extérieure. C'est la solution idéale pour le premier vol manuel des "gros" drones, car aucune règle ne s'applique en intérieur, vous volez comme vous le souhaitez. ATTENTION : le GPS ne fonctionne pas ou mal, il faut le désactiver pour éviter tout problème, si possible.

3.2 Paramètres de vol

La configuration du drone pour le vol a été établie à l'avance par l'enseignant et ne sera modifiée qu'après la réussite des premiers exercices.

Exemple de paramètres d'apprentissage pour un Parrot ANAFI

- Mode 2 pour les joysticks (droite = haut/bas et rotation ; gauche = avant/arrière et translation droite/gauche), classique par défaut.
- Réactivité globale de 50 %.
- Tournant incliné : OUI
- L'inclinaison maximale du drone est de 8°, la vitesse horizontale n'est donc pas trop rapide.
- Vitesse verticale 1 m/s
- Vitesse de rotation 50°/s
- Décollage de la main : NON
- Altitude de vol stationnaire 2m (à l'extérieur), 1m (à l'intérieur)
- Vol manuel
- Mode film (le mode le plus lent)
- Géo-cage : fixer une hauteur maximale (20m est correct pour apprendre et éviter une mauvaise visibilité) et une distance maximale de la position de décollage (en fonction de vos exercices, mais nous recommandons 30m pour la sécurité au début).

3.3 Exemple de zone d'évolution sécurisée pour les drones

Nous avons expérimenté ce type de positionnement pour un groupe de 9 étudiants.

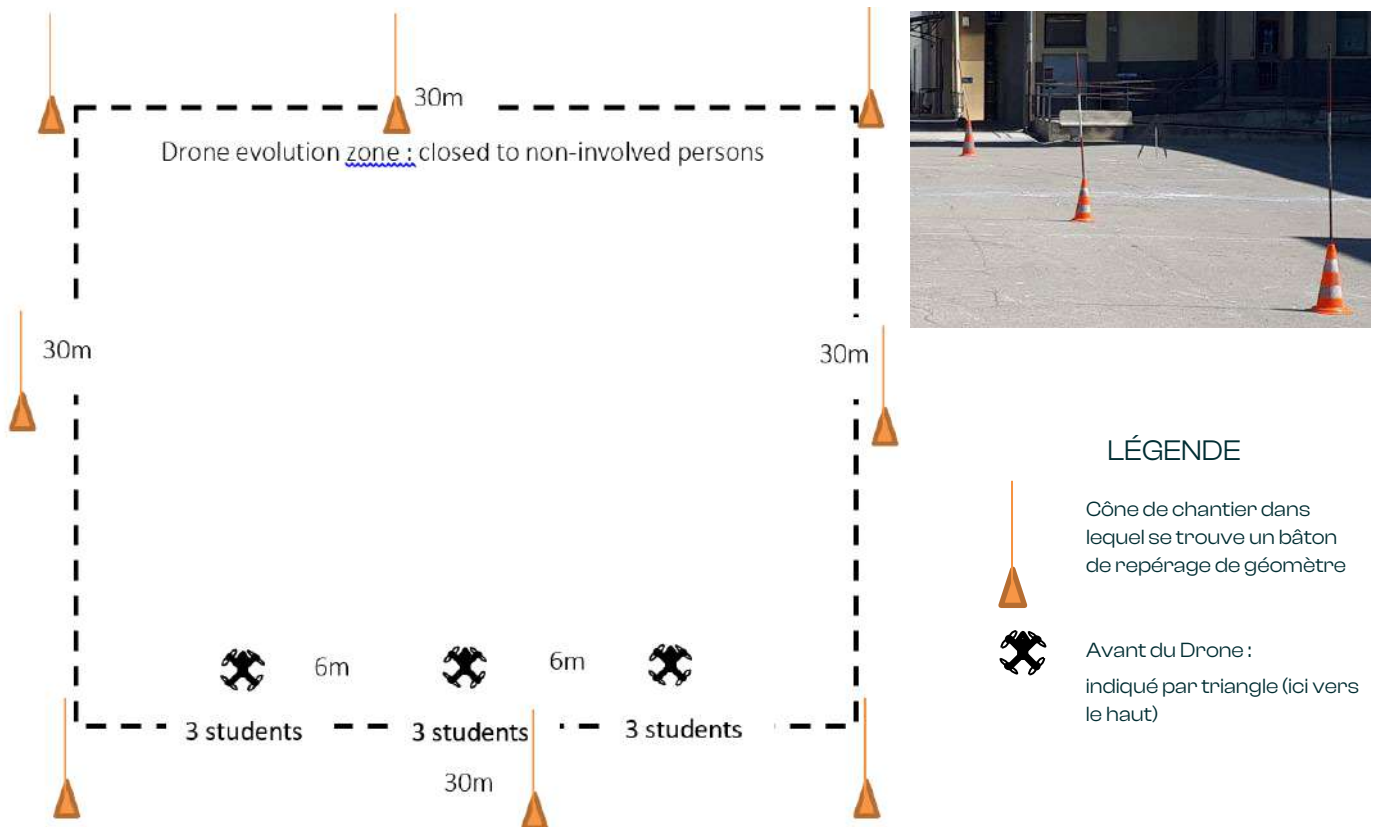


Figure 3-1 Exemple de zone de vol

Le professeur est derrière ses pilotes, les drones sont devant les pilotes, L'ARRIÈRE DU DRONE FACE AU PILOTE pendant le décollage et l'atterrissage.

Un maximum de 3 petits drones peut être piloté simultanément dans ce contexte, un espacement de 5 à 7m est nécessaire entre les drones, et chaque élève-pilote est supervisé par un camarade, avec l'enseignant au milieu. Chaque aire de décollage est matérialisée.

Altitude NB : chaque pilote a une altitude assignée, par exemple 5, 10, 15 mètres, ou plus si nécessaire lorsque tous les drones sont en vol simultanément. Les trois drones ne peuvent pas entrer en collision.

NB ENSEIGNANT : l'enseignant doit être prêt à crier "**STOP**" ! en cas de danger, et doit d'abord expliquer à ses élèves qu'il s'agit de **retirer les doigts des joysticks** : le drone s'arrête immédiatement sans bouger.

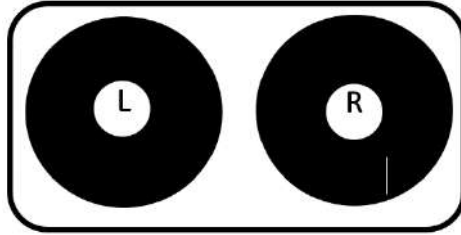


Figure 3-2 Contrôleur de drone image

4. Exercices de base : comprendre le contrôleur

4.1 Affichage du contrôleur

Démarrer les drones au sol

Examinez les indications sur l'écran de la télécommande :

- Visualisation de la caméra
- Visualisation des cartes
- Altitude
- Distance par rapport au point de décollage
- Vitesse horizontale
- Chargement de la batterie du drone / de la télécommande
- GPS en bonne réception – RTH mémorisé
- WIFI en bonne réception
- Inclinaison de la caméra
- Réglages de l'appareil photo / prise de vue

4.2 Vol unidirectionnel

Ces exercices permettent une compréhension individuelle de chaque commande de pilotage.

Sur instruction, tous les élèves effectuent les manœuvres en même temps :

RAPPEL DU PROFESSEUR : Si le professeur crie "STOP" ! il s'agit de lever les doigts des manettes : le drone s'arrête au même moment sans bouger.

Décollage en appuyant sur le bouton dédié, un pilote après l'autre, et vol stationnaire

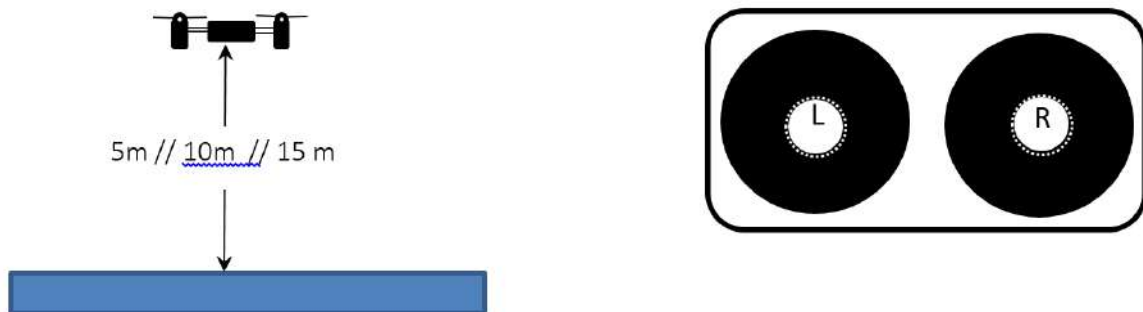


Figure 4-1 Décollage et vol stationnaire

Manette de droite "joystick de translation horizontale" (il peut être inscrit sur les contrôles de l'école)

- A gauche et à droite en translation, arrêt à 10m

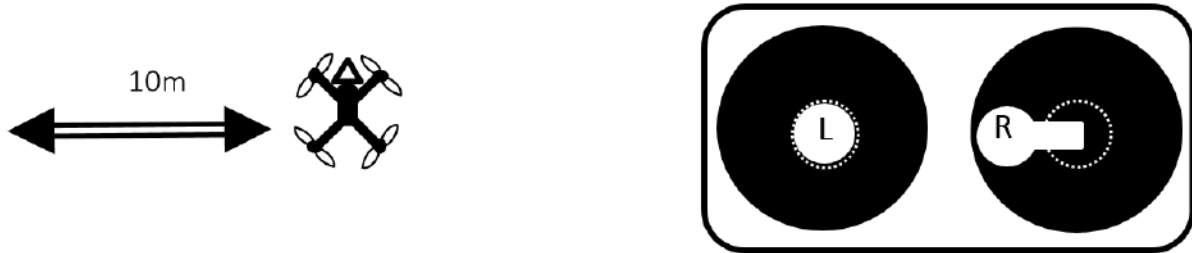


Figure 4-2 Translation horizontale : latérale

- Retour au centre, au-dessus de l'aire de décollage
- Arrêt en avant et en arrière à 15m

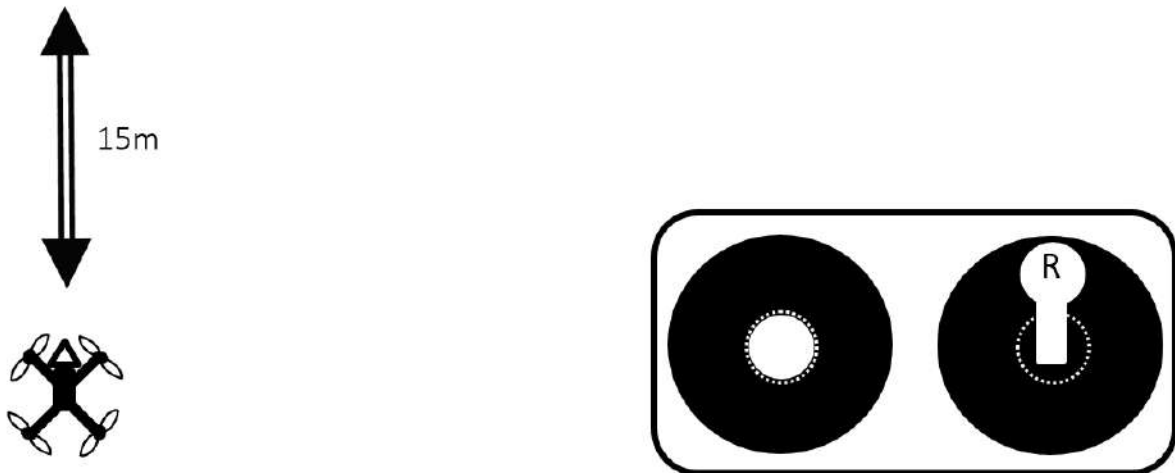


Figure 4-3 Translation horizontale : avant/arrière

- Retour au centre, au-dessus de l'aire de décollage

Manette de gauche " joystick de l'axe vertical ".

- Montée, arrêt à l'altitude maximale programmée et descente, arrêt à 3m

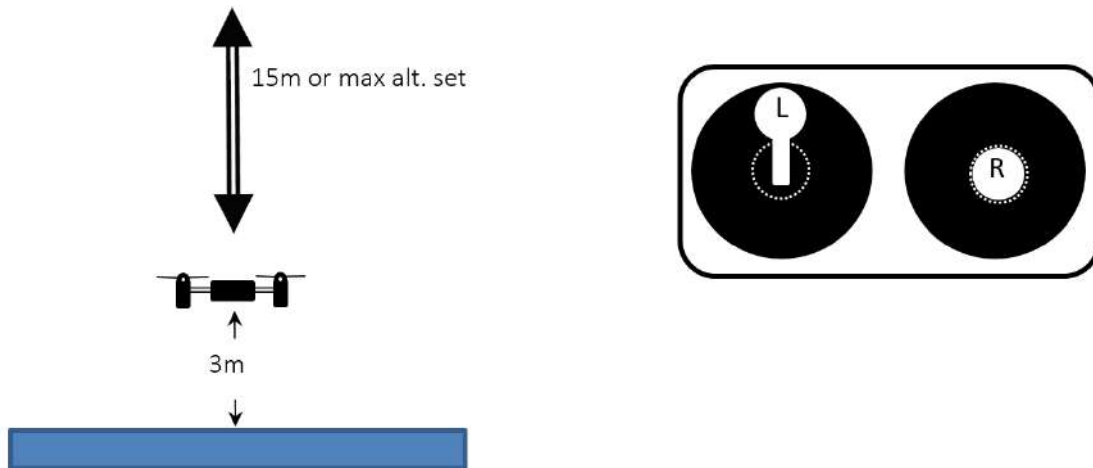


Figure 4-4 Translation verticale

- Rotation sur place à droite et à gauche



Figure 4-5 Rotation sur place

Répéter toutes les manœuvres **LENTEMENT** : contrôler la sensibilité des manettes

4.3 Vol combiné

Centre au-dessus de l'aire de décollage

Manette de droite

- Avant gauche : vol **diagonal vers** l'avant
- Vers la droite en translation et vers l'arrière : vol diagonal vers l'arrière
- Autre direction

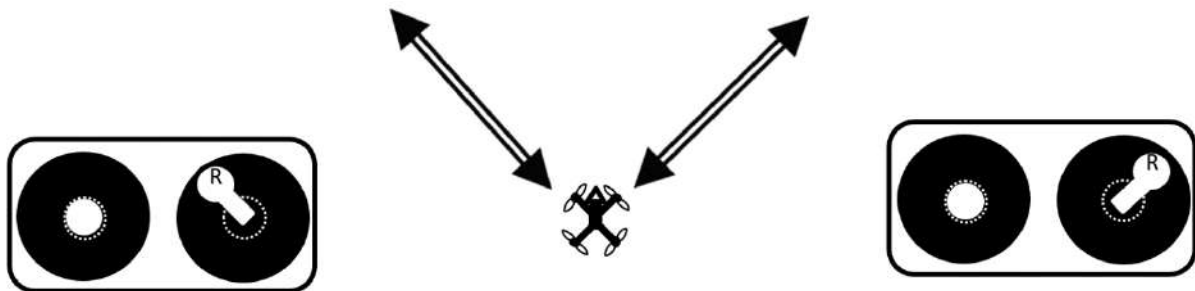


Figure 4-6 Translation diagonale

Cercles : déplacez le joystick, le drone pointant toujours dans la même direction.

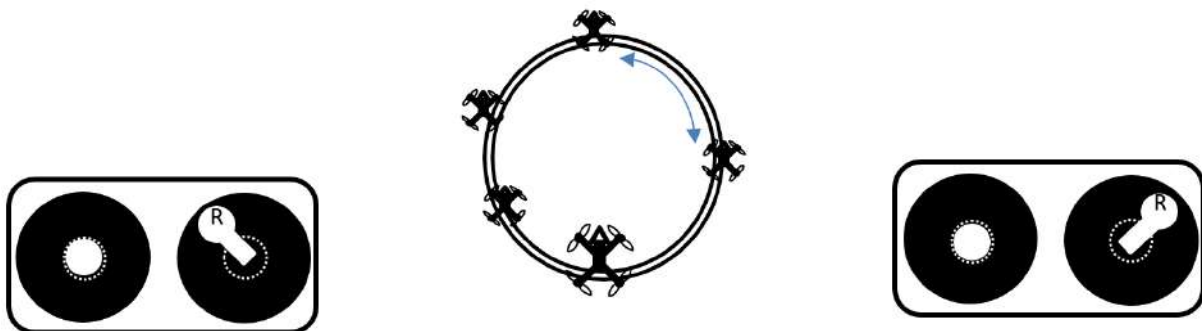


Figure 4-7 Cercle horizontal

Manette de gauche

- En haut et à droite : **grimper et tourner** sur soi-même
- Vers le bas et rotation vers la droite



Figure 4-8 Vertical et rotation

Cercle avec les deux manettes

Chaque élève effectue d'abord la manœuvre individuellement, en veillant à contrôler la vitesse du mouvement

- Rotation vers l'avant et vers la droite : **arc de cercle vers la droite, voler "comme un avion"** ATTENTION : l'élève doit effectuer un virage complet et contrôler le rayon en n'allant pas trop vite et revenir à la position au-dessus de l'aire de décollage. **LEEEEEENTEMENT !**
- **Le drone pointe vers l'avant**

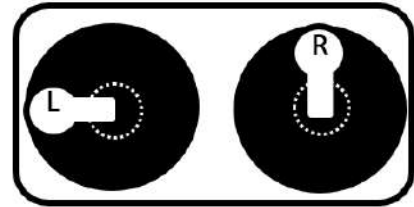
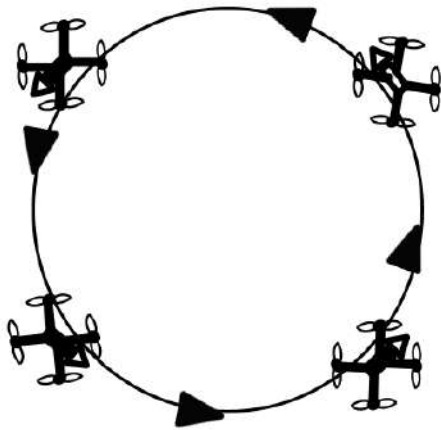


Figure 4-9 Cercle "comme un avion"

Répéter dans l'autre sens

Pente avec les deux manettes

- En avant et en haut, en arrière et en bas

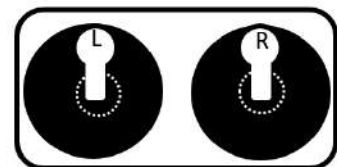
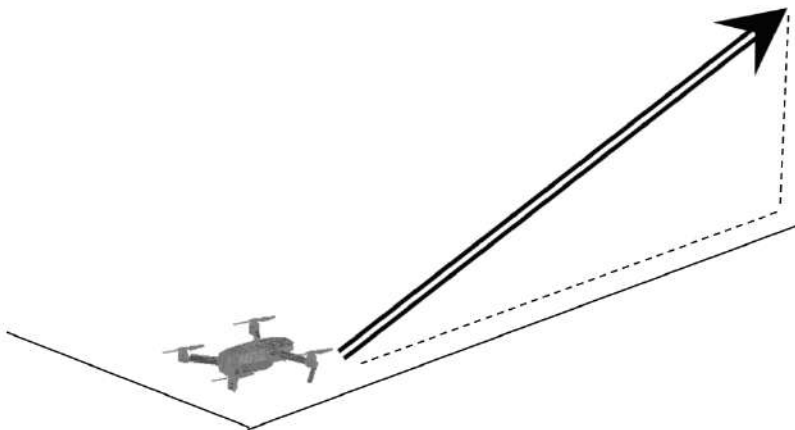


Figure 4-10 Pente

Deux manettes pour faire une spirale "comme un avion".

- Vers l'avant, vers le haut et rotation : spirale ascendante "comme un avion".

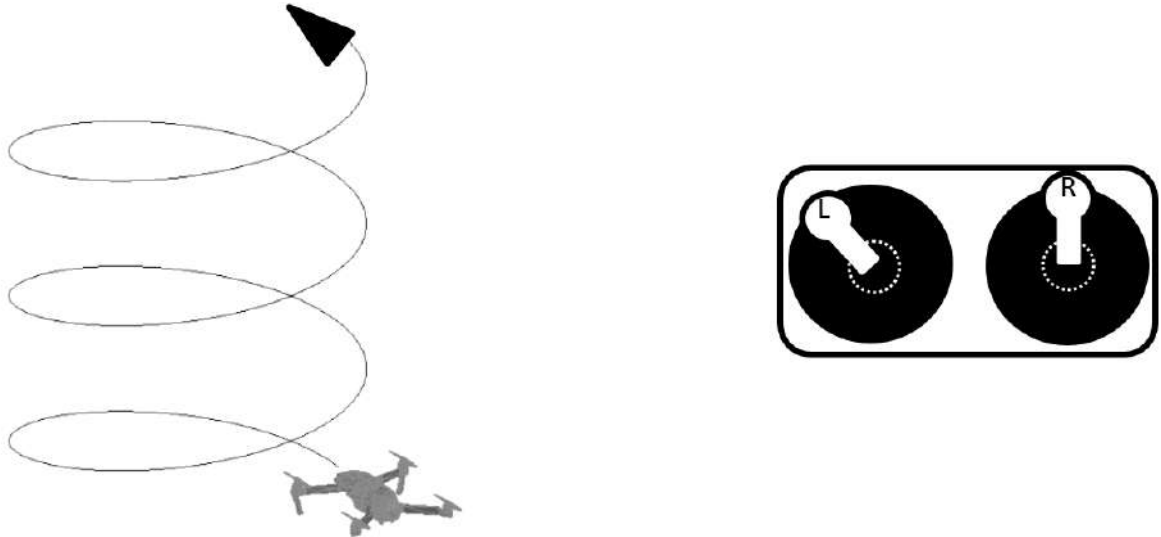


Figure 4-11 Spirale

- Avance, rotation et descente : spirale descendante "comme un avion".
- Autre direction

IMPORTANT : vous devez montrer la différence de réactivité du drone en modifiant les paramètres suivants :

- Inclinaison : plus l'inclinaison est importante, plus la traduction est rapide (avant/arrière et droite/gauche) 15° semble un maximum au début, et en tout cas pour notre activité professionnelle.
- Rotation sur elle-même : aller vers 70 à 90°/s est une vitesse assez rapide
- La vitesse verticale de 3m/s est plutôt rapide
- Essayez la différence et trouvez vos propres réglages.
- Il est important d'insister sur le contrôle de la vitesse : lentement au début

5. Contrôle des vols : réaliser un circuit

5.1 Exercices généraux

Ces exercices ne sont pas spécifiquement dédiés aux travaux de construction ou de génie civil mais permettent d'acquérir une maîtrise générale des commandes de vol. Ils nécessitent de positionner des repères au sol : le mieux est de disposer des cônes avec un jalon de géomètre (visible et haut)...

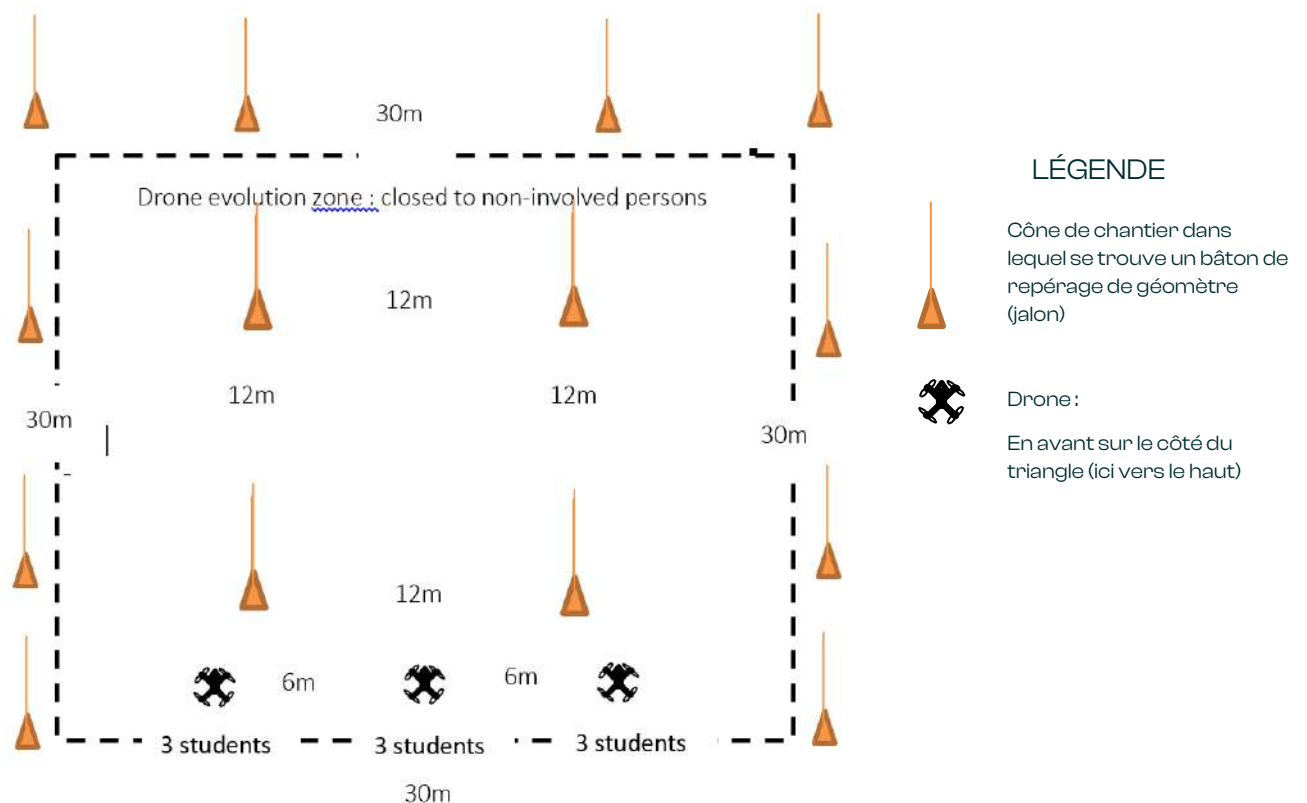


Figure 5-1 Zone d'évolution sécurisée avec 4 marqueurs de vol

Pour éviter les collisions :

N'oubliez pas de donner des **altitudes différentes** à chaque drone.

(3 m de séparation minimum) !

Tous les drones dans la même direction !

Si c'est impossible, si les pilotes ne peuvent pas respecter la règle, alors l'un après l'autre.

Toujours revenir au sol à la fin d'un virage, puis changer d'élève, décoller et partir !

En suivant les côtés :

1. Voler sur les côtés à l'aide des **commandes de vol horizontales**.
Le drone pointe toujours dans la même direction

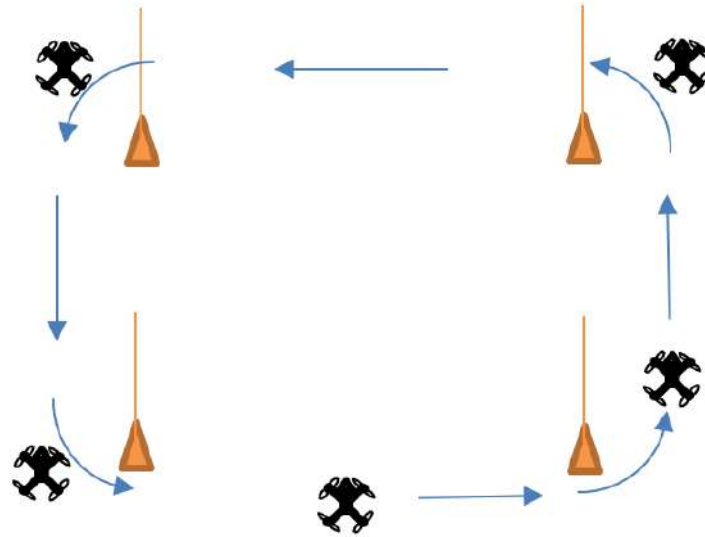


Figure 5-2 Translation carrée

2. Voler sur les côtés "comme un avion" (avancer et faire pivoter le drone sur chaque coin). Le drone est toujours orienté vers l'avant, dans le sens de la marche, "comme un avion".

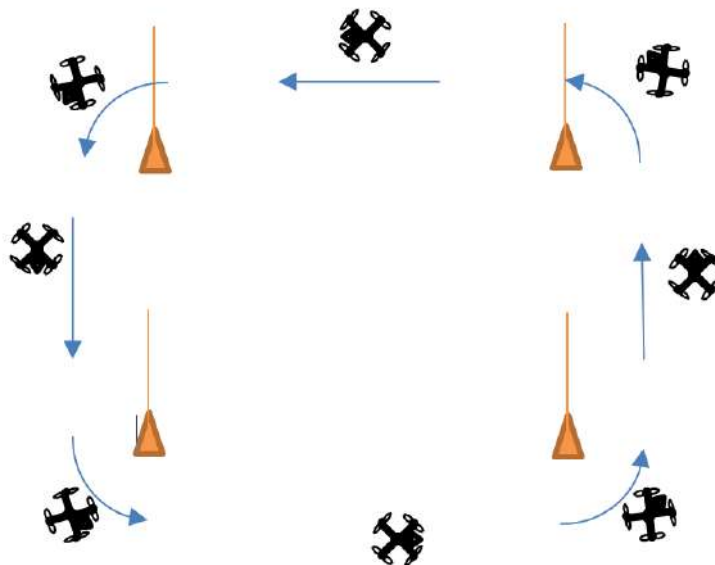


Figure 5-3 Vol en carré pointant vers l'avant

Côtés et centre : faire un "8".

1. Avec les commandes de vol horizontales
Le drone pointe toujours dans la même direction

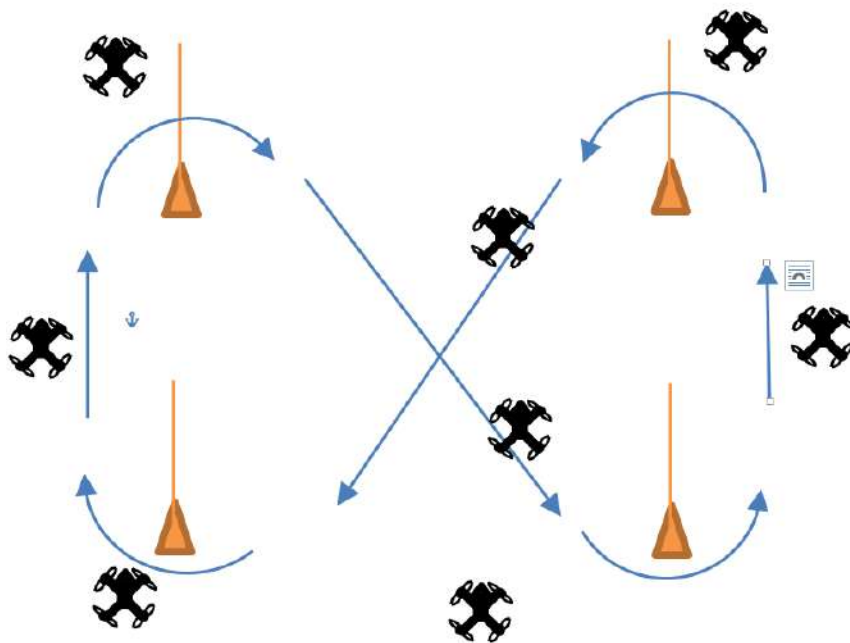


Figure 5-4 Faire un "8" dans la traduction

2. Voler "comme un avion".
Le drone pointe toujours vers l'avant "comme un avion".

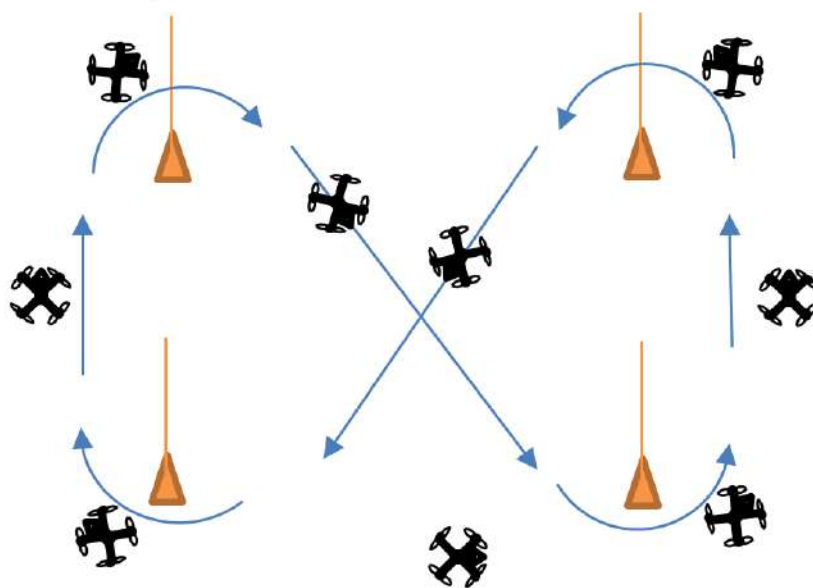


Figure 5-5 Faire un "8" dans le sens de la marche

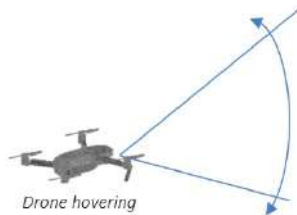
5.2 Utilisation de la caméra

Ici, nous pilotons à la fois en regardant le drone ET en regardant l'écran pour rester centrés.

- Il est intéressant d'afficher la grille 3x3 sur l'écran de contrôle.
Réglages de l'appareil photo
- Mode vidéo MP4 mise au point et exposition automatiques
- Mode photo résolution maximale possible, tout automatique (au début)
- Maintien de l'horizon

Manceuvrer l'appareil photo seul

- Face à un élément vertical, déplacer l'axe optique de haut en bas à l'aide du joystick ("inclinaison de la caméra") le long de l'objet, en s'arrêtant sur un élément précis qui doit être centré.
- Appuyez sur le bouton de l'obturateur en mode vidéo et filmez la séquence
- Passez en mode photo et prenez plusieurs photos



Caméra en haut et en bas

Capture de film

Photos

Figure 5-6 Inclinaison de la caméra

Manceuvre à 360° autour d'un point

Caméra braquée sur le centre : il faut agir sur les deux leviers en opposition

La manette de gauche provoque la rotation qui oriente la caméra vers le centre.

La manette de droite provoque le mouvement latéral.

Un levier vers la droite, l'autre vers la gauche, en opposition (ou l'un vers l'autre pour l'autre sens)

L'action des deux simultanément crée un cercle dont la caméra est toujours dirigée vers le centre.

Vous devez trouver le bon réglage avec vos doigts pour que l'appareil photo reste orienté vers le centre

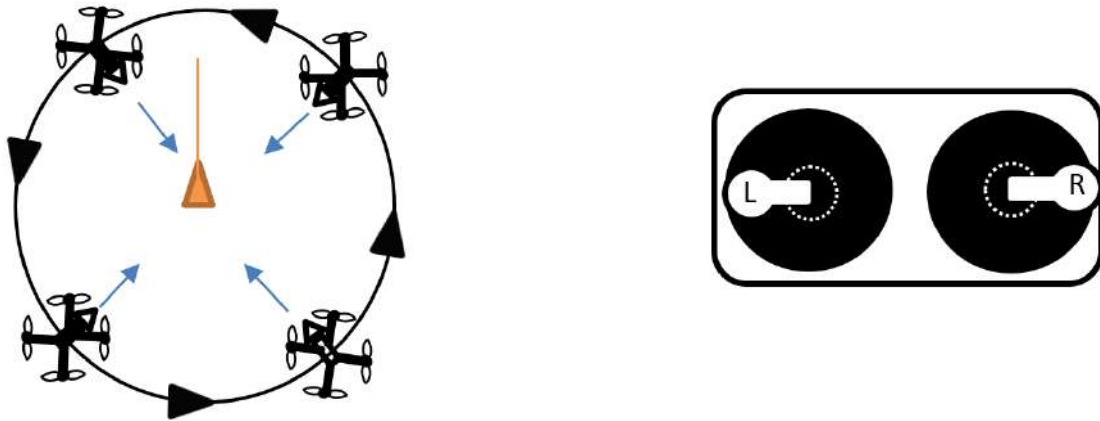


Figure 5-7 Vol autour d'un point en le visant

Mancœuvre du point d'intérêt

Avancer devant un objet au sol tout en abaissant la caméra pour la maintenir centrée

Une fois en train de filmer, une fois en train de prendre plusieurs photos manuellement

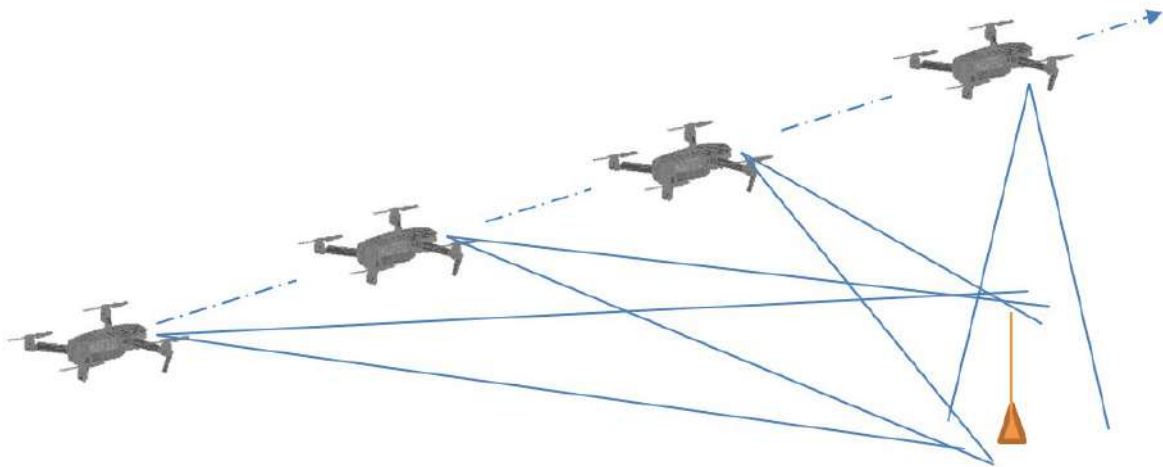


Figure 5-8 Pente et inclinaison de la caméra

Monter devant un objet au sol tout en abaissant la caméra pour la maintenir centrée

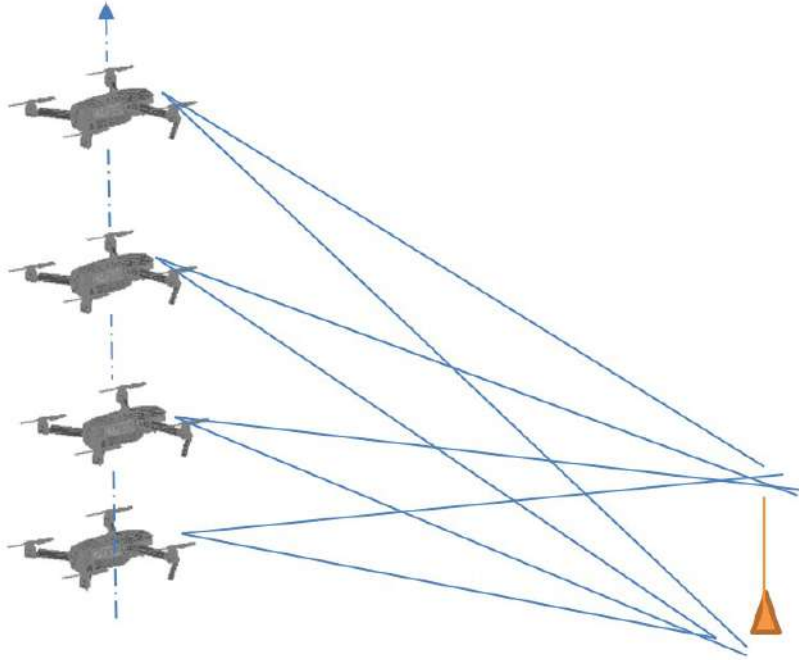


Figure 5-9 Ascension et inclinaison de la caméra

6. Vol technique : contexte du génie civil

Ici, nous pilotons à la fois en regardant le drone ET en regardant l'écran pour rester centrés.

6.1 Étude des façades : photogrammétrie, Lidar ou thermographie

Pour toutes ces tâches, il est nécessaire de faire une grille devant le bâtiment.

Pour la photogrammétrie, les photos doivent être prises avec un chevauchement de 80 % en largeur et en hauteur.

Pour le lidar ou la thermographie, un chevauchement de 20 % est un minimum pour assurer un bon assemblage des nuages de points ou des photos.

Voir aussi le MODULE 7 pour une leçon complète sur la photogrammétrie. Voici seulement quelques conseils pour l'apprentissage du vol.

Vitesse lente : réglez par exemple l'inclinaison du drone sur 2 à 5° maximum pour limiter la vitesse afin d'éviter les flous de bougé sur les photos.

Il faut piloter manuellement pour les façades, pas de vol direct programmé (une technique par Waypoints superposés existe, voir module 7, mais pas sur tous les drones)

- Se placer à 10 ou 15 m devant la façade d'un bâtiment, à une altitude de 3 m, le drone faisant face à la façade, l'axe horizontal de la caméra étant perpendiculaire à la façade.

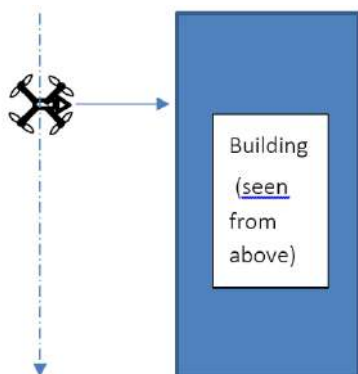


Figure 6-1 Face à un bâtiment

- Trajectoire de vol en translation horizontale parfaitement parallèle à la façade.

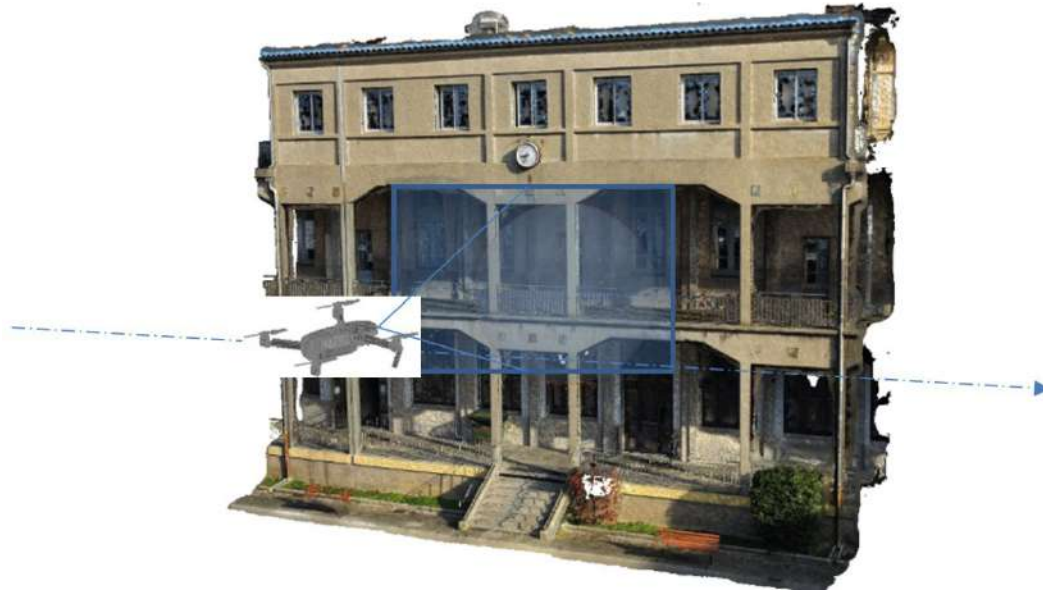


Figure 6-2 Photos d'un bâtiment pour l'étude de la façade

- Monter verticalement de 5m à l'extrémité de la façade
- Répéter un passage dans l'autre sens, à 8m de hauteur
- Etc.

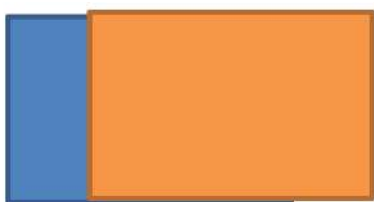


Figure 6-3 Trajectoire de levé de façade

Photos avec chevauchement :

Manuellement (exemple pour la photogrammétrie) : regardez l'écran, utilisez la grille pour détecter le moment où vous vous êtes éloigné d'environ 20% de la photo précédente. Appuyez sur la gâchette, déplacez-vous, appuyez... vous devez assurer un chevauchement de 80 %.

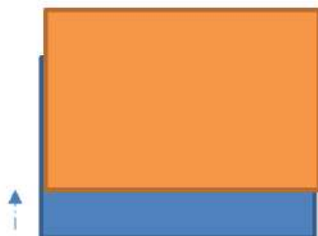
Le mieux est de repérer sur votre première photo un élément à 20% de distance du bord, prendre la photo, puis amener cet élément au bord de la photo suivante.



Move 20% horizontally for next in-line picture

Figure 6-4 Chevauchement photogramétrique horizontal

ATTENTION : faites de même lorsque vous montez : seulement 20% de plus :



Move 20% vertically to next picture row

Figure 6-5 Chevauchement photogramétrique vertical

Pour le Lidar ou la thermographie, assurez un chevauchement de 20 %. Déplacez-vous de 80 % du premier cadrage de la photo.

Déclenchement automatique des photos :

En fonction de la capacité du drone, il est généralement possible d'utiliser au moins 2 automatismes

- **Time-lapse** : une photo est prise toutes les 2 secondes ou plus, il suffit de se déplacer à la bonne vitesse pour obtenir une superposition.
 - ASTUCE : utilisez le réglage "tilt" d'inclinaison du drone et faites une rangée test par exemple à 10° avec la manette à fond (ce qui est facile) et vérifiez le chevauchement sur les images, modifiez le tilt pour ajuster la vitesse.
- **GPS-lapse** : une photo est prise tous les "x" mètres parcourus par le drone. Ajustez la distance "x" pour obtenir une superposition correcte. Normalement, la distance est calculée en 3D, donc cela fonctionne également lorsque l'on monte.
 - **La vitesse en GPS-lapse peut être plus rapide que celle en time-lapse,** mais pas trop pour éviter le flou de bougé.

NB : un chevauchement important (95% par exemple) ne pose pas de problème.

6.2 Photogrammétrie de terrain ou Lidar : grille sur le terrain

Le vol programmé est la norme, l'exercice suivant permet de le réaliser manuellement.

Mêmes précautions que pour les prises de vue de façades : 80% de recouvrement dans toutes les directions.

- Choisissez avant le décollage un schéma de balayage de la zone : les "zig-zags" que vous ferez sur le terrain.
- Monter à 25 m d'altitude, incliner la caméra vers le bas.
- Tracer lentement une ligne en bordure du champ, sans être trop près pour ne pas risquer d'empiéter sur la parcelle du voisin ou de tomber sur son terrain en cas de panne.
- Au bout de la ligne, tourner de 90°, avancer de quelques mètres, tourner à nouveau de 90° et se mettre en parallèle avec la première ligne.
- Prenez des photos manuelles, ou des photos en automatique (time-lapse ou GPS-lapse) à la bonne vitesse pour les superpositions.

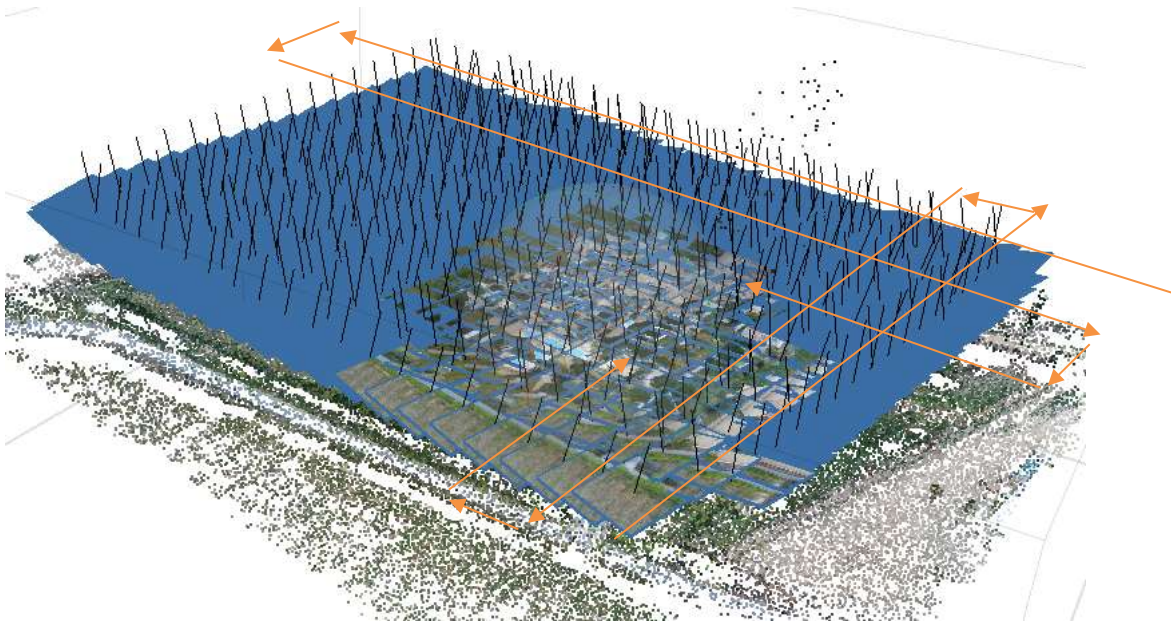


Figure 6-6 Photogrammétrie de terrain vue d'en haut

6.3 Levé 3D de bâtiments ou de volumes : vol circulaire

L'appareil photo étant toujours dirigé vers l'objet (bâtiment, barrage, pont, monument...)

Il est possible de programmer un 360° automatique, cet exercice le fait manuellement.

- La manette de gauche provoque la rotation qui oriente la caméra vers le centre.
- La manette de droite provoque le mouvement latéral
- Un joystick à droite, l'autre à gauche, en opposition
- L'action simultanée des deux crée un cercle avec la caméra toujours dirigée vers le centre.
- Vous devez trouver le bon réglage avec vos doigts pour que l'appareil photo reste orienté vers le centre.



Figure 6-7 Déplacement autour d'un bâtiment pour la photogrammétrie 3D

6.4 Suivi des structures, expertise, thermographie ou lidar local

Voir le module 10 : DES IMAGES POUR L'EXPERTISE

Exercices de compétences :

- S'approcher le plus près possible d'un élément, jusqu'à 50 cm, délicatement
- Rester stable, très lent
- Observer le cadrage pour viser un endroit particulier
- Caméra horizontale, de face
- Caméra inclinée vers le bas, depuis le haut : 90° et autres angles
- Caméra inclinée vers le haut, depuis le bas : 90° et autres angles
- Prendre des photos ou des films pour les visionner et les analyser

Liste des figures

Figure 3-1 Exemple de zone de vol.....	9
Figure 3-2 Contrôleur de drone image.....	10
Figure 4-1 Décollage et vol stationnaire	12
Figure 4-2 Translation horizontale : latérale	13
Figure 4-3 Translation horizontale : avant/arrière	13
Figure 4-4 Translation verticale	14
Figure 4-5 Rotation sur place.....	14
Figure 4-6 Translation diagonale.....	15
Figure 4-7 Cercle horizontal.....	15
Figure 4-8 Vertical et rotation.....	15
Figure 4-9 Cercle "comme un avion"	16
Figure 4-10 Pente.....	16
Figure 4-11 Spirale.....	17
Figure 5-1 Zone d'évolution sécurisée avec 4 marqueurs de vol.....	18
Figure 5-2 Translation carrée.....	19
Figure 5-3 Vol en carré pointant vers l'avant.....	19
Figure 5-4 Faire un "8" dans la traduction.....	20
Figure 5-5 Faire un "8" dans le sens de la marche	20
Figure 5-6 Inclinaison de la caméra.....	21
Figure 5-7 Vol autour d'un point en le visant.....	22
Figure 5-8 Pente et inclinaison de la caméra.....	22
Figure 5-9 Ascension et inclinaison de la caméra.....	23
Figure 5-10 Face à un bâtiment.....	24
Figure 5-11 Photos d'un bâtiment pour l'étude de la façade.....	24
Figure 5-12 Trajectoire de levé de façade.....	25
Figure 5-13 Chevauchement photogrammétrique horizontal.....	26
Figure 5-14 Chevauchement photogrammétrique vertical	26
Figure 5-15 Photogrammétrie de terrain vue d'en haut.....	28
Figure 5-16 Déplacement autour d'un bâtiment pour la photogrammétrie 3D.....	29