

Faire voler un drone en intérieur avec ROS

Julien Geneste – Ingénieur des Systèmes Électroniques Embarqués



julien@aircslab.fr

Sommaire

- Un drone c'est quoi ?
- Comment ça marche ?
- Comment fabriquer un drone ?
- Faire voler un drone (condition normale) ;
- La législation française et le drone ;
- Utiliser ROS pour piloter un drone ;
- Faire voler un drone en intérieur ;



→ Définition : drone

[nom masculin]

Engin mobile terrestre, **aérien** ou naval, **sans équipage** embarqué, **programmé** ou **télécommandé**, et qui peut être réutilisé.

→ Définition : UAV

[sigle]

Unmanned Aerial Vehicle, Aéronef sans équipage, **drone volant**.

Focus sur les UAV

Multi-Rotor



DJI Mavic 3

Voilure fixe



General Atomics MQ-9 Reaper

VTOL



Fly Dragon - VTOL



A quoi ça sert ?

Multi-Rotor

- Prise de vue aérienne
- Inspection
- Reconnaissance (courte portée < 10km)
- Cartographie
- Plantation d'arbre

Atout : Extrêmement maniable
Faiblesse : Energivore

Voilure fixe

- Prise de vue aérienne
- Reconnaissance (très longue portée > 500km)
- Missions militaires
- Transport de grosse charge

Atout : Grand rayon d'action
Faiblesse : Peu maniable

VTOL

- Prise de vue aérienne
- Reconnaissance (très longue portée > 500km)
- Missions militaires

Atout : TOL faciles
Faiblesse : Chère et compliqué



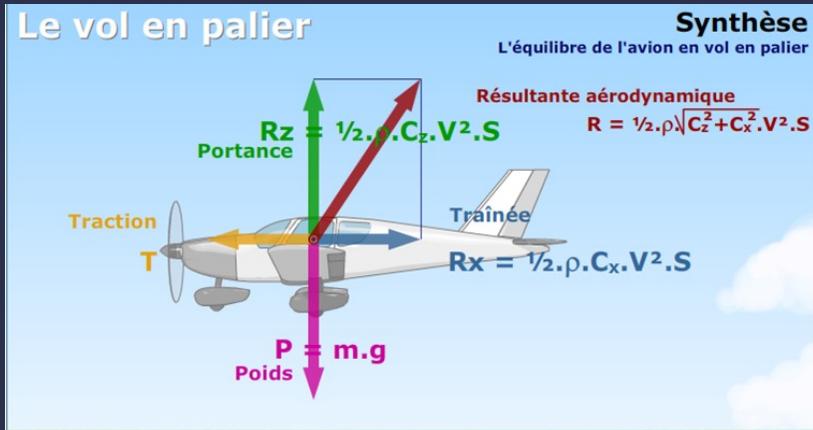
Comment ça marche ?

- Principe physique : comment ça vole ?
 - Voilure fixe
 - Multi-Rotor
- Dans la pratique ...
 - La structure
 - La poussée
 - Le contrôle commande
 - Les capteurs
 - Les actionneurs
 - Flight Controller Unit (FCU)
 - Houston, we have a problem ...

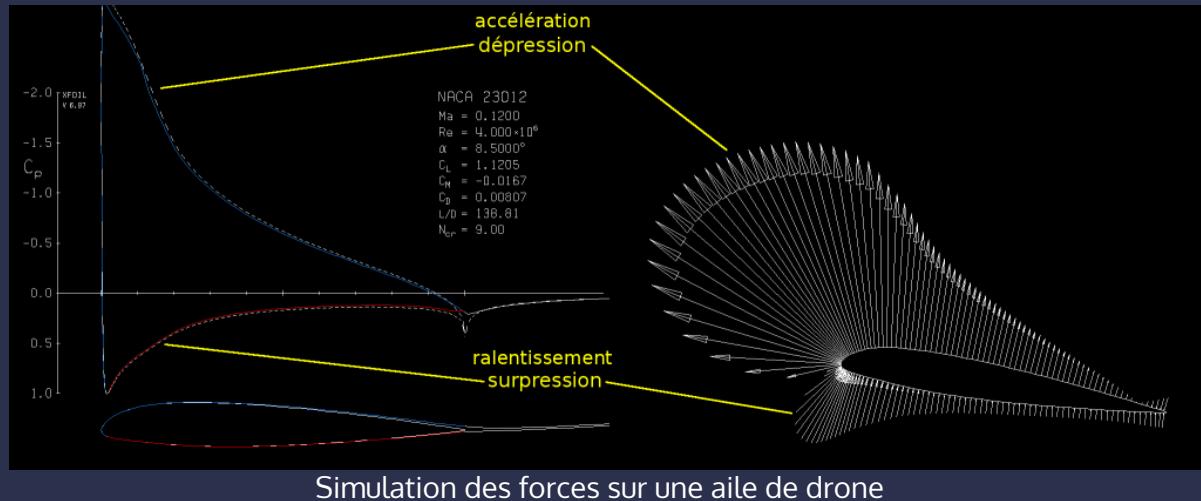


Vue éclatée d'un drone

Voilure fixe



Forces misent en jeu dans une voilure fixe

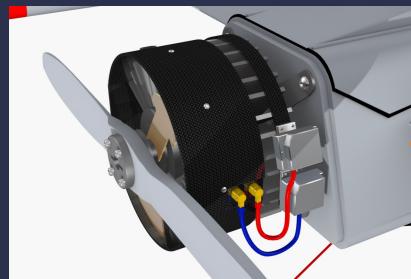


$$P = C_z \cdot \frac{1}{2} \rho \cdot V^2 \cdot S$$

P : Portance (N)
Cz : Coeff. de portance (incidence aile)
 ρ : masse volumique du fluide (kg/m^3)
V : vitesse relative ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
S : Surface projetée (m^2)



Voilure fixe



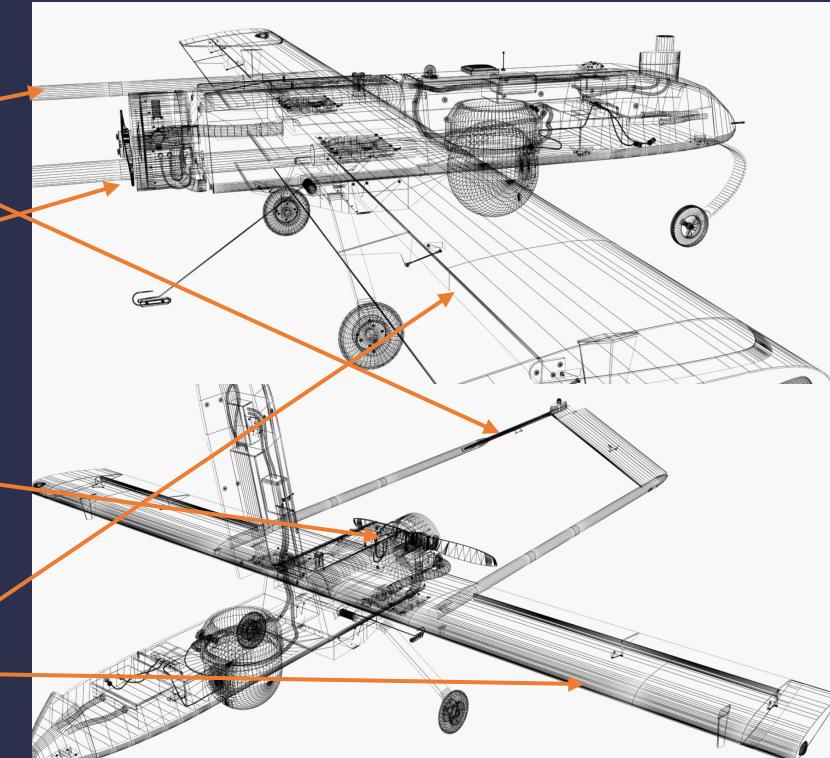
Moteur



Empennage

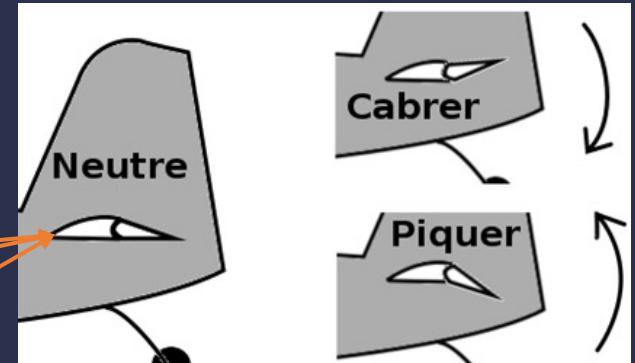
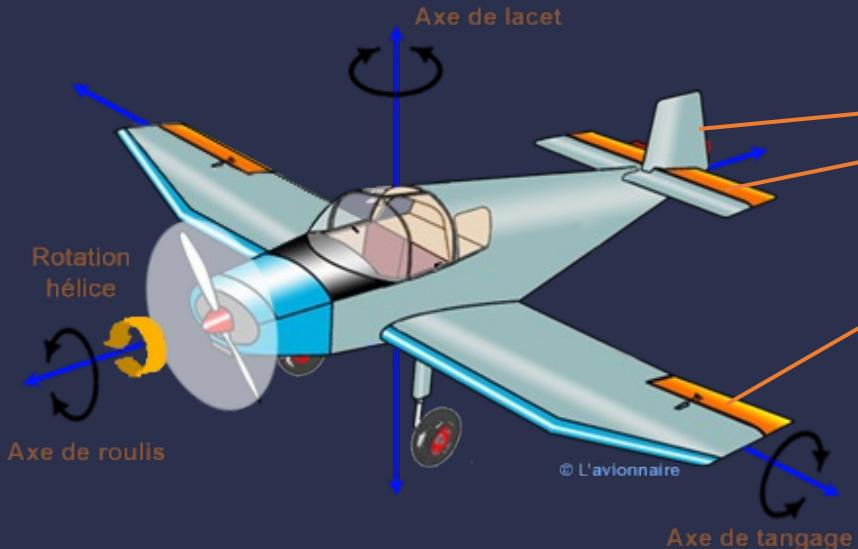


Aile



Modélisation 3D d'un drone à voilure fixe

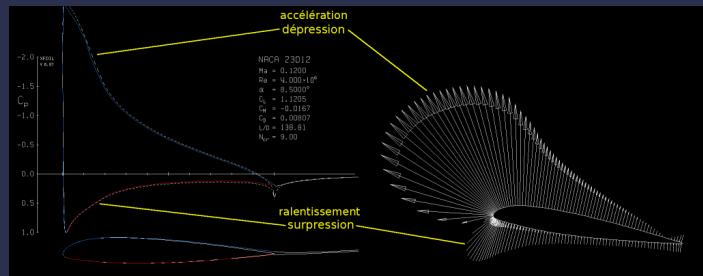
Voilure fixe



Controle de l'avion par modification de l'angle des dérives, gouvernes et ailerons

À ne pas confondre avec les volets hypersustentateur

Principe physique : multi-rotor



Mise en rotation (ω)



Création d'un rotor

Sommes des forces sur une hélice

$$P_z = \int_0^{\theta_{max}} \frac{1}{2} \rho \theta L C_z (\omega \theta)^2 d\theta * \sigma$$

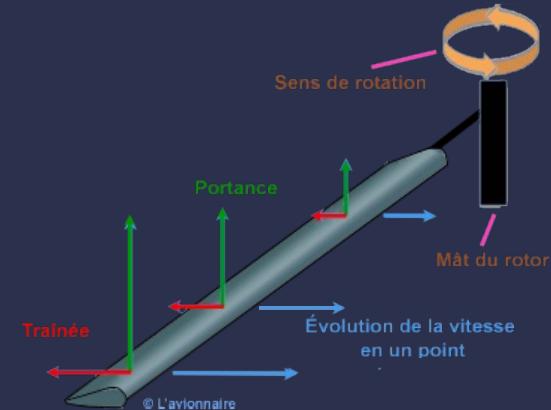
P_z : Portance d'une pale de longueur θ_{max} (N)
 ρ : masse volumique du fluide (kg/m^3)

C_z : Coeff. De portance (incidence de la pale)

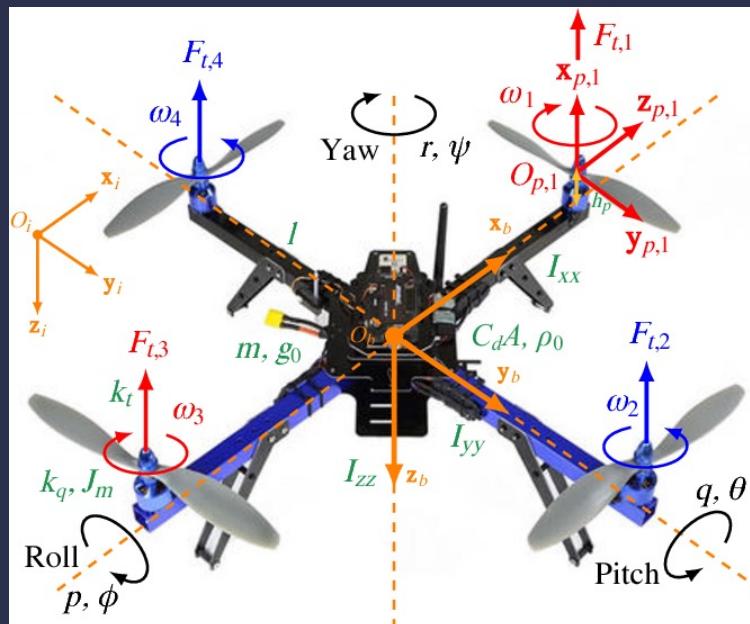
ω : vitesse angulaire de la pale (rad.s^{-1})

L : Surface projetée (m^2)

σ : Nombre de pale sur le rotor



Principe physique : multi-rotor



Pourquoi met on les hélices en sens de rotation contraire ?

L'image ci-contre nous dis :

$$\vec{F}_\psi = \vec{F}_{\omega_1} + \vec{F}_{\omega_2} + \vec{F}_{\omega_3} + \vec{F}_{\omega_4}$$

Pour avoir un drone stable il faut qu'a vol stationnaire :

$$\vec{F}_\psi = \vec{F}_{\omega_1} + \vec{F}_{\omega_2} + \vec{F}_{\omega_3} + \vec{F}_{\omega_4} = \vec{0}$$

$$\vec{F}_Z = \vec{F}_{t_1} + \vec{F}_{t_2} + \vec{F}_{t_3} + \vec{F}_{t_4} = P_{drone}$$

La structure



Structure d'un drone type Quadrotor F450

Qu'elles sont les caractéristiques d'une structure de drone ?

Structure drone

Corps

Rigide
Léger
Solide

Utilisation de
matériaux
composites

Bras

Résistant à la
déformation
Léger
Souple

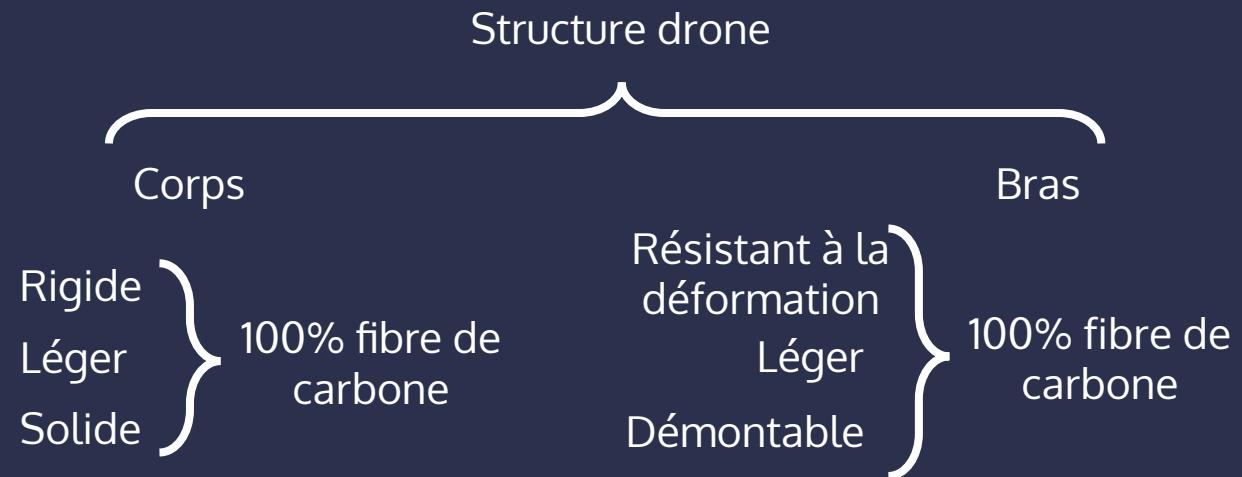
Utilisation de
matériaux
plastiques

La structure



Structure d'un drone type Hexarotor S1000

Qu'elles sont les caractéristiques d'une structure de drone ?



La poussée



Batterie 4S



ESC 20A



Moteur



Hélices

Création de poussée

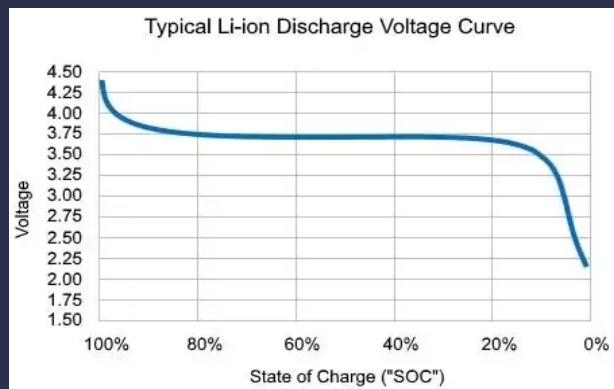
La poussée



Batterie 4S

Quelles sont les caractéristiques d'une batterie ?

Tension (V) dépend de S, ex : 4 éléments = 14,8V
Capacité (mAh) dépend de P, ex : 1500mAh
Courant max (A), ex: $130C = 130 \times 1500mAh = 195A$



Évolution du taux de charge en fonction de la tension

La poussée



ESC 20A

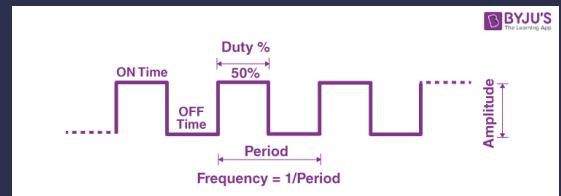
Quelles sont les caractéristiques d'un ESC ?

ESC : Electronic Speed Controller

Tension (V) max admissible, ex : 4S

Courant max (A), ex : 20A

Commande, ex : PWM



Signal d'entrée PWM



Signaux de sortie puissance

La poussée

Quelles sont les caractéristiques d'un moteur brushless ?

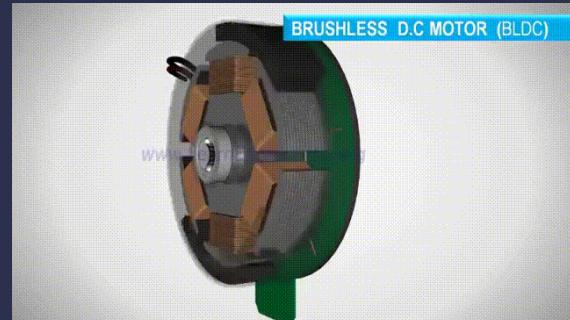


Moteur

Tension (V) max admissible, ex : 4S

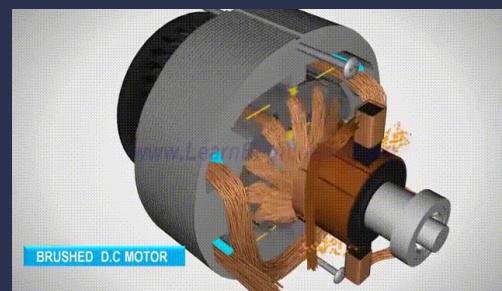
Courant max (A), ex : 20A

Vitesse de rotation, ex : 920KV (tr/min/v) ie $920\text{KV} \times 10\text{V} = 9\ 200\text{tr/min}$



Moteur brushless

VS



Moteur brushed

La poussée



Hélices

Diamètre, ex : 9 pouces
Pitch, ex : 14,5 cm

Quelles sont les caractéristiques d'une hélice ?

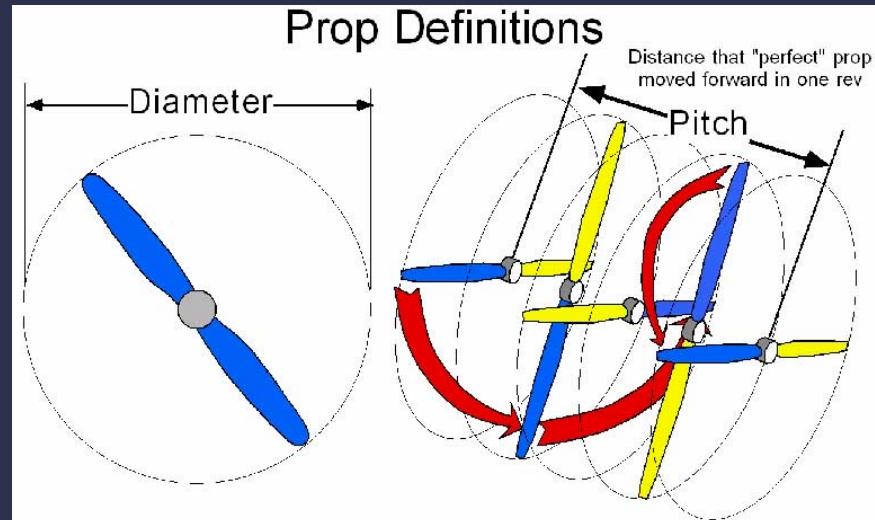
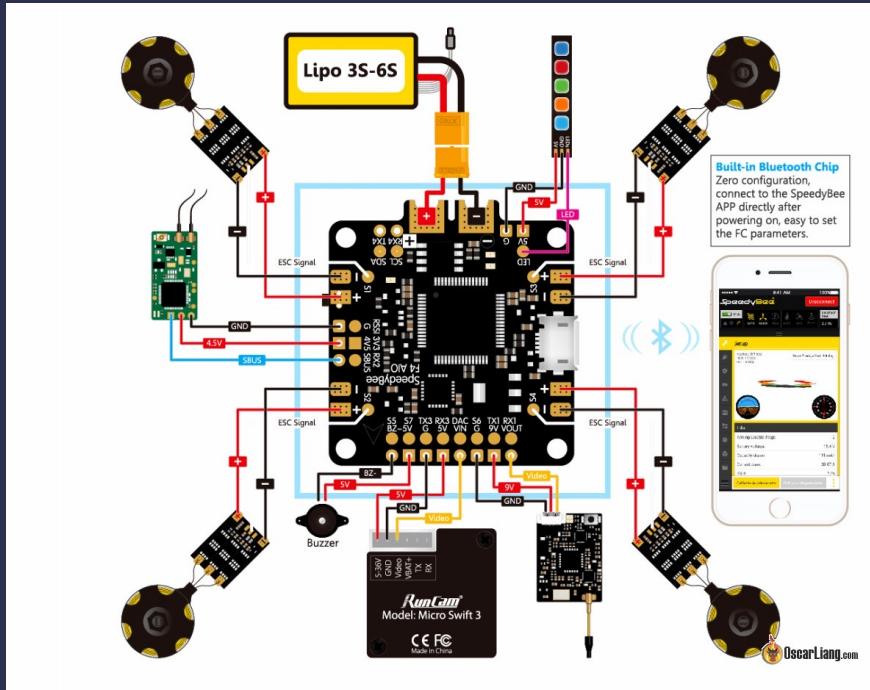


Schéma définition d'une hélice

Résumé

Capteurs

- Gyroscope
- Acceleromètre
- Compas
- Baromètre
- LiDAR
- GPS
- RTK
- DataLink
- Température(s)



Actionneurs

- ESC
- Moteurs

Diagramme de l'électronique d'un drone

Les capteurs

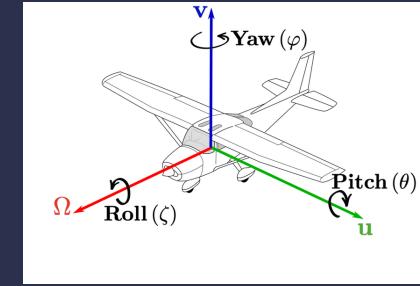
Gyroscope
Acceleromètre
Compas
Baromètre

IMU



Attitude

Raw
Pitch
Yaw (heading)



Rappel Raw/Pitch/Yaw

GPS
LiDAR
RTK

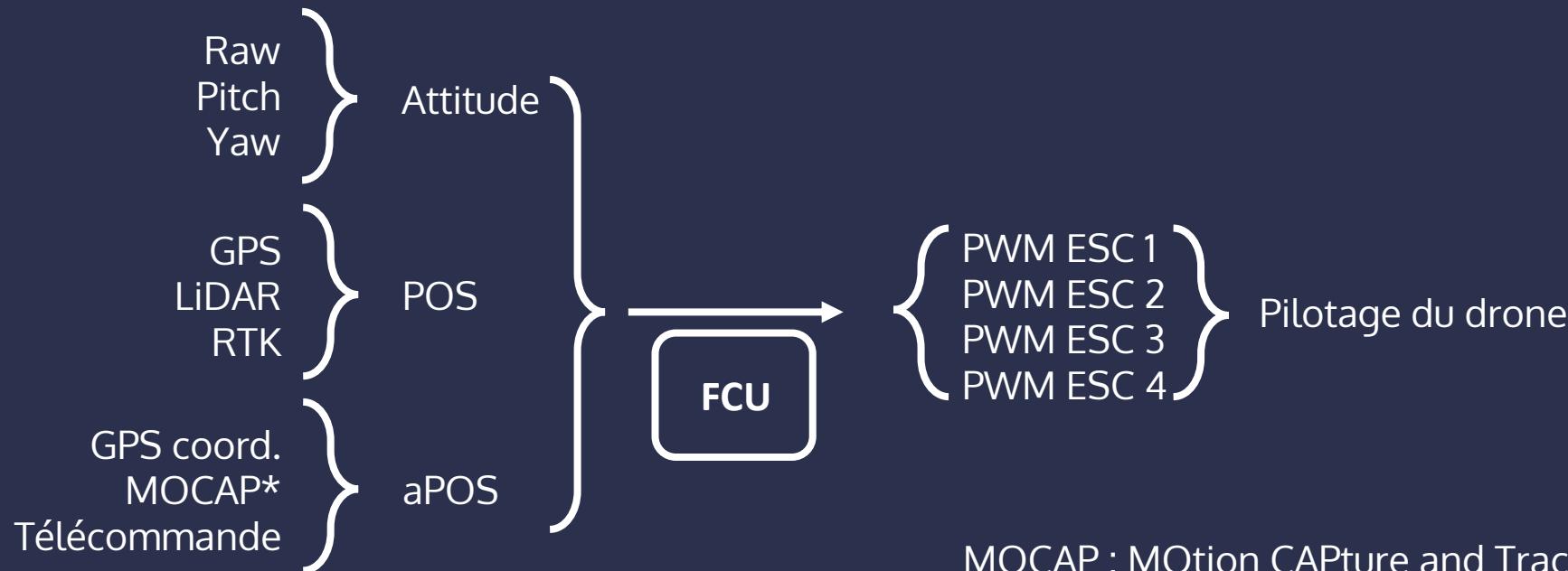
POS

Global pos

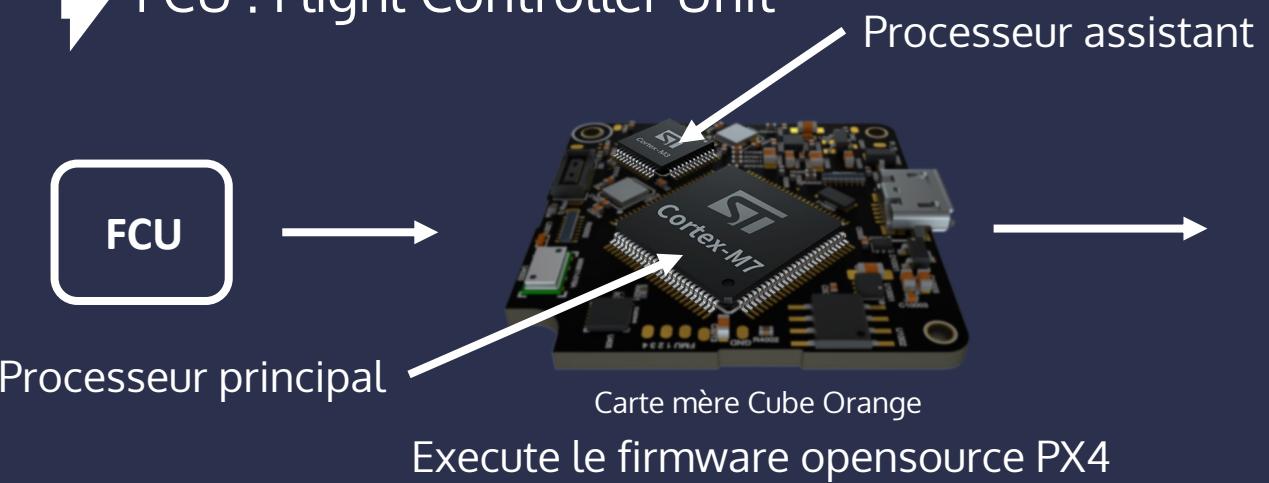
altitude
latitude
longitude



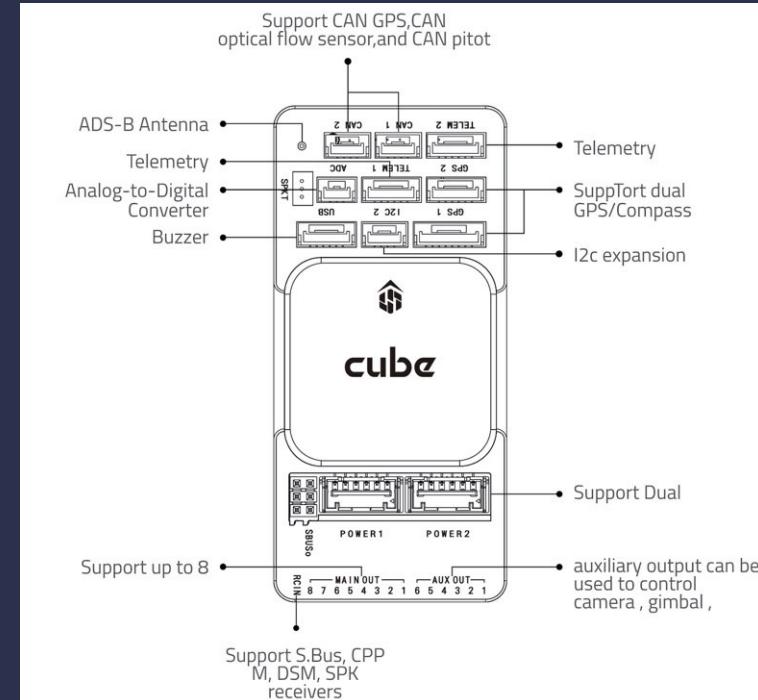
▶ Les actionneurs



FCU : Flight Controller Unit

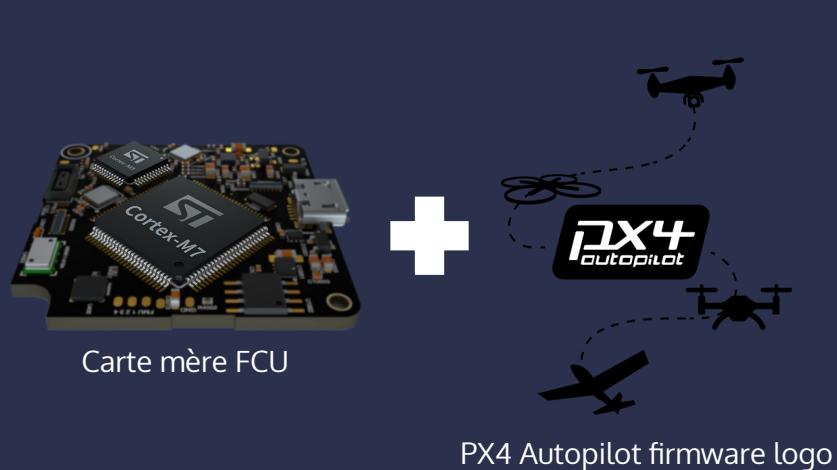


- Redondance des alimentations
- Processeur de secours
- Auto-analyse de ses sorties



FCU : Pixhawk 4 Cube Orange ADSB pinout

→ FCU : Firmware



1. Gestion de l'alimentation
2. Gestion de la position relative
3. Gestion de la position absolue
4. Algorithme d'auto-pilotage
5. Algorithme d'extrapolation de position
6. PID de contrôle des moteurs
7. Vérification temps-réel de l'attitude avec correction
8. ...

 Dysfonctionnement

Catastrophic failure

- Perte d'un moteur
- Perte de l'alimentation
- Perte du FCU



Crash inévitable si pas de redondance, déclenchement du parachute de secours

Failsafe

- (Perte d'un moteur)
- Perte signal GPS
- Données capteurs érronées



Repéré par le FCU : crash évitable. Engagement des procédures d'urgence : Aterrissage ASAP

Warning

- Perte telemetry
- Perte signal RC
- Capteurs non calibrés
- ESC non calibré
- Alimentation faible



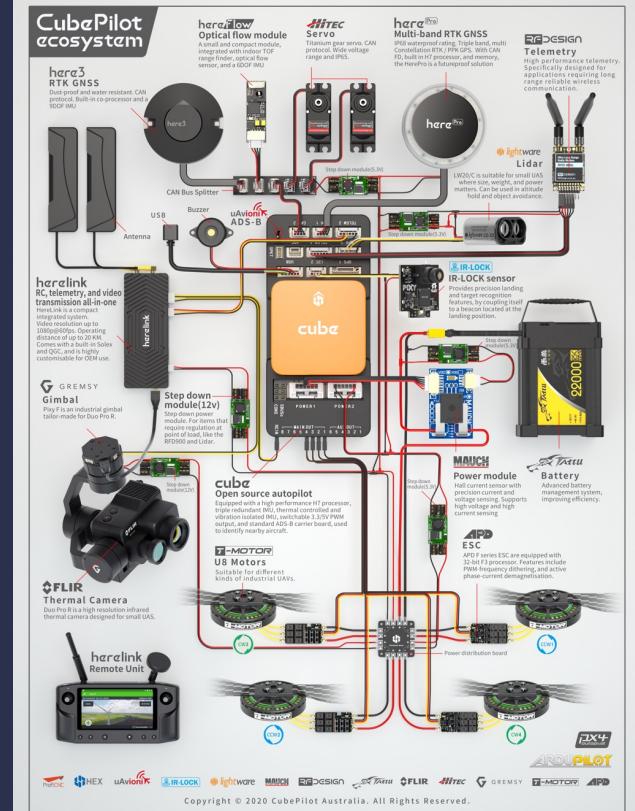
Repéré par le FCU : crash évitable. Surveillance demandée, RTH si besoin.

Composants

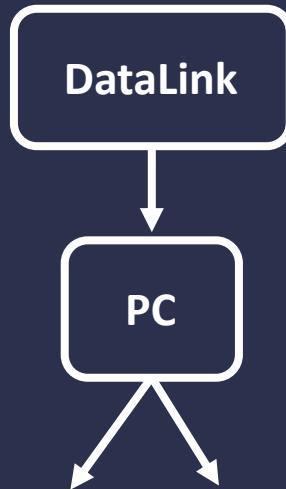
- FCU
- LiDAR 1D (altimètre)*
- LiDAR 2D (guidance)*
- GPS*
- RTK*
- DataLink*
- Gimbal*
- Camera*
- Batterie
- Moteurs
- ESC
- Hélices
- Structure



F550 avec GPS, RTK, MOCAP et Cube Orange

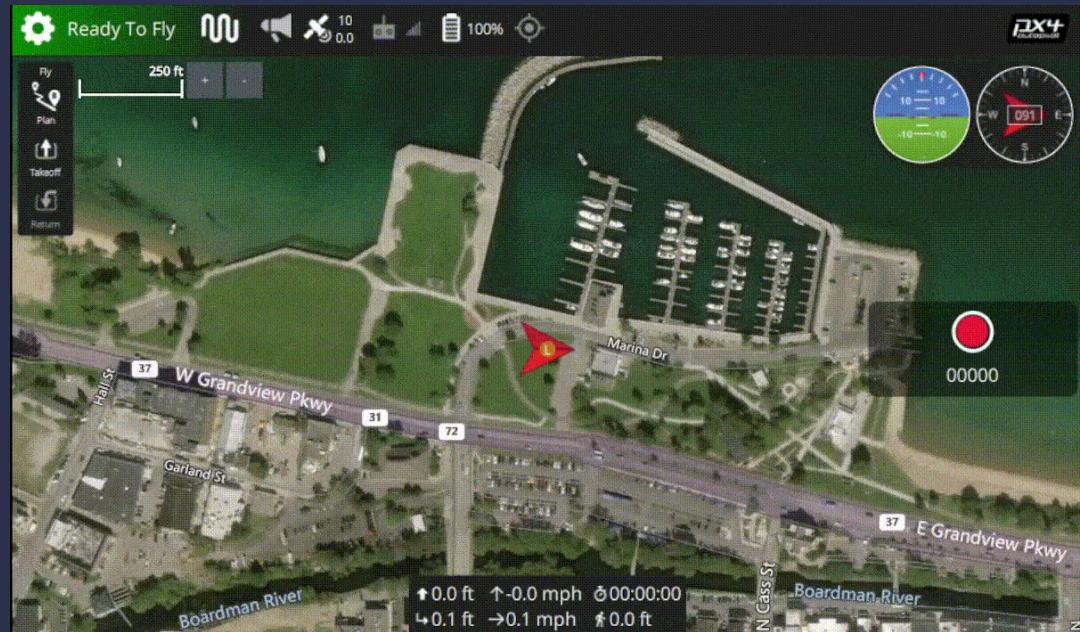


Station au sol



Manette de pilotage

Logiciel de pilotage



Logiciel open source QGroundControl

Avant de voler

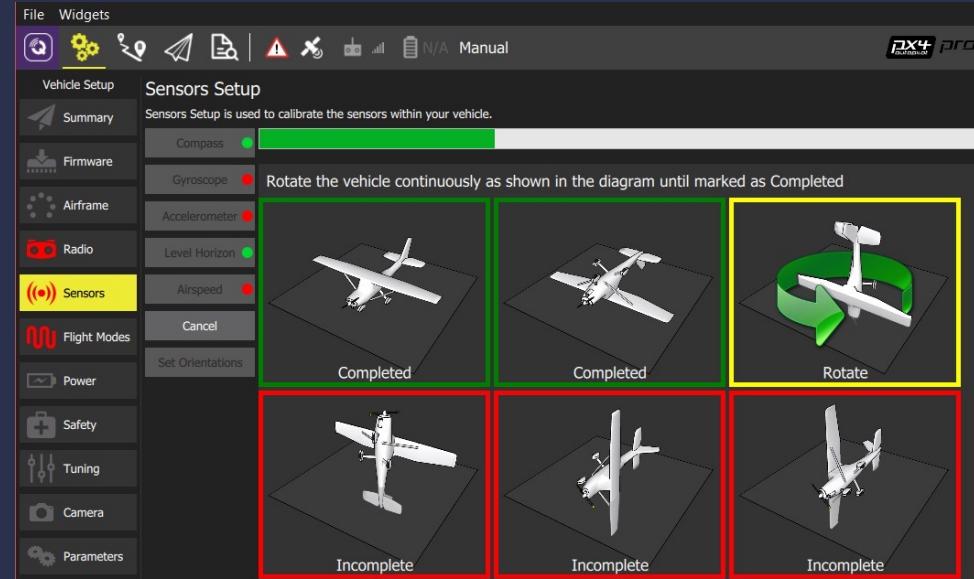
- Vérifier calibration (Gyro, Acc, Comp)
- Vérifier les communications
- Vérifier les moteurs & hélices
- Vérifier les failsafes



Si pas d'erreur alors **armement**



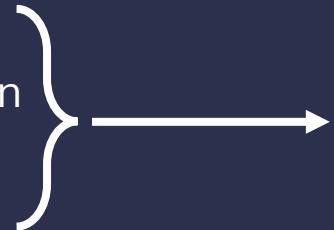
Si armement OK, **décollage**



QGC, panneau de calibration

→ Pendant le vol

Vérifier les erreurs éventuels
Garder un œil sur la consommation
Niveau de batterie
Signal télémétrique & GPS



Si problème : attérir

Les règles

Mise en catégorie des drones (masse)

Formation de télépilote (x2)

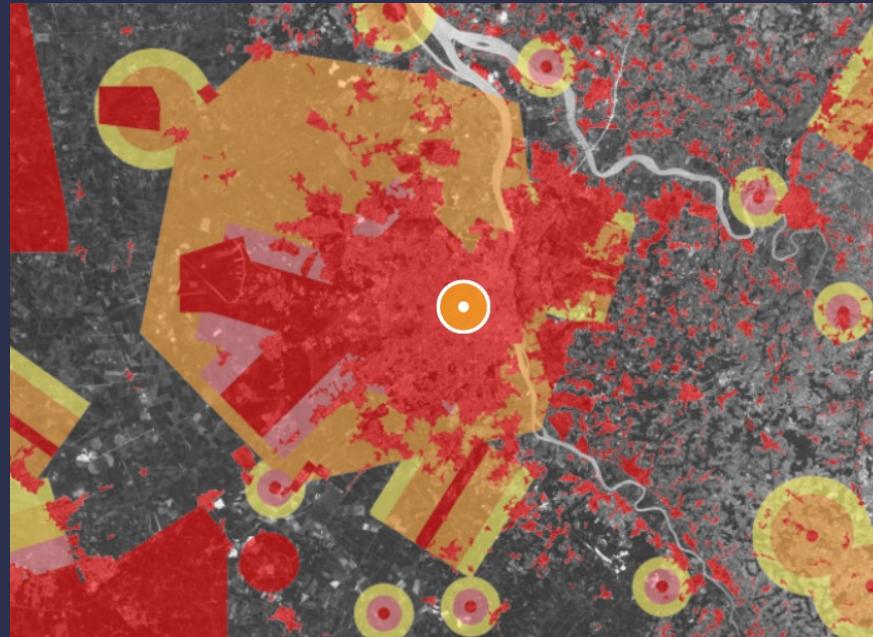
Protection de la vie privée

Zones de vol autorisées

Équipements obligatoires (transpondeur, parachute)



Homologation par la DGAC



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



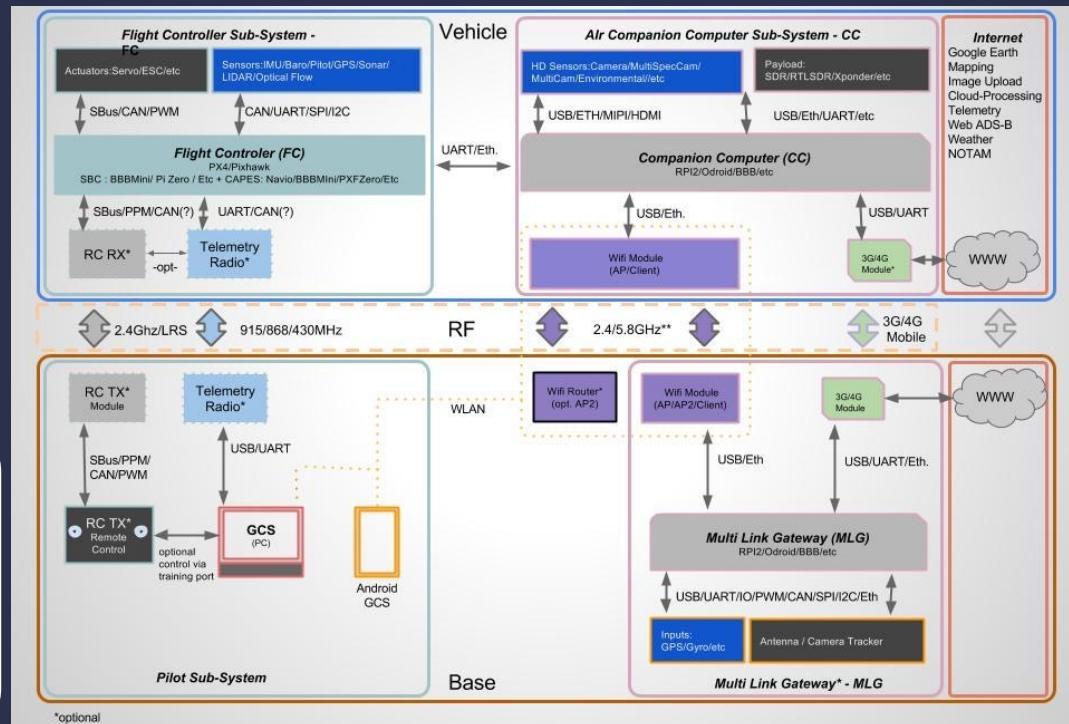
Notion de Companion Computer

Execution de taches plus lourde
Non temps-réel
Pilotage OFFBOARD

OFM : Offboard Flight Mode



Le CC devient maître du FCU, il pilote le drone



PX4 avec ROS

Lien série (ou ethernet) entre FCU et CC

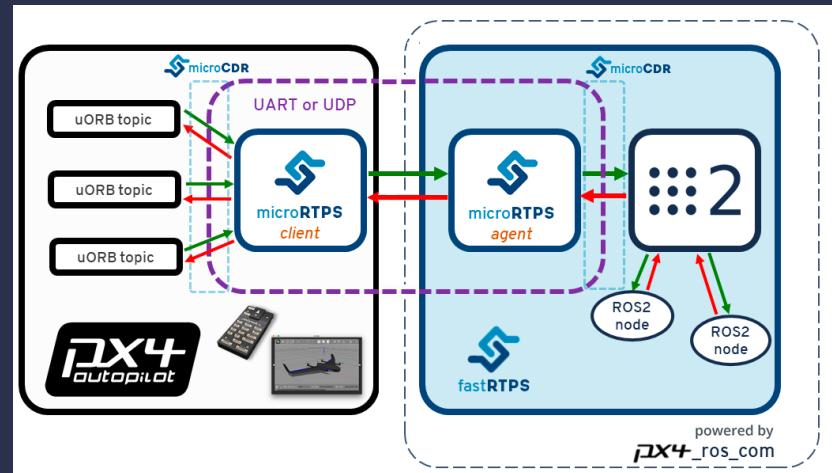


Protocol MAVLink



Publisher/Subscriber ROS

offb_node.py pos_node.py



Architecture d'un système ROS pour
pilotage de drone



Récupération de la position GPS du drone



Publication sur le topic *mavros/state*

Décollage du drone

ROS
Node



Subscribe *mavros/state*

Publication de la position *mavros/set_position_local*



Passage en mode OFFBOARD



Armement du drone



offb_node.py

Sub/pub des différents topics nécessaires

Création de la position de contrôle du drone

Création de la commande d'armement du drone

Passage en mode OFFBOARD du FCU

Armement et décollage du drone

```
state_sub = rospy.Subscriber("mavros/state", State, callback = state_cb)
local_pos_pub = rospy.Publisher("mavros/setpoint_position/local", PoseStamped, queue_size=10)

rospy.wait_for_service("/mavros/cmd/arming")
arming_client = rospy.ServiceProxy("mavros/cmd/arming", CommandBool)

rospy.wait_for_service("/mavros/set_mode")
set_mode_client = rospy.ServiceProxy("mavros/set_mode", SetMode)

pose = PoseStamped()

pose.pose.position.x = 0
pose.pose.position.y = 0
pose.pose.position.z = 2 # Décollage à 2m

offb_set_mode = SetModeRequest()
offb_set_mode.custom_mode = 'OFFBOARD'

arm_cmd = CommandBoolRequest()
arm_cmd.value = True

last_req = rospy.Time.now()

while(not rospy.is_shutdown()):
    if(current_state.mode != "OFFBOARD" and (rospy.Time.now() - last_req) > rospy.Duration(5.0)):
        if(set_mode_client.call(offb_set_mode).mode_sent == True):
            rospy.loginfo("OFFBOARD enabled")

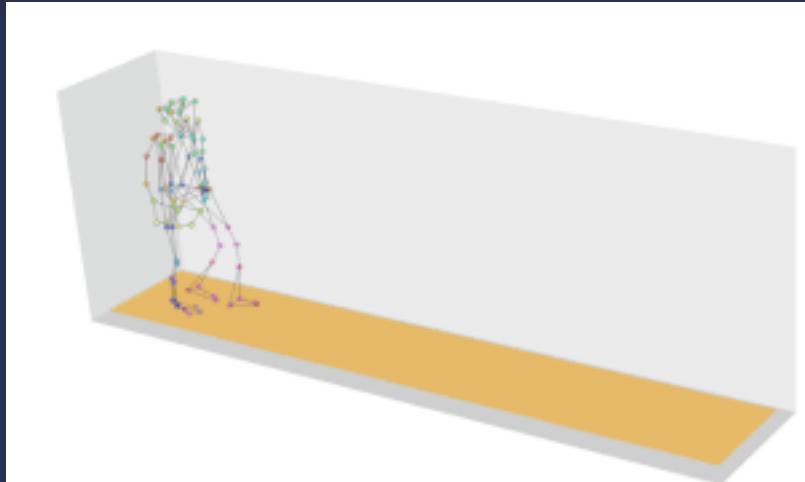
    last_req = rospy.Time.now()
    else:
        if(not current_state.armed and (rospy.Time.now() - last_req) > rospy.Duration(5.0)):
            if(arming_client.call(arm_cmd).success == True):
                rospy.loginfo("Vehicle armed")

    last_req = rospy.Time.now()

    local_pos_pub.publish(pose)
    rate.sleep()
```

Exemple de node offboard

→ Système de MOCAP



Théorie du MOCAP

Utilisation de caméras IR



Calibration des caméras



Récupération de la position des « tags »

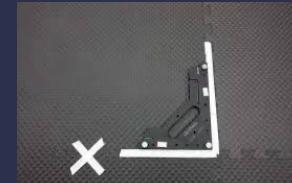


Publication de la position du « tags »

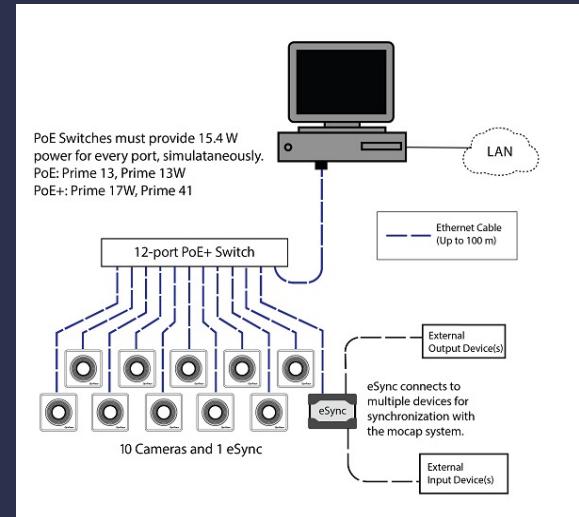
Création d'un repère



Création de la zone de vol

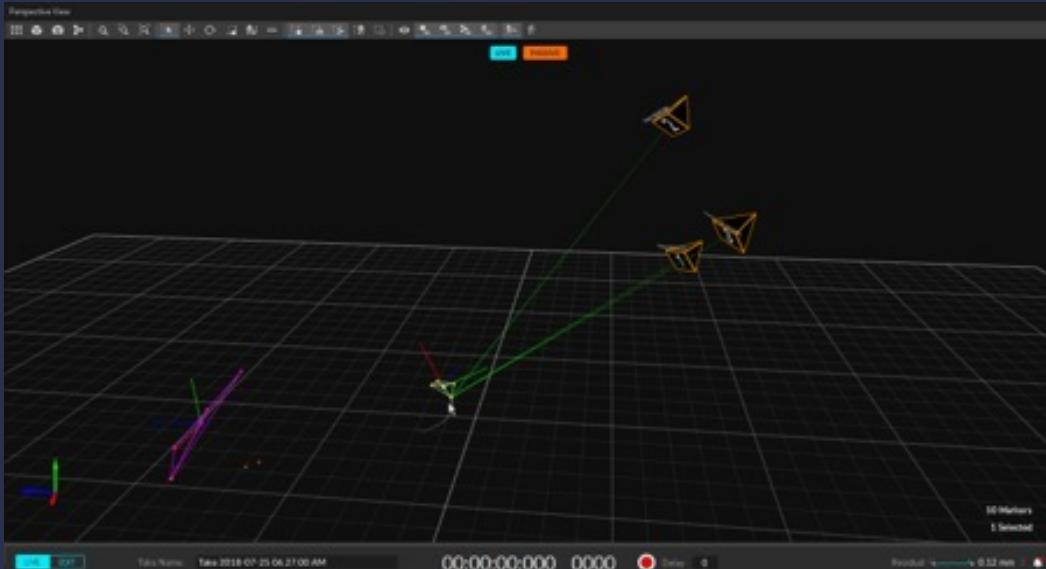


Equerre de calibration

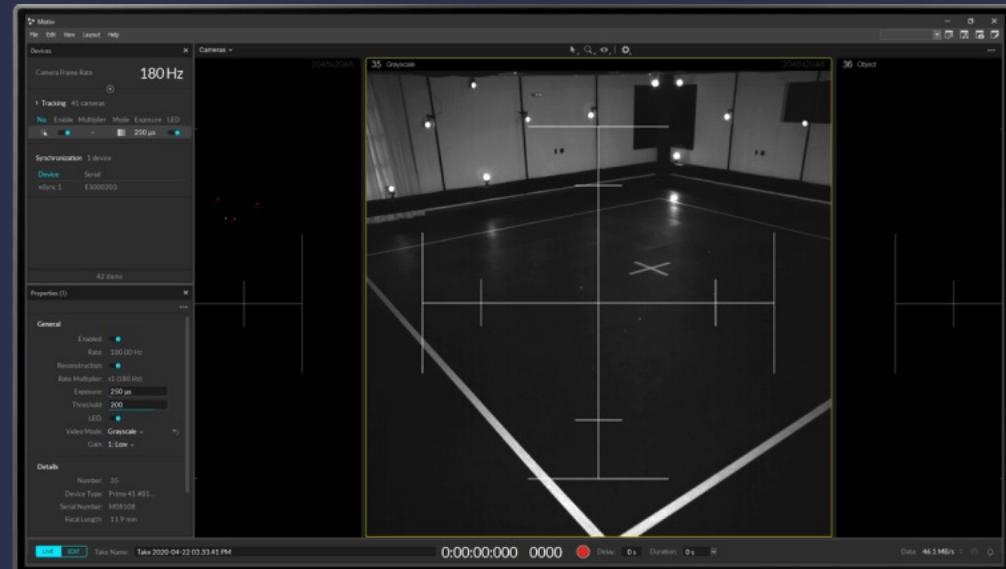


Architecture du système

Création d'un repère



Création de la zone de vol dans MOTIVE



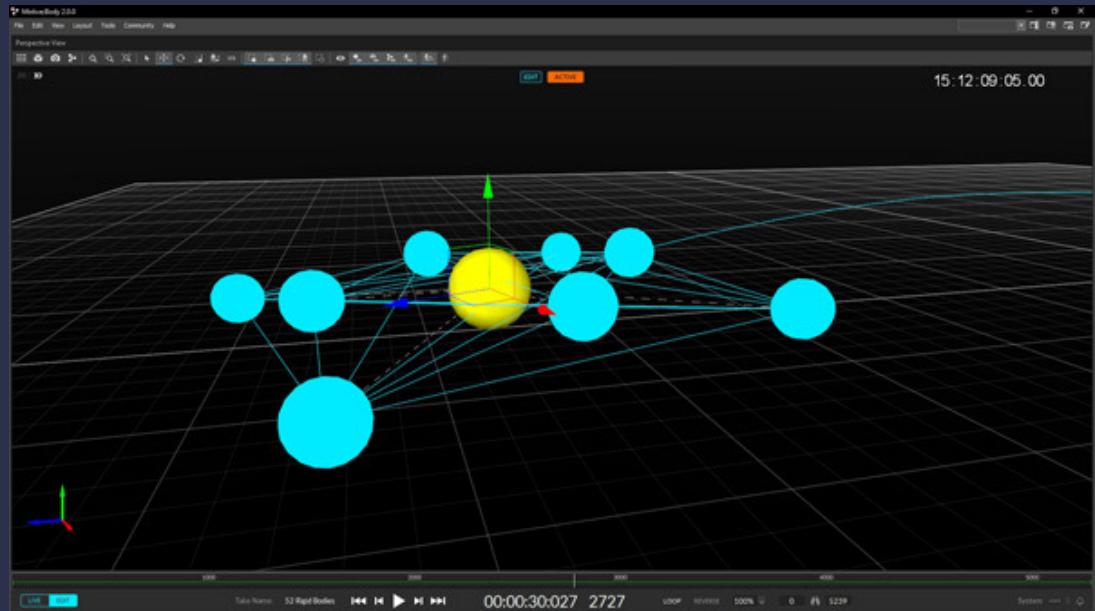
Exemple de vue depuis une caméra



Création d'un repère



Repère composé de "tags" sur un drone



Création de la structure MOCAP du drone

Récupération des données MOCAP avec ROS

Publication des coordonnées du tag par MOTIVE



Server VRPN

MOCAP Computer

ROS

Package *vrpn_client_ros*

Récupération des données MOCAP et
publication dans le topic de
/mavros/vision_pose/pose

Contrôle du drone



Transmission des données au FCU



Package de pilotage du drone



Dans la pratique ...

Lien du github pour le sujet du TP

Mise en place d'un environnement de simulation (gazebo)

Création d'un package *offboard_control*

Essais dans l'environnement de simulation

Mise en place d'un environnement de simulation MOCAP

Configuration du drone simulé

Création d'un package VRPN

Essais dans l'environnement MOCAP simulé

Essais dans la cage MOCAP

Création d'un package de GUIDANCE avec LiDAR + MOCAP [Bonus]



Dans la pratique ...

Au boulot !

<https://github.com/Kariboo-Corp/vol-drone-interieur>