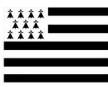


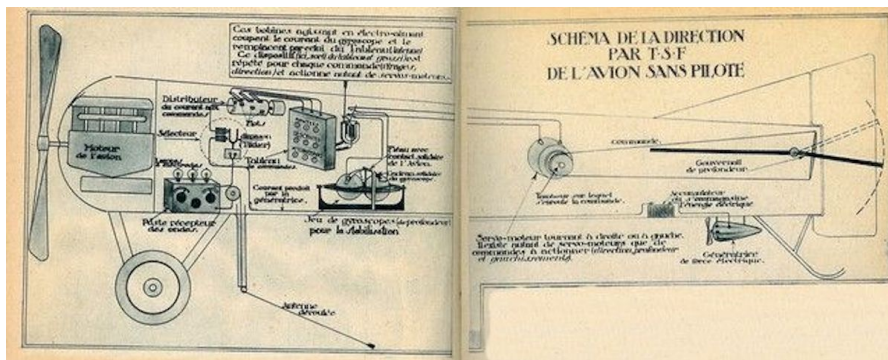
Geste barrière affiché par des drones en formation à Séoul en juillet 2020  
<https://youtu.be/TA1pH6sG98k?t=131>





- Historique des drones
- Différents types de drones et objets volants atypiques
- Pourquoi cette effervescence
- Principes du vol pour différents types d'objets volants
- Les moteurs
- Les sources d'énergie utilisées dans les drones
- Les puces qui animent les drones
- Asservissements, Aspects logiciels
- Principes du vol télécommandé
- Principes du vol autonome
- Analyse d'un vol
- La formation des télépilotes , la réglementation
- Les sens des drones : Capteurs
- Systèmes de navigation
- Les capteurs exteroceptifs
- Les capteurs prioreceptifs
- Fusion de données , intelligence artificielle
- Les télécommunications
- Les différentes charges utiles
- Comparaison entre drones et smartphones
- Les missions confiées aux drones
- Drones en essaim
- Drones et création artistique
- Les fabricants de drones
- Perspectives
- Sources d'information sur les drones

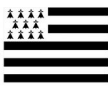
- Les drones (Faux Bourdons en Anglais) ont été développés au départ pour des besoins militaires :
  - Avions cibles pour l'entraînement des pilotes de guerre
  - Préservation de la vie des pilotes : Guerre *zéro mort* et *sans dégâts collatéraux* en principe ???
- Autres appellations : **UAV** ( **U**n**m**anned **A**erial **V**ehicle) ; **UAS** ( **U**n**m**anned **A**ircraft **S**ystem)
- Origine : Angleterre : Première Guerre Mondiale en 1916  
Inventeur : Archibald Low, ingénieur et auteur anglais, développe l'Aerial Target, un projet d'avion-cible sans pilote.  
Principe : TéléCommande à distance au moyen des ondes de TSF.
- Etats Unis en 1917 : Elmer Ambrose Sperry, Lawrence Sperry et Peter Cooper développent le Hewitt-Sperry Automatic Airplane
- France 1923 : Avion sans pilote ou automatique : Développement sous la direction du capitaine Boucher et de l'ingénieur Percheron. Radiocommande multifréquences par relais *tikker*. Moyennant :
  - 12 moteurs électriques, 50 relais, 450 connexions, des bobines de self, des conjoncteurs-disjoncteurs, des génératrices, gyroscopes stabilisateurs de marine SPERRY, servo-moteurs avec leurs embrayages multiples et leurs changements de marche



Avion modifié : *Voisin*

- Source : *Lectures pour tous* Février 1923 : *L'avion sans pilote* Gallica :  
<https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k54211873/f69.item>

- Lors du second conflit mondial, la technologie des drones atteint une certaine maturité et des missions opérationnelles leurs sont confiées. Cf. Bombes volantes V1 et V2 qui ont utilisé les capteurs proprioceptifs du type Gyroscope.
- Les accélérateurs sont la guerre de Corée puis la guerre du Vietnam et le contexte de la guerre froide avec l'affaire de l'U2



- Drones à voilure **fixe** Cf. avions télécommandés pour trajectoire horizontale quasi-rectiligne : Vol en **translation**

Avantages : **Sustentation** par l'air (Effet planeur et finesse) et **élongation maximale**.

Le changement de direction est obtenu par des dérives orientables (Déformation de la voilure), un contrôle des gaz des propulseurs et pour les avions à hélice par un pas variable des hélices.

Inconvénients : Faible manoeuvrabilité, pas de vol stationnaire et beaucoup de g à cause de la vitesse de décrochage élevée. Difficultés d'apprentissage.

- Drones à voilure **tournante à pas cyclique** Cf. hélicoptère (2 rotors) ; **vol stationnaire possible**

Décollage vertical : Avantage de la manoeuvrabilité au prix d'une grande complexité mécanique et d'une élongation faible (Pas de sustentation par une voilure fixe)

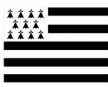
Il faut des pilotes experts dans les 3 dimensions pour manoeuvrer ces engins.

- Drones à voilures **tournantes à pas fixe** : Multicopter : Trajectoire quelconque, nombre de g quelconque. Avantage de la manoeuvrabilité moyennant plusieurs rotors ; jusqu'à 12.
- Le pas fixe apporte une grande simplification mécanique au prix d'une commande par logiciel des vitesses des rotors. **Des asservissements stabilisés par des capteurs permettent un pilotage télécommandé ou autonome et avec un faible temps d'apprentissage car ils rendent très stables ces machines naturellement instables.**

Le prix de l'électronique embarquée devient presque dérisoire grâce aux composants issus des smartphones et aux logiciels embarqués issus du monde libre : Scilab, Linux, Android, Plateforme Arduino etc.

- Drones miniaturisés à ailes battantes à l'imitation des insectes et des oiseaux (Expérimental)
- Autogyres avec voilure tournante actionnée par une hélice propulsive.





Les drones permettent de remplir des missions :

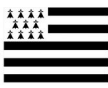
- A moindre coût d'investissement que l'aviation classique (Autogyre, ULM ??)
- Avec un faible coût d'usage (Qualification d'un télépilote moins élevée que celle d'un pilote notamment d'hélicoptère) et carburant remplacé par de l'énergie électrique.
- Sans mettre en jeu la vie d'un pilote
- Leur taille peut être réduite et cela leur permet d'accéder à des endroits inaccessibles aux aéronefs pilotés.

De plus :

- Ils sont à faible coût grâce aux composants électroniques de puissance issus des alimentations pour l'informatique, aux processeurs ARM et aux capteurs qui ont été développés pour les smartphones.
- Les drones en essaim sont un banc d'essai pour les futurs véhicules autonomes.

Le développement important des drones depuis les années 2000 peut évoquer la créativité débordante des débuts de l'aviation vers 1900.

Le développement de drones est accessible à des constructeurs amateurs, des universités, des écoles techniques, des PME tout autant qu'aux grands industriels aéronautiques du secteur civil ou militaire.



1) **HALE** : High **A**ltitude Long **E**ndurance : Altitude 20 000 m , Autonomie > 48h  
Exemples :

RQ-4B Global Hawk

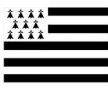


RQ-170 sentinel (Lockheed Martin)



## Drone **FURTIF**

A noter que la cellule n'a pas de formes arrondies mais qu'elle ressemble plutôt à un polyèdre. L'intérêt des faces planes est de réduire leur signature électromagnétique ou **Surface Équivalente Radar**, mais au détriment de l'aérodynamique. Mêmes précautions pour l'émission Infra-Rouge de la sortie des gaz chauds du réacteur.



2) **MALE** : **M**edium **A**ltitude **L**ong **E**ndurance : Altitude entre 5000 m et 15000 m, Autonomie environ 30 h

Exemples :

MQ- 9 Reaper

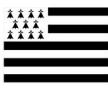


Nacelle (pod)  
d'observation,  
désignateur d'objectif

Turbo propulseur

MQ- 1C Gray Eagle (General Atomics)





3) **TUAV** : **Tactical Unmanned Aerial Vehicles** : Altitude < 5000 m , Autonomie < 10 h  
Exemples :

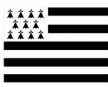
Hermes 450 (Ebit Systems)



RQ-7 Shadow (All Corporation)







4) Mini **UAV** : Mini **U**nmaned **A**erial **V**ehicles : Envergure < 1 m , Autonomie < 4 h  
Exemples :

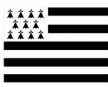
Bayraktar (Baykar Makina)



Hovereye (Bertin Technologies)







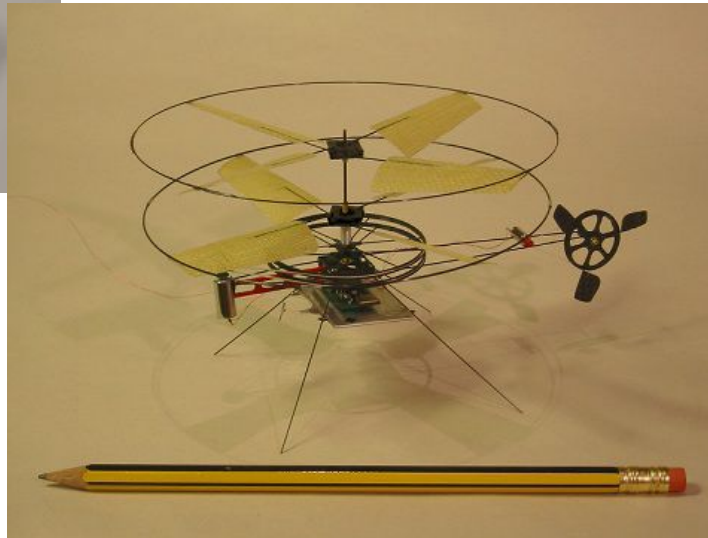
5) Micro **UAV** : Micro **U**nmaned **A**erial **V**ehicles : Envergure  $< 0,3$  m , Autonomie = 30 mn ,  
masse  $< 0,5$  kg

Exemples :

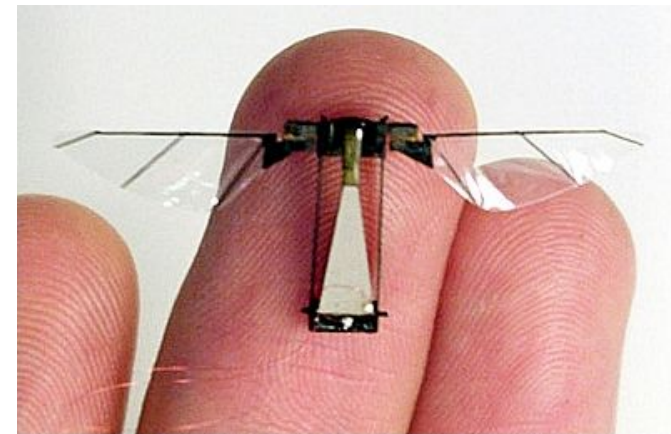
Wasp (Aero Vironment)

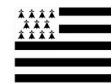


Proxflyer



MFI (**M**icromechanical **F**lying **I**nsect)





Depuis des lustres, il a été construit des maquettes d'avions volantes. Les premières fonctionnaient en vol circulaire avec un pilotage par des câbles. (Vitesse actuelle = 300 km/h) Autoconstruction totale avec structure en balsa, voilure en papier de Chine tendu avec du vernis, moteur de débroussailleuse. Etc.. Les technologies de radio-commande et des moteurs des drones ont d'abord été développées sur les maquettes d'avions, d'hélicoptères et de planeurs.


https://www.miniplanes.fr/avions-rc-c-57.html

800.000 Commandes, ça se fête ! Profitez de notre Grande Braderie sur plus de 1500 articles jusqu'au 24 mars inclus



800.000 commandes expédiées !

se fête !



150.000 références au meilleur prix

Mon compte

Mon panier

Contactez-nous  
02 53 35 51 16 ou par email

FPV RACING
DRONE
AVION
HÉLICO
VOITURE TANK - CAMION
BATEAU
RADIOS SERVOS - SIMU
BATTERIES CHARGEURS
MOTORISATION
ACCESSOIRES OUTILS
MAQUETTE FUSÉE
MINIATURE FERME
CAMERA GOPRO-FPV
TRAIN CIRCUIT 24
SPORTS & LOISIRS











BRADERIE MODELISME
Nos Packs
Bonnes Affaires !
Lipomagic
Précommandes
Nouveautés
Promotions
Livraison Offerte
Catalogue
Pour Débuter
Nos 663 Marques
Blog

Accueil / [Avions et Planeurs RC](#)

## AVIONS RC

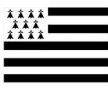
MiniPlanes est le spécialiste en France des avions radiocommandés, avec une gamme riche et variée. Nous essayons en permanence d'avoir les dernières nouveautés sur des marques reconnues par les modelistes telles que Graupner, Dynam, E-Flite, Famous-FMS, Great Planes, T2M, Ares, Seagull Model, Staufenbiel, Hobbyzone ou encore Parkzone. Vous trouverez ici des avions pour les débutants ainsi que pour les pilotes les plus chevronnés !

### CATÉGORIES AVIONS RC TÉLÉCOMMANDÉ - AEROMODELISME

				
JOUET RC VOLANT 49 Produits	AVION RTF 36 Produits	AVION ARF 461 Produits	AVION FPV 12 Produits	AVION ARF THERMIQUE > 2M 43 Produits
				
HYDRAVIONS RC 2 Produits	PLANEURS 35 Produits	JETS ELECTRIQUES RC 36 Produits	JETS GRAND MODELE 2 Produits	AVIONS VTOL 4 Produits



- ENCART HH
- #### CATÉGORIES
- Avions et Planeurs RC
- Jouet RC Volant
  - ▶ Avion RTF
  - ▶ Avion ARF
  - ▶ Avion FPV
  - ▶ Avion ARF thermique > 2m
  - Hydravions RC
  - ▶ Planeurs
  - Jets Electriques RC
  - Jets grand modele
  - Avions VTOL
  - Kit Avion Bois à monter
  - Parapentes et Paramoteurs
  - ▶ Univers Avions RC FMS
  - MiniPlanes Distributeur Officiel Freewing



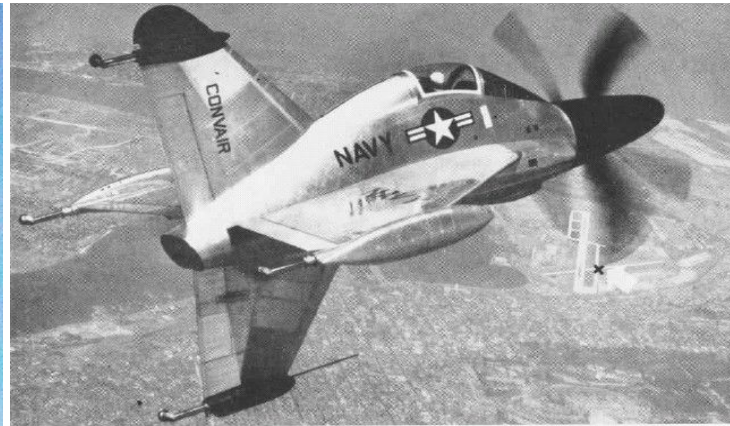
**Convertible ou ADAV** Avion à Décollage et Atterrissage Vertical ou **VTOL** Vertical Take-off and Landing

Objectif : Le même engin est optimisé pour le vol en translation et le décollage vertical / vol stationnaire

Convair XFY Pogo  
Décollage & Vol  
stationnaire

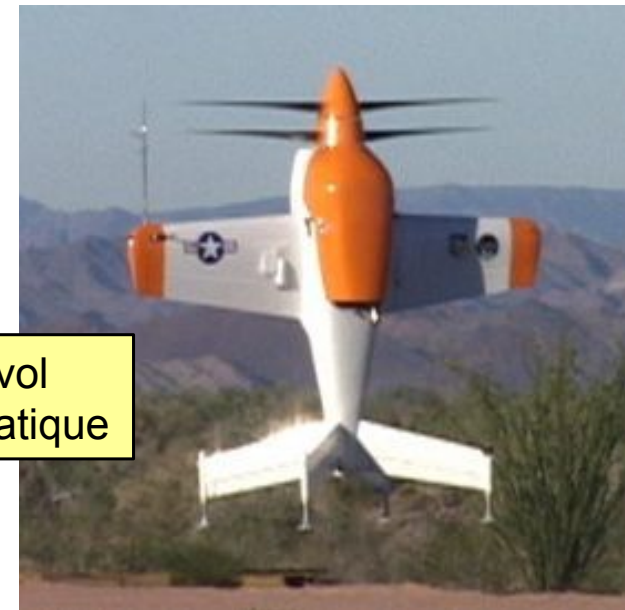


Convair XFY Pogo  
Vol en translation  
Vitesse max 980 km/h

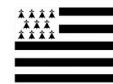


Le passage du vol en translation vers le vol stationnaire et réciproquement est acrobatique

SkyTote, (AeroVironment)  
- Elongation : 380 kilomètres  
autonomie ; environ 3 h.  
- Charge utile 30 kg







## Rotors Basculants

AW609  
(AgustaWestland)



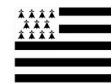
Nord 500  
(Nord Aviation)



Eagle Eye  
(Bell Helicopter)



# Exemple d'objets volants atypiques : Autogyres



- Classification : ULM
- Inventé en 1923 par l'Espagnol Juan de La Cierva
- Possibilité de construction amateur
- Décollage sur 40 m seulement
- Vitesse min 20 km/h sans décrochage
- L'autorotation depuis une altitude suffisante est une sécurité panne moteur
- Commandes de vol plus simples que pour un hélicoptère

Voilure tournante à pas fixe, libre et plan de rotation inclinable : Profondeur et roulis + stabilisation par effet gyroscopique

Flexible de transmission pré-rotation débrayable pour le décollage

Moteur thermique à explosions 4 temps

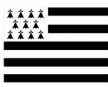
Hélice de propulsion

ULM Autogyre Magni M16

<https://www.youtube.com/watch?v=dMEqspQG3Zk>



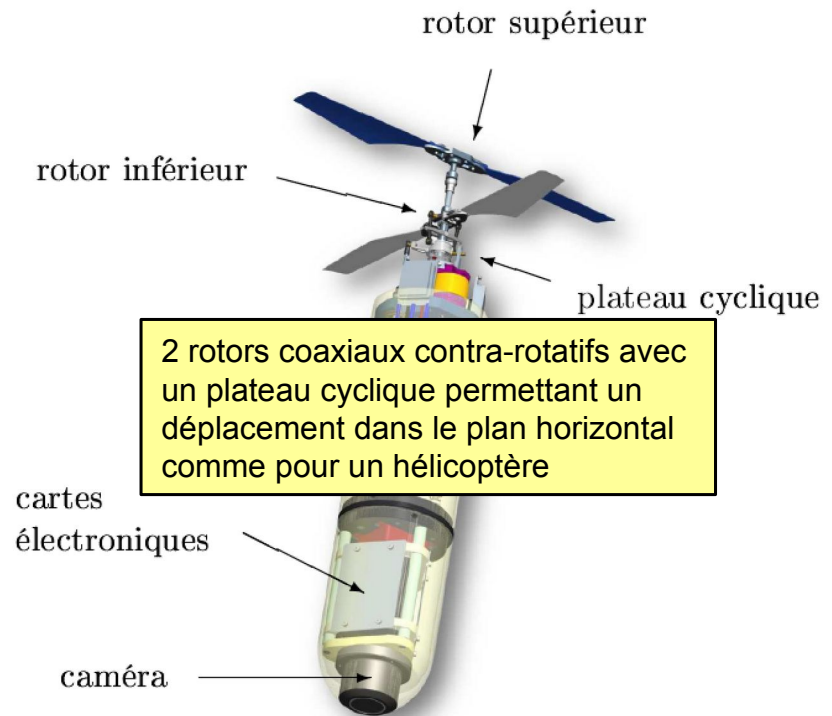
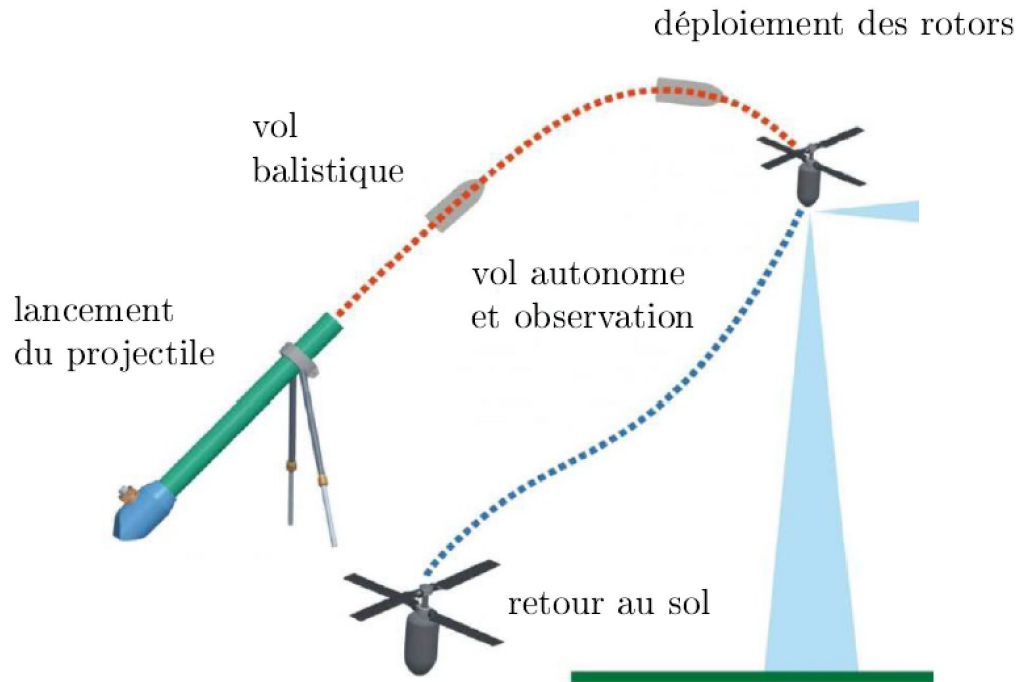
# Exemple de drones atypiques 1



## GLMAV (de l'anglais **G**un **L**aunched **M**icro **A**erial **V**ehicle)

Phase projectile en vol balistique pour atteindre l'altitude opérationnelle de 500 m

Intérêt : Economiser l'énergie nécessaire pour gagner une altitude de 500 m



(b) Configuration dépliée

Source : Thèse d'université : Stratégies de commande pour la navigation un drone projectile miniature

Par M. Alain Drouot

Université de Lorraine ; 23 décembre 2013

HAL Archives ouvertes : tel 0092953



**Camcopter S-100**, développé par Schiebel et utilisé par l'armée pour des missions de reconnaissance  
Tourelle / nacelle d'observation orientable en bas de l'appareil



**RMAX**, conçu par Yamaha et utilisé comme moyen d'épandage aérien  
Rotor 4 pales

- Inspection des conduites d'eau
- Inspection de barrages
- Cartographie des fonds sous-marins : Pose des câbles de télécommunication ; câbles d'énergie
- Cinéma
- Repérage, photographie , remontée d'objets : Titanic, avion AF vol Rio-Paris
- Etude du milieu marin vivant : Coraux
- Etude de pollution marine : Catastrophe de plateformes pétrolières
- Applications militaires

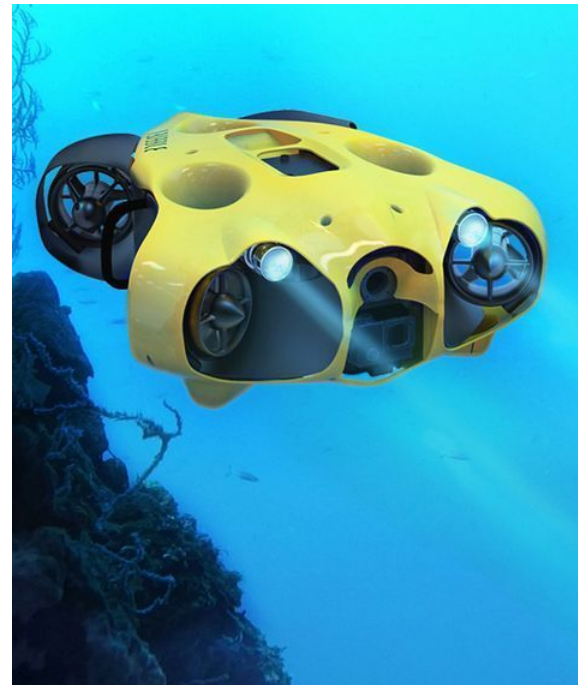
Drone sous-marin sans fil  
Robosea-BIKI



Drone sous-marin PowerVision  
PowerRay avec câble relié à la surface



Notilo Plus iBubble



**Drone d'origine Française utilisé par la société de travaux aériens AirMarine et construit par delair-tech comme un planeur donc avec une grande finesse**

Drones

**AIR MARINE est opérateur certifié « S4 »** et détient des marchés de surveillance linéaire récurrents avec des engins de ce type.

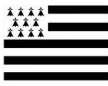
## Fiche Technique

Endurance	120 min
Poids	2 kg
Vitesse	17 m/s
Catégorie	—
Scénario	S4

Source : Air Marine

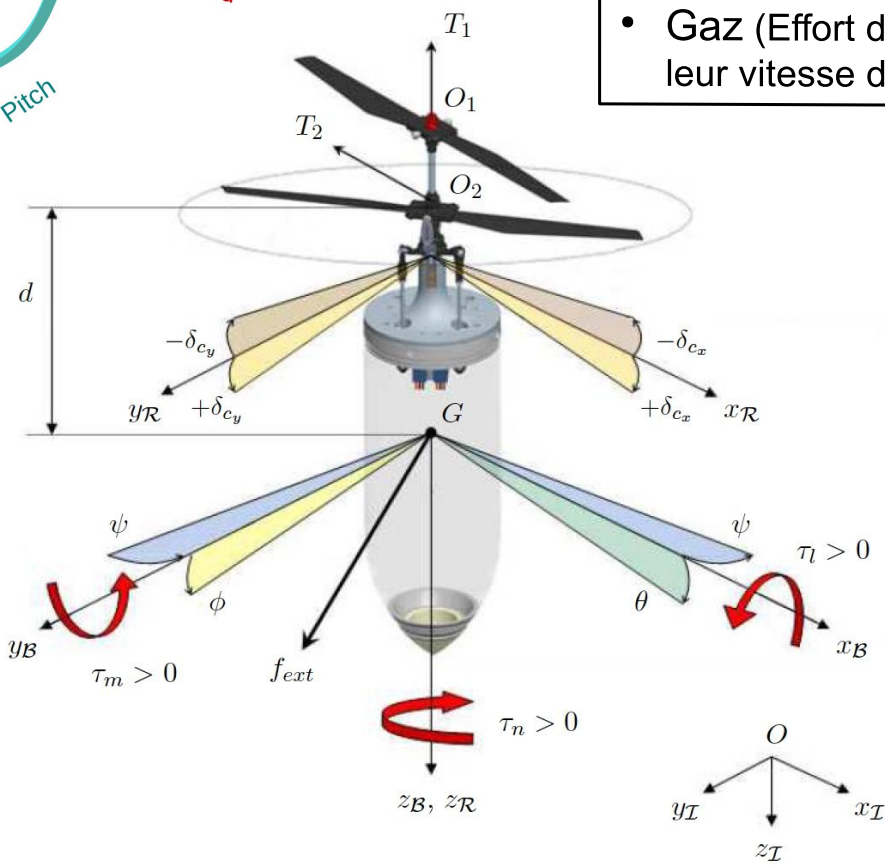
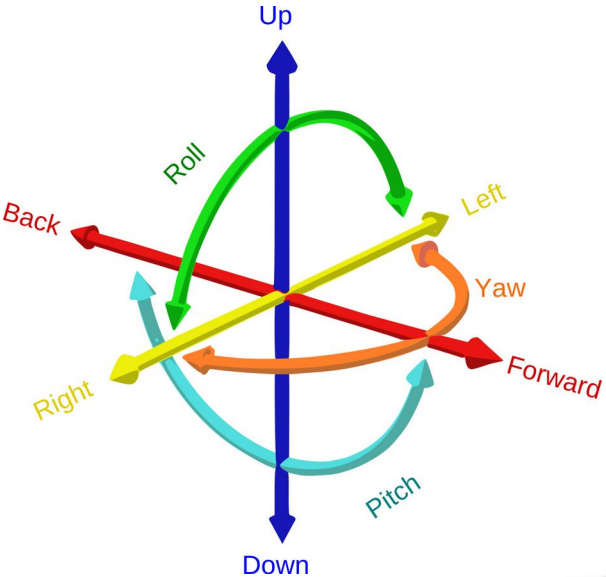


# Un peu de cinématique ; paramètres d'attitude



2 Joy stick pour 4 commandes de vol :

- Tangage : Avant / Arrière ; Profondeur (Axe y ;  $\Theta$  est l'angle de tangage) ; Pitch
- Roulis : Déplacement latéral Gauche / Droite (Axe x ;  $\Phi$  est l'angle de roulis) ; Roll
- Lacet ; cap : Rotation sens horaire ou antihoraire (Axe z ;  $\Psi$  est l'angle de lacet) ; Heading, Yaw
- Gaz (Effort donné par les hélices en fonction de leur vitesse de rotation ; pas de pas variable)



**Repère Oxyz dans l'espace avec 3 axes orthogonaux x, y, z**  
 D'après la thèse sur le drone GLMAV  
 Plan horizontal = plan contenant les axes Ox et Oy  
 Axe vertical = Axe Oz dirigé vers le bas

La maîtrise du vol implique le contrôle de :  
 - 3 mouvements de translation  
 - 3 mouvements de rotation  
**Soit 6 degrés de liberté**



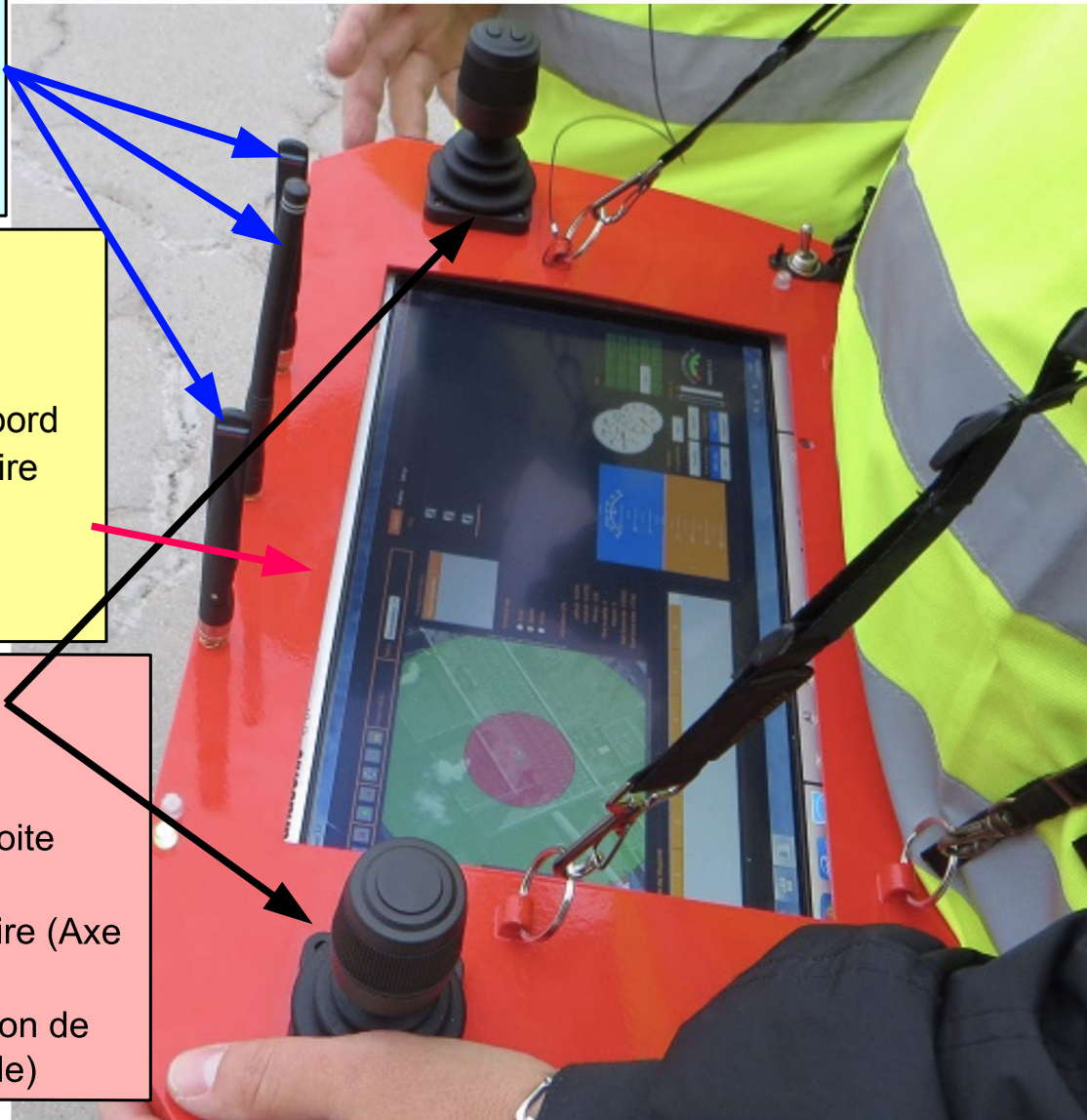
**Plusieurs antennes** pour assurer des redondances par effet de diversité d'espace

## Boîtier électronique avec :

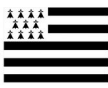
- Emetteurs / Récepteur radio commande
- Carte électronique avec logiciel de vol
- Ecran (Tactile) renvoyant la vidéo prise à bord du drone, les paramètres de vol, la trajectoire sur une carte, l'état de la batterie
- Positionnement GPS
- Source d'énergie Batterie rechargeables

## 2 Joy stick pour 4 commandes de vol

- Tangage : Avant / Arrière ; Profondeur (Axe y ;  $\Theta$  est l'angle de tangage )
- Roulis : Déplacement latéral Gauche / Droite (Axe x ;  $\Phi$  est l'angle de roulis,)
- Lacet : Rotation sens horaire ou antihoraire (Axe z ;  $\Psi$  est l'angle de lacet)
- Gaz (Effort donné par les hélices en fonction de leur vitesse de rotation ; pas de pas variable)



# Segment sol : Poste de pilotage allégé avec smartphone



## Télécommande



Retour d'image de la caméra embarquée sur smartphone Samsung + informations de pilotage



## Télécommande

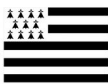
Retour d'image de la caméra embarquée sur smartphone + informations de pilotage

Contrôle routier : Respect de l'arrêt au stop par des gendarmes

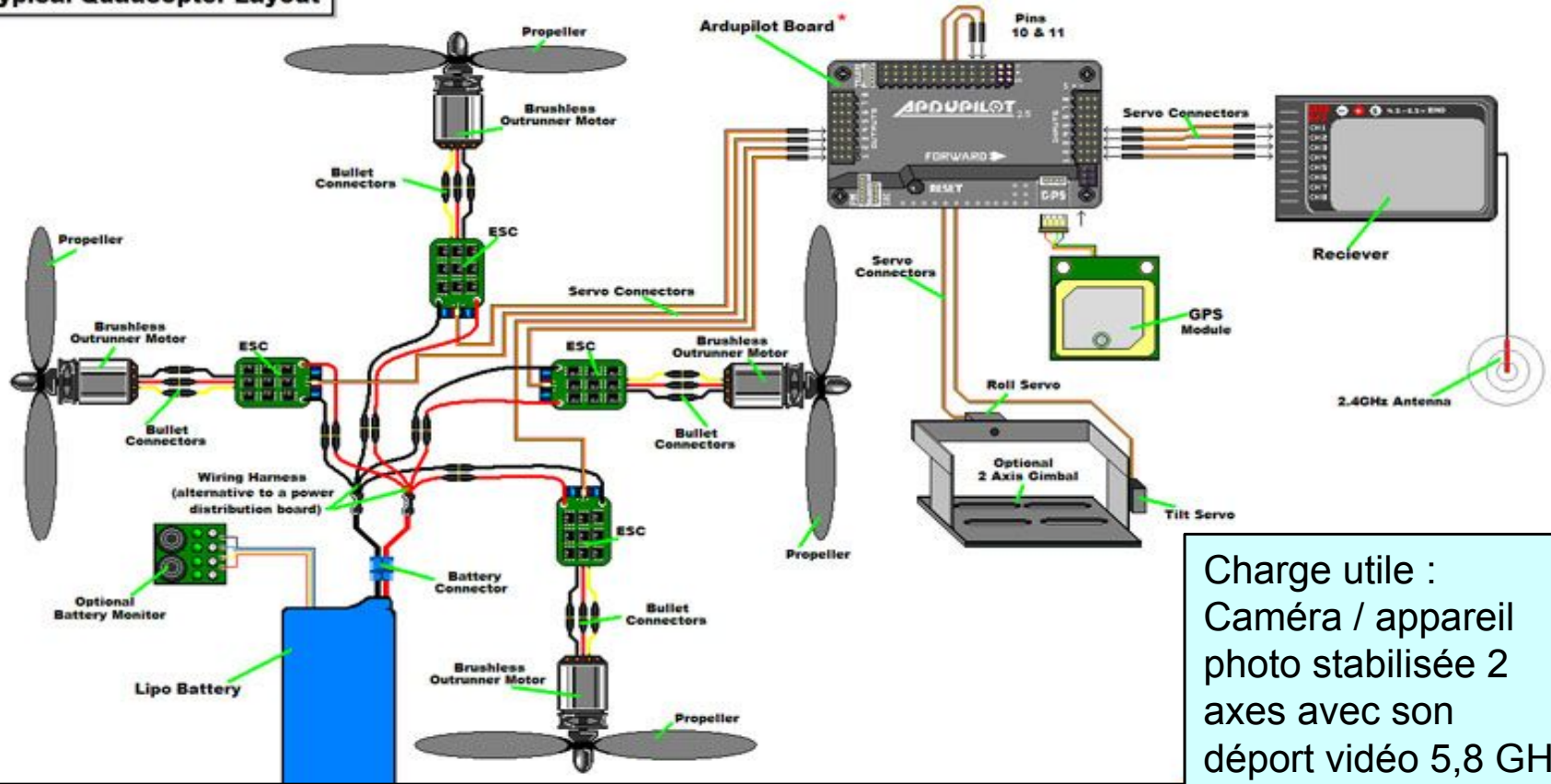
Source : Modèle Hercule de Drone Volt

Drone DJI

# Les puces qui animent les drones : Câblage électrique



Typical Quadcopter Layout



Charge utile :  
Caméra / appareil photo stabilisée 2 axes avec son déport vidéo 5,8 GHz

**ESC = Electronic Speed Controller** : Générateur de 3 signaux de puissance créant un champ triphasé tournant à vitesse variable dans les moteurs électriques sans balais. **C'est le contrôle précis de la vitesse de rotation de chacun des moteurs qui seul permet le pilotage du drone.**  
ArduPilot = Carte contrôleur de vol dérivant d'une carte système Arduino (Logiciel libre) avec ses capteurs proprioceptifs  
Lipo Battery = Batterie au Lithium **PO**lymère (3,7 V par élément) à fort courant de charge / décharge



## Moteurs thermiques

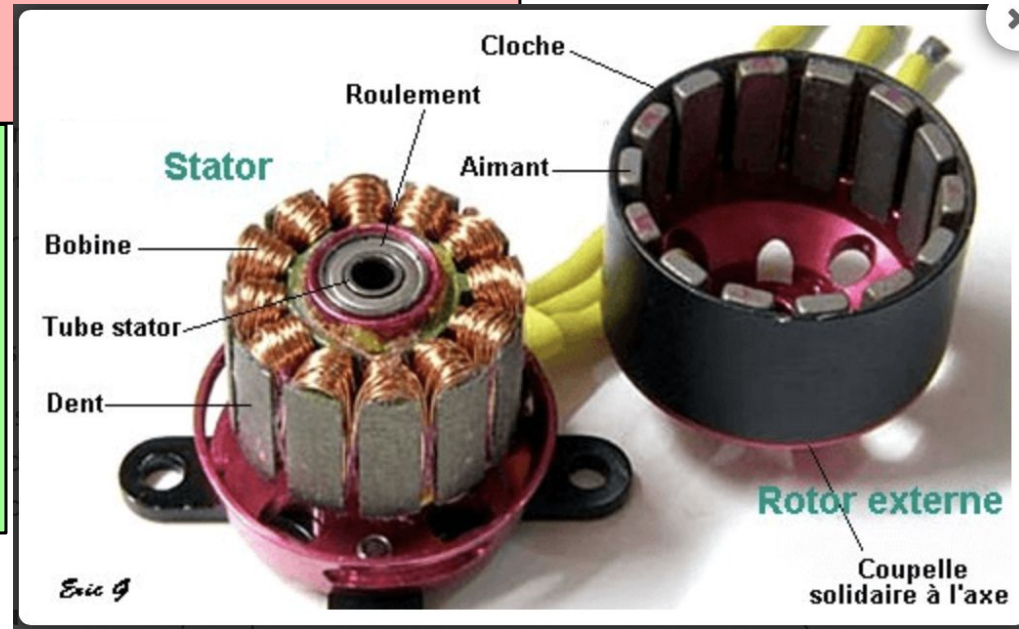
- A réaction ; carburant de propergols pour les très hautes altitudes
- A explosion ; carburant de type essence
- A réaction ; carburant de type Kérosène

## Moteur électrique *brushless* synchrone à aimants permanents

Rotor externe équipés d'aimants en terres rares (Cf. disques durs)

- Forte puissance massique : 5 kW / kg ; R = 80 %
- Moteur thermique : 1,5 kW / kg ; R = 30 %
- Alimentation environ 24 V ; courant typique 50 A
- Masse 250 g

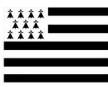
Vibrateurs piézo-électriques pour les ailes battantes des drones insectes



## Moteurs électriques et leur source d'énergie

- **Alimentés par batterie LiPo avec conversion DC / alternatif triphasé (ESC) et beaucoup moins d'énergie disponible qu'avec les carburants ce qui limite l'autonomie à 30 mn....**
- Alimentation électrique en mode drone captif depuis le sol par un câble
- Alimentation depuis le sol par un laser de puissance et conversion en énergie électrique par des convertisseurs photovoltaïques
- Alimentation depuis le sol par un faisceau d'énergie micro-ondes et conversion en énergie électrique par un réseau d'antennes et des diodes détectrices

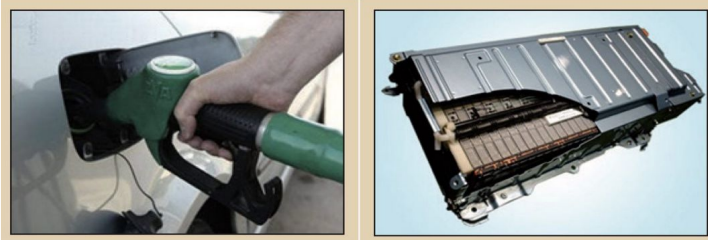
# Écueils des sources d'énergie



Thermique vs. électrique : le stockage d'énergie.

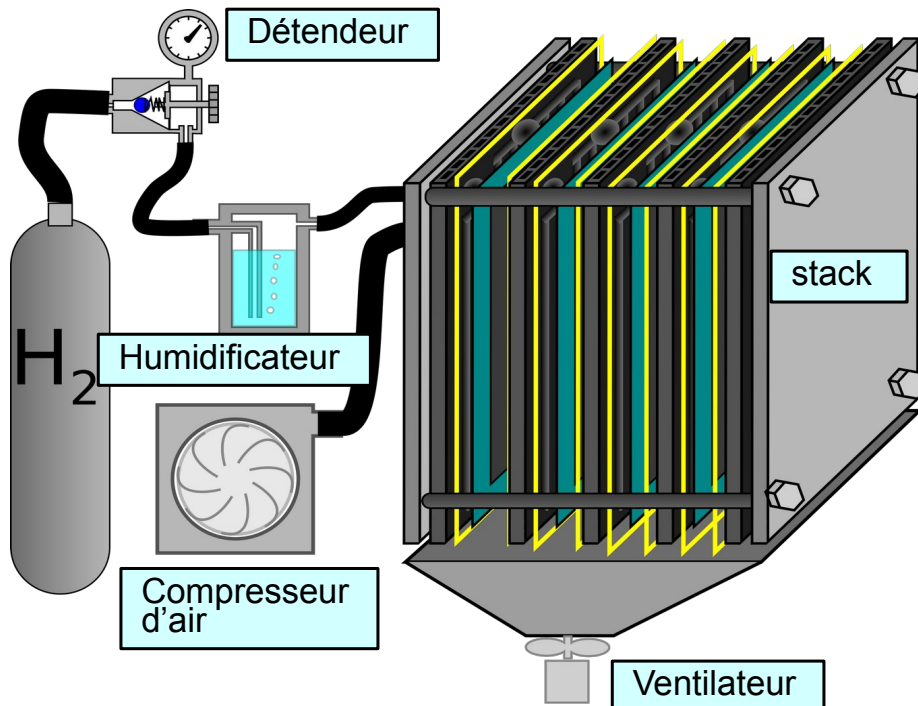
Comparaisons effectuées en 2010 pour les voitures électriques

Carburant : Essence  
Batterie : Lithium Ion



A noter que le nombre maximum de cycles de charge / décharge avant une baisse excessive de la capacité est de l'ordre de 500.

Énergie spécifique (kJ/kg)	47 300	300 à 600
Puissance de charge (kW)	18 920 0,4 kg/s	3 à 80
Coût « contenant » (€)	< 100	8 000 20 kW-h 400 €/kW-h
Coût énergie 100 000 km (€)	9 600 6 l/100 km 1,6 €/l	1 500 150 W-h/km 0,1 €/kW-h



Piles à combustible utilisant de l'hydrogène H<sub>2</sub>

- Piles à combustible à membrane d'échange de protons,
- Piles à combustible à membrane électrolyte polymère PEMFC : Proton Exchange Membrane Fuel Cells ou Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells

→ Alternative prometteuse

MAIS points bloquants technologiques :

- Catalyseurs utilisant du platine
- Empoisonnement du platine par le CO
- Membranes NAFION fragiles : T < 80 °C
- Vieillesse trop rapide
- Stockage de l'hydrogène nécessitant des précautions
- L'hydrogène industriellement disponible vient de sources carbonées.



# Les puces qui animent les drones : Schéma bloc

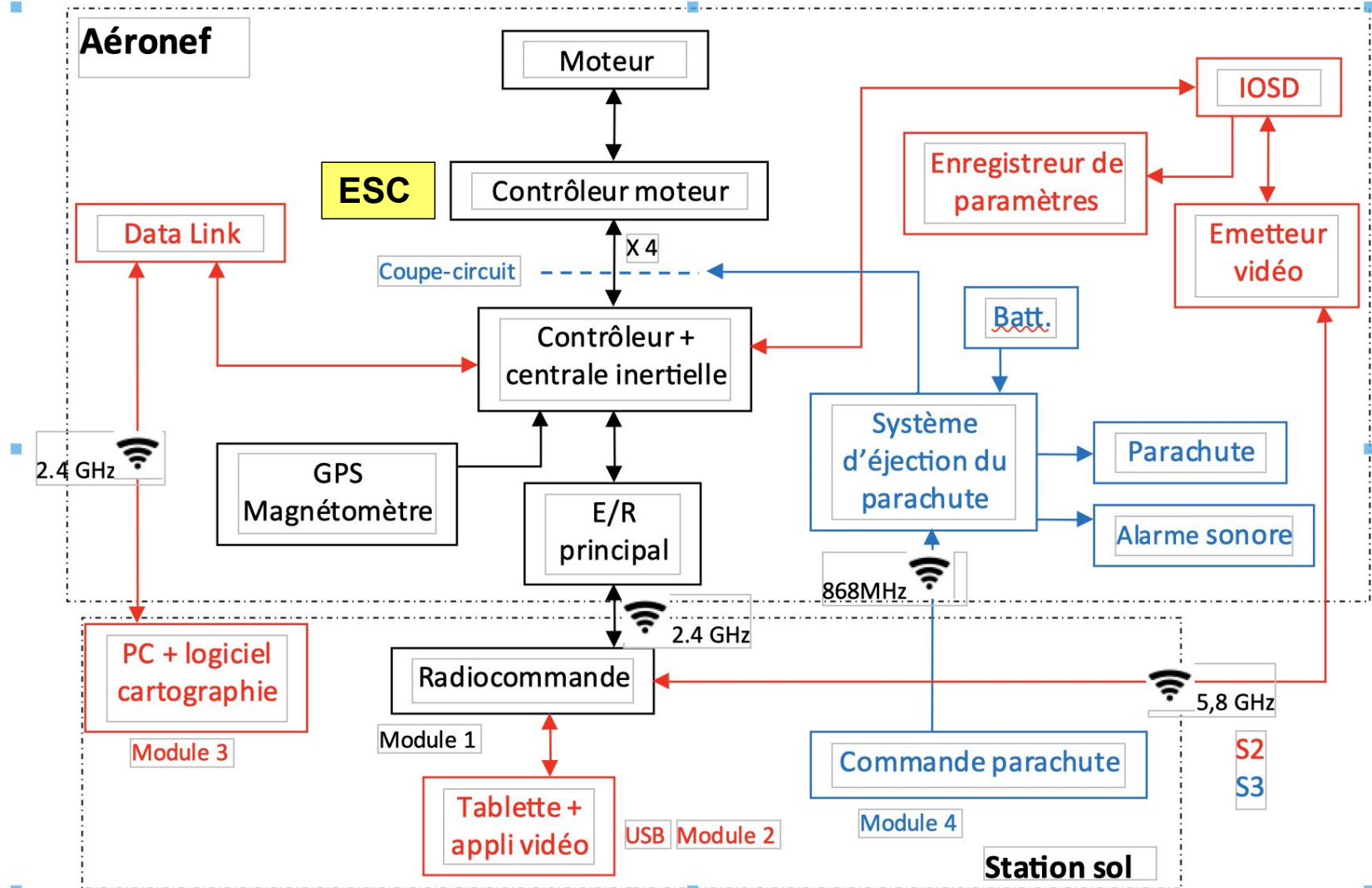
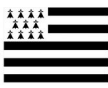


Schéma bloc type pour un quadricoptère professionnel avec le segment Vol (Aéronef) : le drone et le segment sol : Les commandes de vol et leurs liens radio + interface Télé-pilote



## HX15: Modèle comportemental du Drone, sous Scilab Xcos et Matlab

Les théorèmes de mécanique utilisés pour aboutir à un modèle mathématique du drone sont l'axe du programme des CPGE.

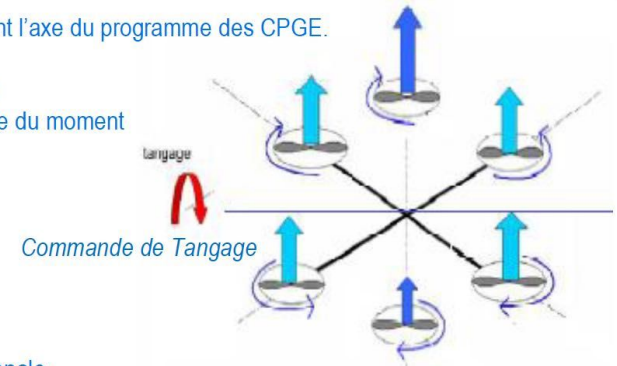
Il existe deux grandes méthodes pour développer des modèles mathématiques de drones :

- ✓ **Newton-Euler** établie d'après le théorème fondamental de la dynamique et le théorème du moment
- ✓ **Lagrange-Euler** établie selon les énergies cinétiques et potentielles

Nous proposons dans ce cas, un modèle Lagrange-Euler.

Les hypothèses du modèle :

- ✓ La masse du drone est d'un kilogramme pour une envergure d'un mètre
- ✓ La structure du système est supposée rigide
- ✓ La structure est supposée parfaitement symétrique, la matrice d'inertie sera donc diagonale
- ✓ La portance et la traînée de chaque moteur sont proportionnelles au carré de la vitesse ( hypothèse très proche du comportement aérodynamique du système réel)
- ✓ A partir du moment où le drone est en vol, seule la vitesse relative à la vitesse de rotation des moteurs en vol stationnaire sera utilisée



La régulation PID :

Comme on peut le voir sur le schéma ci-dessous le système est non linéaire avec quatre entrées et trois sorties :

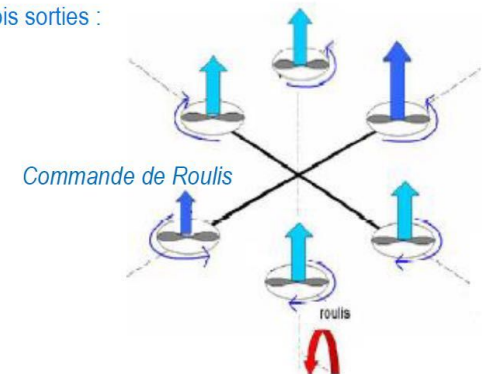
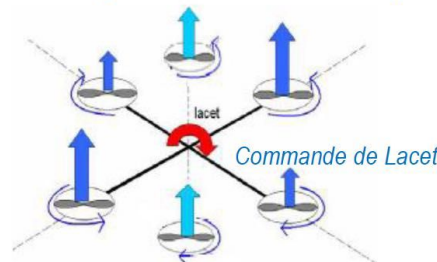
Entrées :

- ✓ La commande de puissance
- ✓ La commande de roulis
- ✓ La commande de tangage
- ✓ La commande de lacet

Sorties :

- ✓ Angle de rotation autour de l'axe X
- ✓ Angle de rotation autour de l'axe Y
- ✓ Angle de rotation autour de l'axe Z

Le tangage agit sur deux moteurs, le roulis sur quatre moteurs et le lacet agit sur les six moteurs.



A partir de ce modèles, les élèves pourront simuler le fonctionnement du drone et déterminer son comportement théorique.

**P.I.D : Asservissement Proportionnel Integral Dérivé**

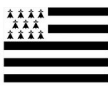
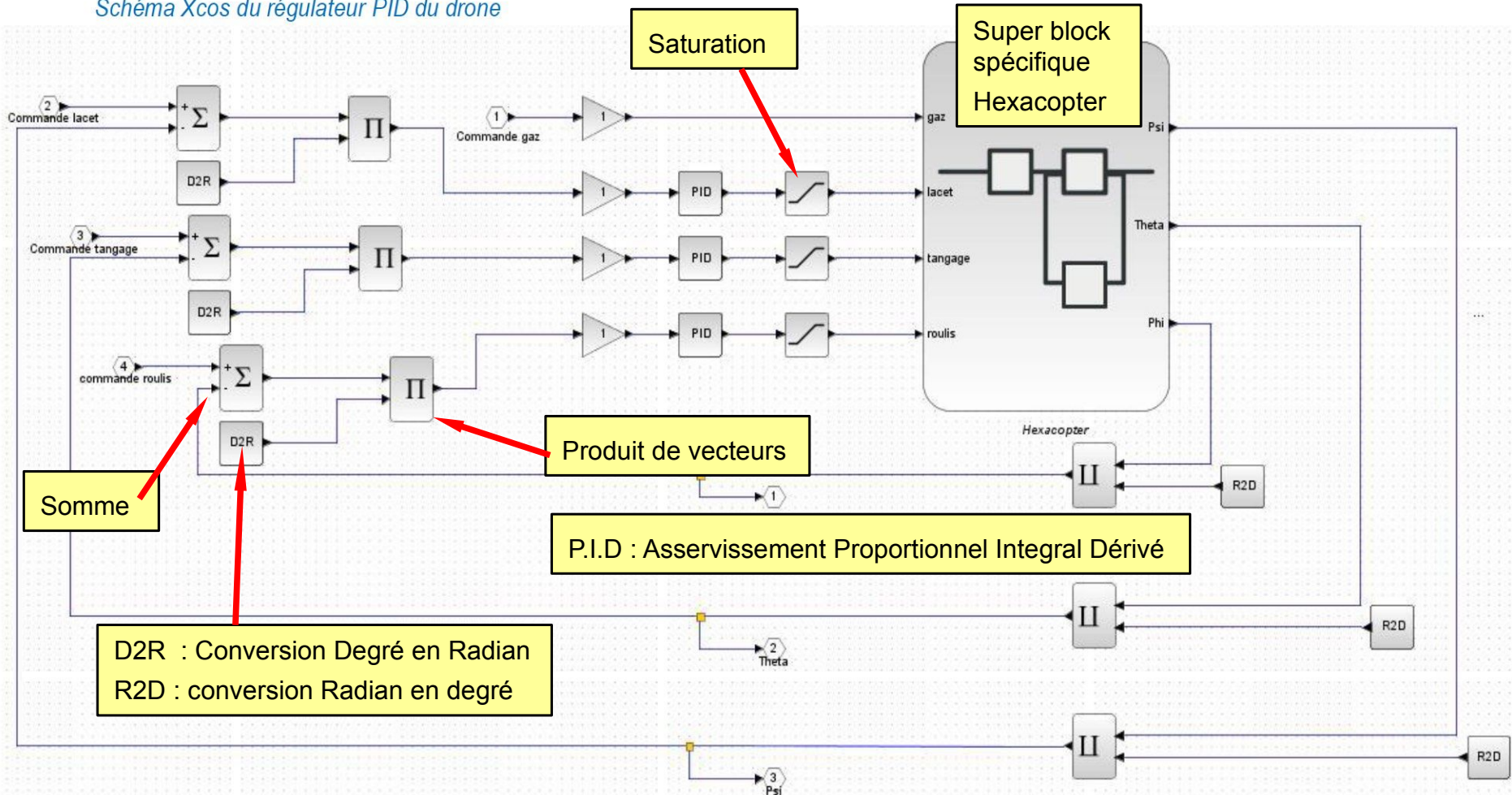


Schéma Xcos du régulateur PID du drone



Les quatre entrées (puissance, lacet, tangage et roulis) sont recombinaées pour donner les commandes en tension des moteurs

- 2 Joy stick pour 4 commandes de vol
- Tangage : Avant / Arrière (Profondeur)
- Roulis : Déplacement latéral Gauche / Droite
- Lacet : Rotation sens horaire ou antihoraire
- Gaz (Effort donné par les hélices en fonction de leur vitesse de rotation ; pas de pas variable)

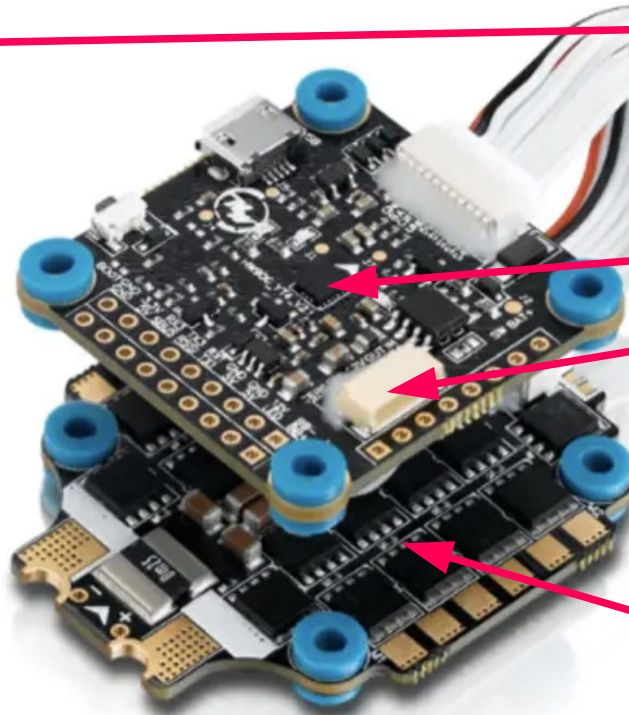
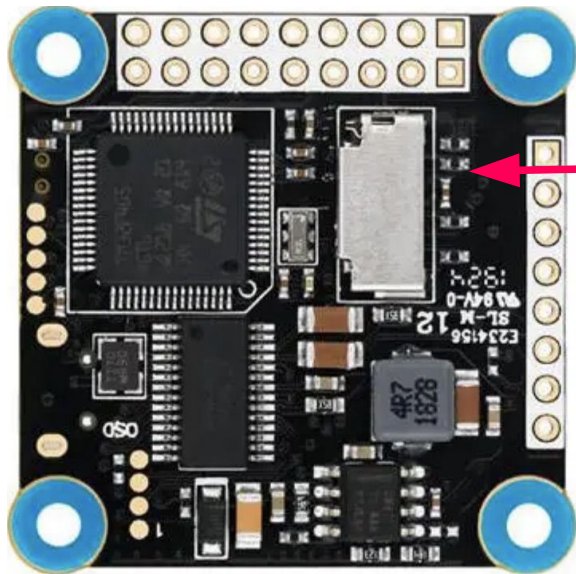


Par puces, on entend un composant électronique contenant un ou plusieurs circuits actifs intégrés et éventuellement un ou plusieurs capteurs.

Certaines puces à elles seules réalisent une fonction de système **SoC** : Processeur, mémoires, Capteurs, interfaces filaires et interfaces radio.

Exemple des puces pour les réseaux locaux Zigbee

Hobbywing Xrotor F4 G3 Contrôleur de vol OSD et 60A 3-6S Blheli\_32 DSHOT1200 Pile ESC sans balai pour drone RC de 130 à 300 mm



Contrôleur de vol : C'est un ensemble électronique qui centralise toutes les fonctions électroniques nécessaires.

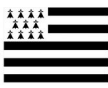
On y trouve :

- Une unité de calcul  
Avec un logiciel embarqué souvent issu du monde libre.
- Des capteurs proprioceptifs divers :  
Accéléromètres, gyroscopes,  
magnétomètres, baromètre...
- Des connecteurs vers la batterie  
LiPo, les GPS, capteurs divers,  
Interfaces radio etc.

Exemple : Kit drone Arduino

- Des amplificateurs de puissance  
triphases (**ESC**) pour créer des  
champs tournants dans les moteurs  
d'hélice





## Les caractéristiques recherchées sont :

Rapport Performances de calcul / consommation le plus grand possible.

→ Consensus actuel : Utilisation des coeurs **ARM** du même type que ceux des smartphones

On ne rencontre pas les processeurs du type Pentium d'Intel qui ont une trop forte consommation.

L'architecture ARM du type RISC 32 bits et RISC 64 bits existe depuis 1983 et est d'origine Britannique (Ex Acorn Computers)

ARM a évolué vers le concept SoC : System On Chip pour augmenter l'intégration.

Cette architecture supporte la plupart des systèmes d'exploitation.

ARM a été rachetée par NVIDIA en 2020.

Les produits ARM sont diffusés sous forme de propriété intellectuelle.

**Il y a très peu d'entreprises de conception de processeurs**

**Il y a beaucoup d'entreprises de conception de capteurs**

**Exemples des capteurs magnétiques :**

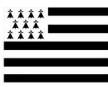
→ Français Crocus Technology

→ Japonais TDK et AKM

→ Néerlandais NXP

→ Allemand Infineon Technologies

→ Américain NVE



On distingue 6 types de capteurs à bord des drones avec fusion de données et de plus en plus d'IA :

## 1) Capteurs pour la navigation autonome sur un plan XY

- Les capteurs **proprioceptifs** qui utilisent une référence interne : Capteurs **inertiels** et dont le débit d'informations peut être élevé. (**Asservissement rapide nécessaire pour la stabilité du vol**)  
→ Corrections rapides de trajectoire (Echelle de temps : 1/100 seconde) et positionnement imprécis
- Les capteurs **extéroceptifs** qui exploitent des signaux de référence externes : Induction magnétique terrestre, constellations de satellites GPS etc. et dont le débit d'informations est lent. (**Asservissement lent**)  
→ Corrections lentes de trajectoire (Echelle de temps : 1s) et positionnement précis.

2) Capteurs d'**altitude** axe **Z** : Baromètres, extraction des informations de positionnement

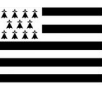
3) Capteurs **électriques** donnant l'état de décharge de la batterie, sa température

4) Capteurs **électromagnétiques** : Antennes fonctionnant en réception pour les ordres de télécommande

5) Capteurs **optiques** servant à l'évitement d'obstacle ou au guidage près du sol

6) Capteurs à **ultrasons** pour les mesures de faible altitude et les évitements d'obstacle

7 etc.) Capteurs de tous types dans la charge utile



**Ces capteurs sont impératifs pour la stabilité du vol.  
Ils équipent par défaut toutes les contrôleurs de vol.**

**Ils sont optimisés et très coûteux pour les applications militaires et les applications critiques.**

La propriété qui est recherchée est qu'ils n'utilisent pas de signaux extérieurs susceptibles d'être brouillés par des armes électromagnétiques (IEMN ; champs électromagnétiques forts)

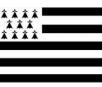
Le principe physique est l'inertie et la propriété des gyroscopes de viser une direction fixe de l'espace.

Plus récemment, on a introduit les gyrolasers qui utilisent l'effet Sagnac.

Les forces d'inertie sont mesurées par des **accéléromètres**. Avec la technologie MEMs on arrive à une grande miniaturisation.

La donnée de sortie est l'accélération, par calcul (Intégration) on déduit la vitesse et par une nouvelle intégration on déduit la position. Ce processus est effectué dans les 3 axes X,Y,Z.

La difficulté est que pour des durées de mesure longues les erreurs se cumulent. Donc il faut des capteurs très précis et à faible dérive donc coûteux et réservés aux applications militaires



Ces capteurs ont l'avantage de donner une très grande précision de localisation en combinant la **réception de plusieurs signaux radio-électriques** portant des références de temps et de position.

La précision est d'autant plus grande que le temps d'intégration est grand.

La précision de localisation des signaux GNSS (GPS, GLONASS, Galiléo, BeiDou) est limitée entre autres par l'effet de retard dû à la traversée de l'ionosphère. La précision typique est de 3 m.

Cet effet de retard est variable en particulier à cause de l'activité solaire.

Des réseaux de stations au sol disséminées sur le globe mesurent ces perturbations locales et moyennant un abonnement, on peut avoir une correction et une précision de positionnement qui atteint le cm. **RTK** (Real Time Kinematic)

Le réseau français *Orphéon* met en œuvre 215 stations en métropole.

L'autre signal de référence nécessaire pour avoir une direction de départ est l'induction magnétique terrestre qui est mesurée par 3 magnétomètres suivant les 3 axes x, y, z.

- à effet Hall,
- avec magnéto-résistance GMR
- avec vanne de flux (Méthode de 0 utilisant la création d'harmonique 2 dans des matériaux magnétiques saturables par le champ magnétique terrestre.



**Parrot** : Grand acteur historique Parrot (Paris 1994) a conçu et commercialisé au départ des produits de haute technologie : Accessoires pour téléphonie mobile basés sur la reconnaissance vocale, les kits mains libres etc. En 2010, développement de drones de loisirs commandés par SmartPhone. Parrot a subi douloureusement la concurrence chinoise et s'est recentré sur le marché professionnel



## ANAFI Thermal

### Capteurs de l'ANAFI Thermal

**IMU**: Invensense MPU-6000

#### Gyroscope 3 axes

- Plage de mesure :  $\pm 2000$  °/s
- Résolution : 0,03 °/s
- Biais/exactitude :  $\pm 7$ °/s – après compensation
- Stabilisation en températures : 50°C

#### Accéléromètre 3 axes

- Plage de mesure :  $\pm 16g$
- Résolution : 0,2 mg
- Biais/exactitude :  $\pm 15mg$  (X-Y)  $\pm 67mg$  (Z) – après compensation
- Calibration thermique et stabilisation en température : 50°C à  $\pm 0.1$ °C
- Fréquence de mesure : 1kHz

#### Magnétomètre ST Microelectronics LIS2MDL

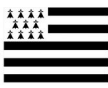
- Plage de mesure :  $\pm 50$  gauss
- Résolution : 0,002 gauss

#### Baromètre - ST Microelectronics LPS22HB

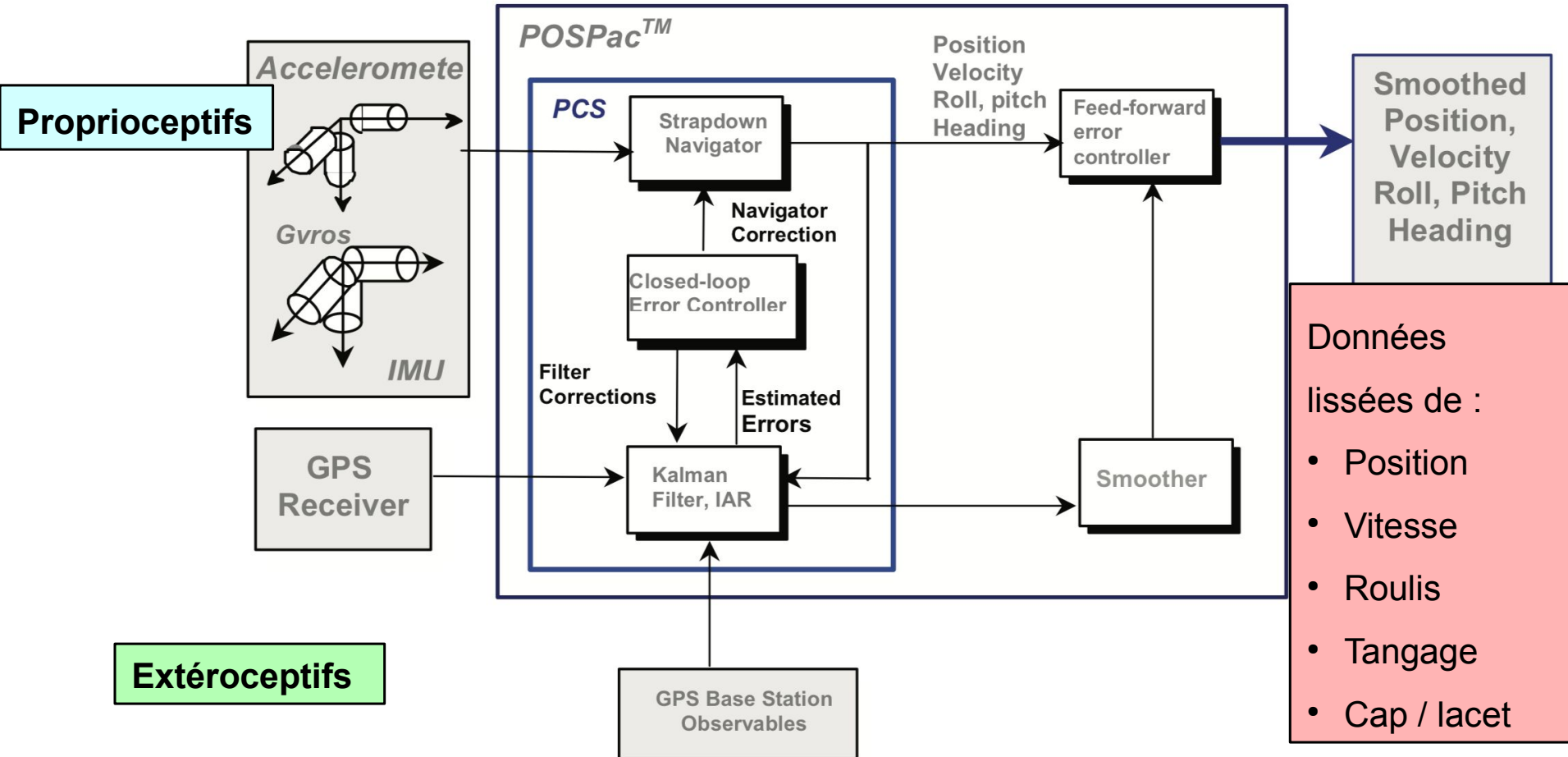
- Plage de mesure : 260-1260 hPa
- Résolution : 0,0002 hPa
- Biais/exactitude :  $\pm 0,1$  hPa
- Fréquence de mesure : 75 Hz
- Bruit de mesure : 20 cm RMS

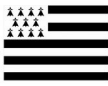
#### GPS : U-BLOX UBX-M8030

- Sensibilité : cold start = -148 dBm / tracking & navigation = -167 dBm
- Première synchronisation (Time-To-First-Fix) : 35 secondes
- Position : écart-type 1,2 m
- Vitesse : écart-type 0,5 m/s



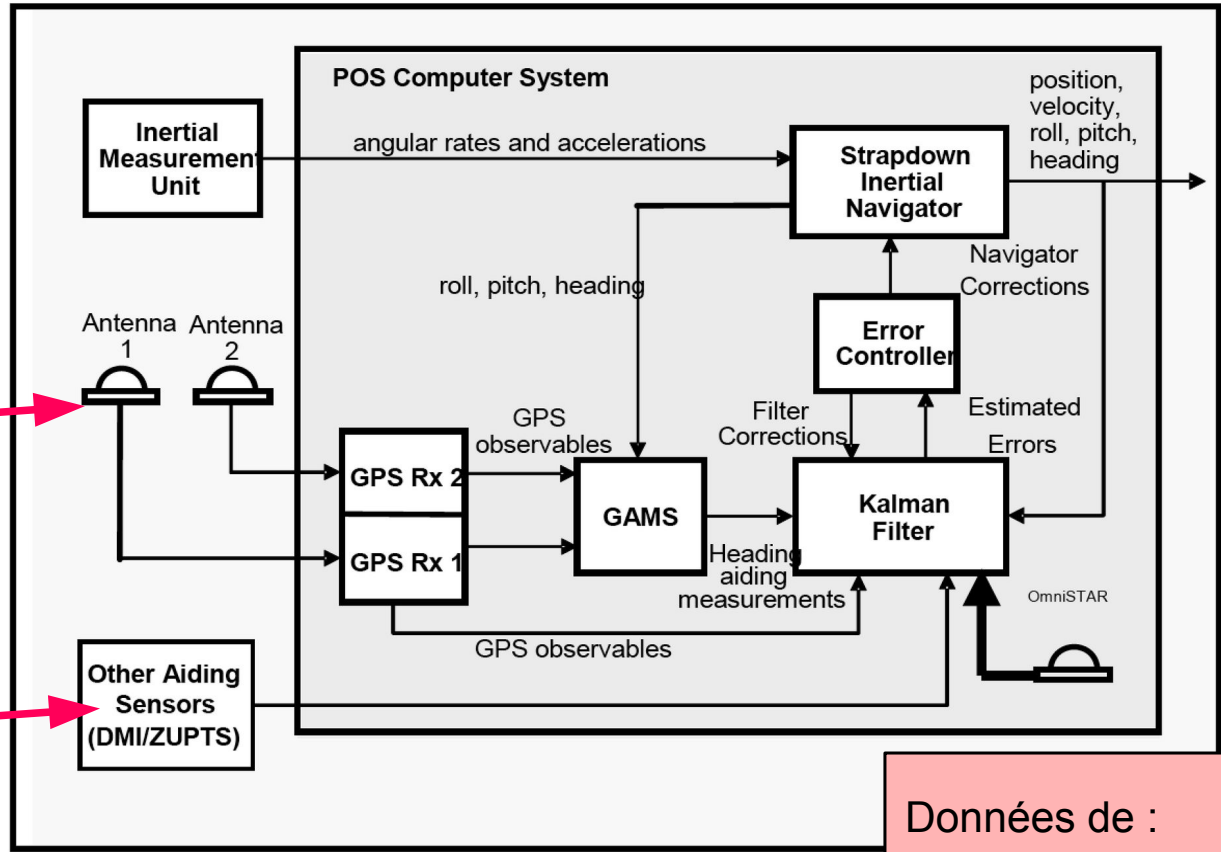
Le marché des drones a lancé le concept d'hybridation des capteurs proprioceptifs et extéroceptifs de façon qu'ils se corrigent mutuellement et fournissent un flux de données directement utilisable pour le pilotage.





2 antennes GPS en diversité d'espace

DMI : Distance Measurement instrument  
ZUPTs : Zero-velocity-UPdaTes



- Données de :
- Position
  - Vitesse
  - Roulis
  - Tangage
  - Cap / lacet

**Hybridation Proprioceptif (IMU : Inertial Measurement Unit)**

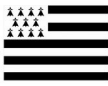
- 2 ou 3 Gyroscopes pour les axes X, Y, Z
- 3 Accéléromètres pour les axes X, Y, Z

**Et extéroceptifs**

- 2 récepteurs GPS
- 2 capteurs d'inclinaison



# Hybridation de capteurs pour les drones



## eCompass Series with Various Sensor Options

ECS Series Standard eCompass	ECL Series Low Power eCompass	ECG Series eCompass with Gyro	ECV Series 3D eCompass
<ul style="list-style-type: none"> <li>Wide operating temp range</li> <li>Single Supply Operation</li> <li>RS232 &amp; RS485 outputs available</li> <li>In-System Configuration and Test</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wide operating temp range</li> <li>Single Supply Operation</li> <li>Low power</li> <li>RS232 &amp; TTL outputs available</li> <li>In-System Configuration and Test</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Exceptional dynamic performance</li> <li>High static accuracy</li> <li>RS232 &amp; RS485 outputs available</li> <li>Precise calibration</li> <li>Single supply operation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wide operating range</li> <li>RS232 &amp; RS485 outputs available</li> <li>Fast response</li> <li>Low Power</li> <li>Two independent serial channels</li> <li>In-System Configuration and Test</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Unmanned vehicles</li> <li>Robotics</li> <li>Weather buoys</li> <li>Antenna positioning</li> <li>Marine navigation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Unmanned vehicles</li> <li>Robotics</li> <li>Weather buoys</li> <li>Antenna positioning</li> <li>Marine navigation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Robotics</li> <li>Platform stabilization</li> <li>Excavation machinery</li> <li>Irrigation equipment</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Unmanned vehicles</li> <li>Robotics</li> <li>Platform stabilization</li> <li>Excavation machinery</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>3-axis magnetometer</li> <li>2-axis tilt sensor</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>3-axis magnetometer</li> <li>2-axis tilt sensor</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>3-axis magnetometer</li> <li>2-axis gyroscope</li> <li>2-axis tilt sensor</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>3-axis magnetometer</li> <li>3-axis gyroscope</li> <li>3-axis accelerometer</li> <li>2-axis tilt sensor</li> </ul>

### Features & Benefits

### Applications

### Sensors

### Heading Performance

Accuracy:	±0.5° rms <sup>2</sup>	±0.5° rms <sup>2</sup>	±0.5°/±3.0° rms <sup>2</sup>	±0.5°/±3.0° rms <sup>2</sup>
Repeatability:	±0.3°	±0.2°	±0.3°	±0.3°
Response Time:	36 msec	75 msec	36 msec	36 msec
Dip Angle Range:	±80°	±80°	±80°	±80°
Tilt Range:	±42° (±60° optional)	±42° (±60° optional)	±42° (±60° optional)	±90° Pitch/±180° Roll
Update Range:	28 per second	14 per second	28 per second	28 per second

### Pitch & Roll Performance

Accuracy:	±0.3°	±0.2°	±0.3°	±0.3°
Repeatability:	±0.2°	±0.15°	±0.2°	±0.2°
Range:	±42°	±42°	±42°	±90° Pitch/±180° Roll
Settling Time:	0.5 sec	0.5 sec	0.5 sec	0.05 sec

### Electrical

Supply Current:	25 mA operating 10 mA sample 2 mA standby	15 mA operating 5 mA sample 50 µA standby	30 mA operating 10 mA sample 2 mA standby	40 mA operating 10 mA idle 5 mA standby
Supply Voltage:	6 - 45 Vdc unregulated 5.0 Vdc regulated	6 - 30 Vdc unregulated 5.0 Vdc regulated	6 - 45 Vdc unregulated 5.0 Vdc regulated	5 - 45Vdc unregulated

### Environmental

Operating Temperature Range:	-40° to +105° C	-20° to +70° C	-40° to +105° C	-40° to +105° C
Survival Temperature Range:	-50° to +150° C	-40° to +125° C	-50° to +150° C	-50° to +150° C
Humidity:	0 to 90%	0 to 90%	0 to 90%	0 to 90%

### Mechanical

Enclosure dimensions:	<b>Plastic Enclosure (P Option):</b> 2.205" W x 4.337" L x 0.981" H		<b>Aluminum Enclosure (A Option):</b> 2.382" W x 5.433" L x 1.220" H	
Enclosure material:	<b>Plastic Enclosure (P Option):</b> (ABS) Flame Retardant UL94 V0		<b>Aluminum Enclosure (A Option):</b> Diecast Aluminum Alloy (Type 360.1)	
Weight:	<b>Plastic Enclosure (P Option):</b> 3.2 oz. (90.7 grams)		<b>Aluminum Enclosure (A Option):</b> 7.2 oz. (204.1 grams)	
PCB Size:	1.8"W x 3.0"L x 0.6"H	1.6"W x 3.0"L x 0.6"/0.8"H	1.8"W x 3.0"L x 0.6"H	1.8"W x 3.0"L x 0.6"H
Connectors:	<b>Plastic Enclosure (P Option):</b> 8 pin, single-row, 0.1" friction header 6 pin RJ12 modular jack		<b>Aluminum Enclosure (A Option):</b> Circular, 6-pin female connector	

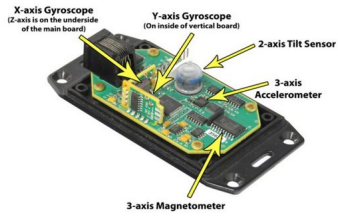
## Custom Applications



### THE JEWELL INSTRUMENTS ENGINEERING TEAM PROVIDES THE FOLLOWING:

- Modifying or customizing an existing designed model series
- A new part number configured from existing model series part and subassemblies
- A new application-specific custom design requiring special features and specifications
- Customized sensor for harsh environments
- A first-time design solution requiring close interaction between Jewell's design engineering team and the customer's team
- A customer proprietary sensors solution requiring non-disclosure agreement (NDA) between Jewell Instruments and our customer

### ECV SENSOR DIAGRAM



- Notes**
- All Specifications subject to change without notice on account of continued product development
  - May require calibration after installation to eliminate effect of local magnetic field

eCompass Series Selector Guide

Rev 1

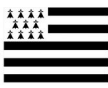
## Hybridation Proprioceptif (IMU : Inertial Measurement Unit)

- 2 ou 3 Gyroscopes pour les axes X, Y, Z
- 3 Accéléromètres pour les axes X, Y, Z

## Et extéroceptifs

- 3 magnétomètres pour les axes X, Y, Z
- 2 capteurs d'inclinaison

# Phase critique du décollage 1



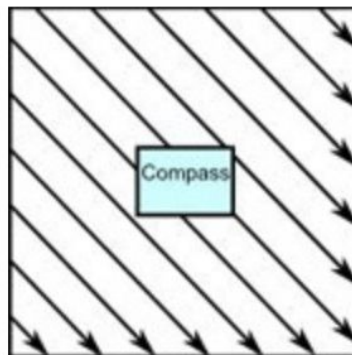
Comme pour l'aviation classique, le décollage reste la phase critique. Le problème des drones est que les capteurs GPS et de type accéléromètre ne donnent **d'information de cap que s'il y a mouvement** et donc après une accumulation de mesures de position.

Il y a cependant une référence externe qui donne toujours une direction : Boussole ou compas magnétique. (L'être humain utilise la gravité terrestre (Perception proprioceptive) pour se tenir debout, élaborer ses mouvements etc. (Il faut atteindre l'âge de 23 ans pour être à l'optimum de la proprioception))

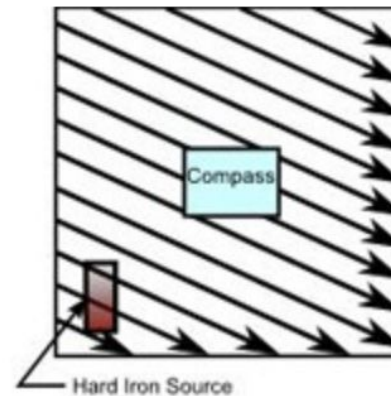
On peut avoir une référence interne avec un gyroscope mais c'est plus coûteux et soumis à une dérive. Malheureusement le champ magnétique peut être perturbé localement par des masses magnétiques (Accumulation de fer qui est un excellent conducteur de flux magnétique) telles que :

- Un véhicule
- Un pont métallique
- Un gros transformateur électrique
- Un pylône

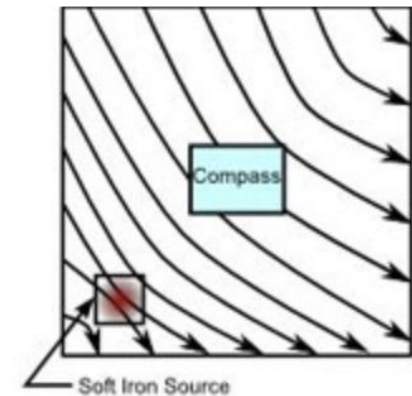
Il y a un effet de concentration des lignes de flux magnétique et un indication du Nord erronée.



Undistorted Field

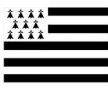


Hard Iron Distortion



Soft Iron Distortion

## Phase critique du décollage 2



En cas de décollage sans précaution à savoir à proximité d'une importante masse magnétique, on a un drone fou qui tourne en rond comme l'eau qui est aspirée par un siphon.

En anglais : *Toilet Bowl Effect* ou *Fly Away*

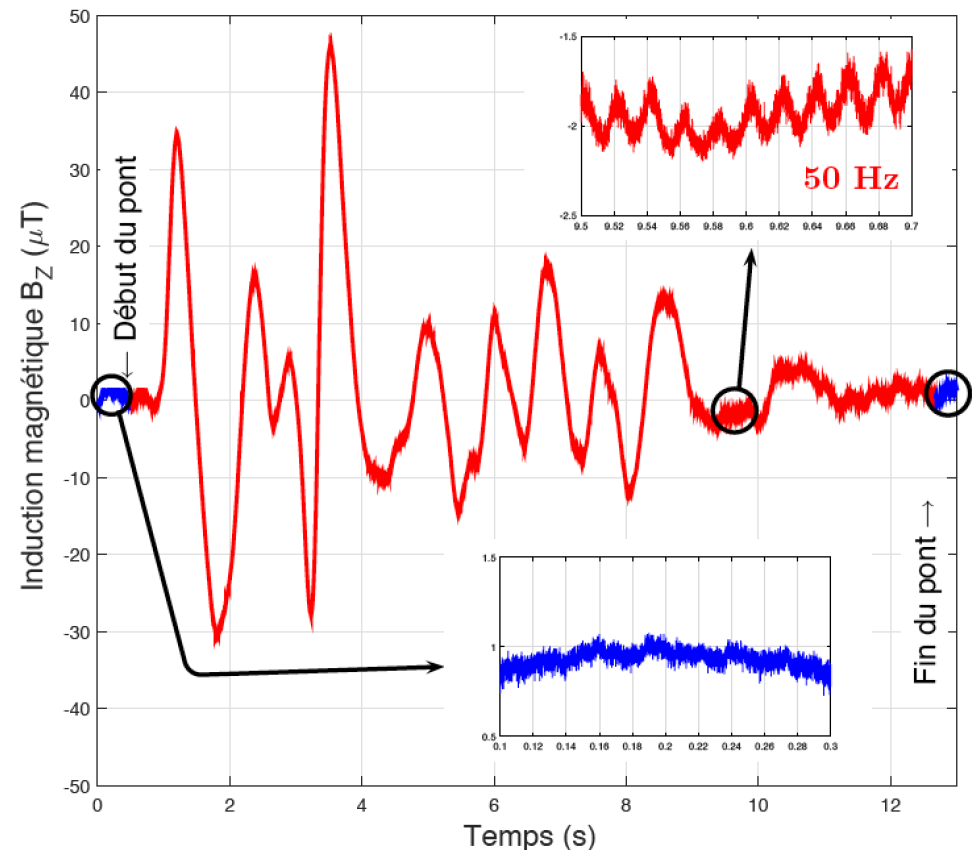
Pour illustrer la difficulté du guidage par un magnétomètre :

→ Enregistrement de la composante verticale de  $B_z$  de  $B_{\text{terrestre}}$  pour un drone se déplaçant dans un pont en fer surplombant une ligne de chemin de fer électrifiée en 50 Hz

Amplitude maximum des variations de  $B_z$   
 $= |B_t| \approx 45 \mu\text{T}$

Attention aux perturbations de  $B_t$  par l'activité humaine :

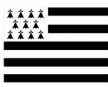
- Lignes de chemin de fer alimentées en continu : Métro , lignes anciennes en 1500 V
- Production d'aluminium par électrolyse :  $I = 600\,000\text{ A}$



Remèdes :

- Avertissement adressé au télé-pilote sur les perturbations de  $B_t$
- Redondances de capteurs ; Fusion de données et IA





**Difficulté 1 : Pas de positionnement extéroceptif GPS**

**Difficulté 2 : Risque de perturbation des magnétomètres**

Solutions : Utiliser au maximum les autres sens des drones :

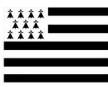
- Repérage local par des solutions optiques : éclairage par des diodes infra-rouge, capteurs infrarouges ; analyse de contraste.

Limitations : **Permet seulement de maintenir un point fixe** (vol stationnaire) mais pas de suivre une trajectoire prédéfinie avec des *way points* ?

**Seul le vol à vue est possible.** Et c'est l'objet de certaines courses de drones

Attention aux zones très réfléchissantes (Plan d'eau et/ou ne présentant pas de contraste

- Capteurs d'évitement : Télémètre à ultrasons (Cf. Chauves souris)



Applications très larges du loisir aux militaires.

Taille allant de l'insecte au bombardier.

Gamme de prix du jouet aux millions d' €

**Un drone c'est a minima un smartphone qui vole.**

Presque tous les pays industriels fabriquent des drones. Possibilité de les construire soi-même ; artisanat.

Applications des télécommunications à l'informatique personnelle en passant par les jeux en réseau, la santé, le télé-paiement, la lutte efficace contre le Covid-19 dans les pays asiatiques .

Taille de la carte de crédit à une tablette.

Gamme de prix du <<gratuit>> inclus dans un forfait d'opérateur à 5000 € pour les versions professionnelles avec des capteurs spéciaux : infrarouge, spectre radio etc.

Diffusion planétaire et les jeunes générations en état de dépendance aux smartphones.

Puces à faible consommation conçues aux E.U. et Europe.

Production de masse en Chine et dans les autres pays asiatiques.

## Capteurs pour le vol et la navigation des drones

- Accéléromètres
- Capteurs de rotation
- Centrales inertielles à faible dérive
- GNSS
- GPS RTK
- Boussole /capteurs magnétiques

## Capteurs de rayonnements des drones

- Infrarouge
- Visible
- Radiofréquences pour le pilotage et la transmission de données dont les bandes du WiFi ( 2,4 GHz, 5 GHz) et télémétrie 433 MHz
- Spectre radio pour analyse

## Sources d'énergie

- Batteries (électrochimie), piles à combustible, carburants pétroliers → moteurs à explosions , réacteurs, laser, et photovoltaïque.

## Capteurs de positionnement des smartphones

- GNSS
- Triangulation par les réseaux de relais
- Positionnement collaboratif : Waze, OSM
- Boussole / capteurs magnétiques
- Accéléromètres
- Capteurs de rotation

## Capteurs de rayonnements des smartphones

- Visible ; Infra-rouge chez FLIR
- Radiofréquences pour les réseaux de télécommunications (3G, 4G, 5G ....)
- Radiofréquences du Wifi pour les réseaux locaux LAN ( 2,4 GHz, 5 GHz)
- Association avec des récepteurs SDR

## Sources d'énergie

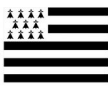
- Batteries (électrochimie), recharge manuelle ??



## L'agriculture par drone

### Missions : Agriculture de précision

- Photographie multispectrale pour analyse d'état de vigueur des cultures
- Taux de chlorophylle
- Stress hydrique
- Estimation de biomasse
- Détection d'adventices (*Mauvaises herbes*)
- Constats de dégâts sur les cultures par le gibier ou des accidents climatiques
- Calibration des photographies satellitaires
- Optimisation des ressources naturelles
- Apport d'intrants (*Produits phytosanitaires , engrais*)



TETHERED DRONE SYSTEM FOR LONG-  
LASTING SURVEILLANCE OPERATIONS

The Flying Guard is a **tethered drone system** designed for **long-lasting surveillance**.

It consists of a multirotor drone with high-performance sensors, and supplied by the Power Riser, the most performant tethering power unit of the market.

The Flying Guard solution offers an **aerial vantage point to security forces** for up to 12 hours.

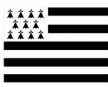
USE CASES



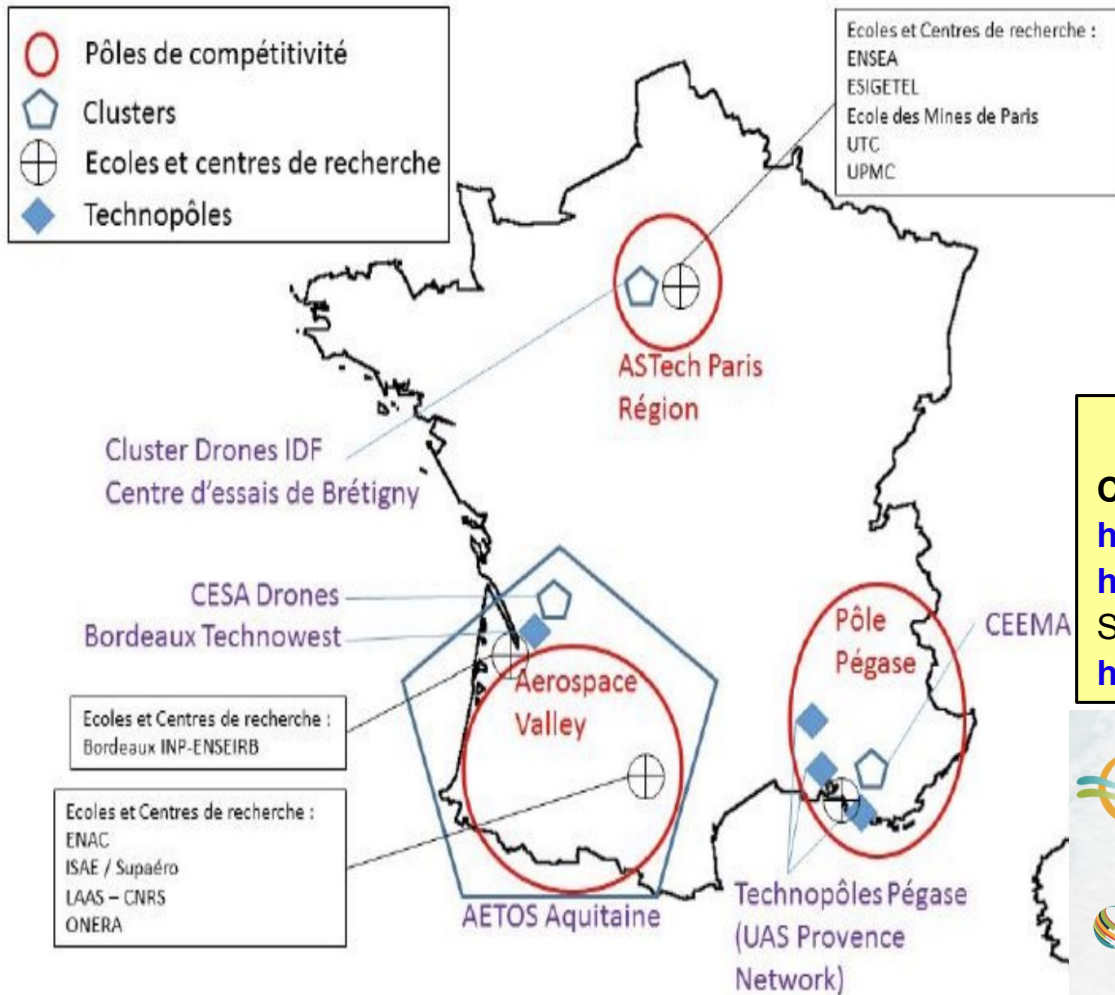
Dans la mesure où le drone reste à poste fixe comme un ballon captif, il peut être **télé-alimenté** depuis une source d'énergie au sol. La hauteur peut aller jusqu'à 150 m. Des services de sécurité peuvent ainsi remplir des missions de surveillance ininterrompues pendant 12 h et plus. La technique de la conversion d'énergie DC/DC permet un transport d'énergie à relativement haute tension avec des lignes de faible section de conducteurs.

Source : Azur Drones





## 3 pôles de compétitivité



## PME & groupes industriels

- Parrot
- Air-Marine
- Delair Tech Toulouse (Voilure fixe)
- Delta Drones Lyon
- Drone Volt ; Villepinte
- Azur Drones
- AerAccess
- Airbus – Survey Copter
- Etc...

## Acteurs Lannionnais et environs

Centre Technologique Drone Ouest

<http://ct-droneouest.com> (Anticipa)

<https://breizhmapping.com> ; (Pléguen)

SIG

<https://fr-fr.facebook.com/BreizhMapping/>



## Allemagne

- German drones
- Ascending Technologies → Intel



Type **convertible** : Décollage vertical / translation idem avion  
Rotors basculants

## Angleterre :

UavTek + Participation aux programmes de drones militaires des USA

**Italie** : Leonardo + Participation au programme européen du démonstrateur de drone militaire furtif Neuron

## Benelux

AltiGator / OnyxStar (Brabant)



Drone homologué DGAC avec 12 hélices pour charges lourdes 12 kg : Cameras multispectrales

## Suisse

SenseFly : SpinOff de l'EPFL contrôlé par Parrot, idem pour ETH

## Chine :

DJI (Da Jiang Innovation) : Leader mondial couvrant les loisirs et le professionnel

(pas d'offre dans le militaire)

Utilise l'intelligence artificielle pour le positionnement par les moyens optiques

Intègre les meilleurs fabricants pour les charges utiles comme :

- *Hasselbad* pour les appareils photo
- La technologie GPS centimétrique RTK

## Gammes

- *Phantom* haut de gamme avec la fonctionnalité *active track*
- *Mavic* avec un grand nombre de modèles personnalisables partant du loisir entrée de gamme aux modèles experts
- *Inspire* pour les professionnels de l'image

## Japon :

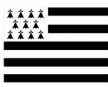
Autonomous Control Systems Laboratory, Yamaha Motor (Motors), Hirobo, DJI Japan, Blue Innovation, Kikuchi (Kikuchi Seisakusho), NSi Moka, enRoute, Luce Search, Nisohken, Sohgo Security Systems, Asco, Komatsu, Fuji-ivac, NTT East, Sony.

## Corée du Sud

Korean Air : Medium Altitude Unmanned Aerial Vehicle (MUAV)







**Russie** : Kalashnikov : Drone missile explosif



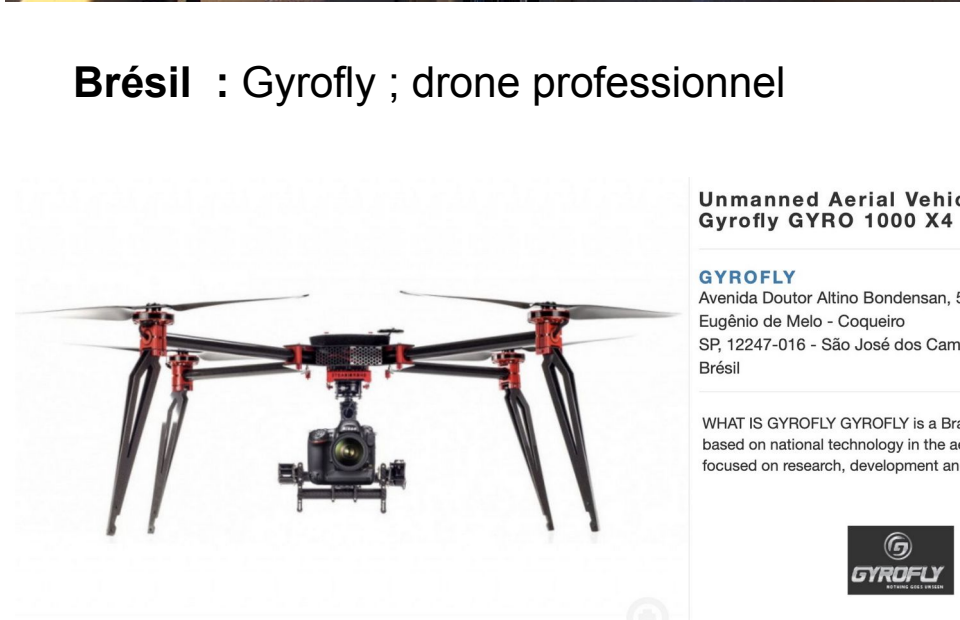
**Inde** : Rustom II



**Israel** : MALE ; Heron



**Brésil** : Gyrofly ; drone professionnel



**Unmanned Aerial Vehicle (UAV) - Gyrofly GYRO 1000 X4**

**GYROFLY**

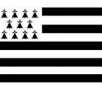
Avenida Doutor Altino Bondensan, 500 - Distrito de Eugênio de Melo - Coqueiro SP, 12247-016 - São José dos Campos Brasil

WHAT IS GYROFLY GYROFLY is a Brazilian company based on national technology in the aeronautical field, focused on research, development and...





# Drone Octo-rotor DOOSAN DS30 (Corée du Sud)



**Source d'énergie : Pile à combustible à hydrogène**

**Durée de vol max = 120 mn**

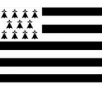
**Puissance = 2600 W**

**Envergure : 2 m**

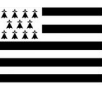


**Masse max charge utile = 5 kg  
Masse totale max = 21 kg**

**Parcours max = élongation  
= 80 km**

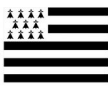


- Formateurs de télé-pilotes
- Télé-pilote cadreur
- Télé-pilote professionnel : Exemple RTE : surveillance des lignes électriques
- Télé-pilotes : Courses de drones
- Télé-pilotes : Démonstrations, spectacles Cf. Céline Dion
- Télé-pilote : Gendarmerie
- Télé-pilote : Défense
- Conception de drones / Recherche / fabrication / maintenance
- Commercialisation - Location de drones / prestations diverses



- Formation théorique
- Apprentissage avec simulateur de vol
- Apprentissage en situation de vol réel avec moniteur  
Plusieurs niveaux définis par la DGAC
- Télépilote Amateur / professionnel

# Règlementation



## Catégories dans lesquelles la législation française classe les drones

Catégorie	Hors catégorie	Loisirs		Travail aérien						Autre	
		A	B	Suppression des catégories remplacées par les masses des aéronefs depuis le 1 <sup>er</sup> janvier 2016							
Masses au décollage		< 25 kg ou < 150 kg pour les aéronefs captifs	> 25 kg	< 150 kg pour les aéronefs captifs	< 2 kg	< 4 kg	< 8 kg	< 25 kg	< 150 kg	> 150 kg	
Remarques	ballons libres, fusées, cerfs-volants	vue directe, hors zone peuplée, prise de vues autorisée sans usage commercial, distance 150 m, vol interdit de nuit, même avec dispositif lumineux <sup>162</sup>	contraintes de la catégorie A, autorisation de vol (engin et pilote), permis théorique du pilote (ULM à minima)								scénarios spécifiques

### Scénarios

- Vol à vue impératif pour les télépilotes amateurs**

	S1	S2	S3	S4
Altitude sol max (m)	150	50 150 < 2 kg	150	50
Distance du pilote max (m)	200	1 000	100	illimitée
Poids max (kg)	25	25	8	2
En zone peuplée	non	non	oui	non
Vol à vue	oui	non	oui	non



Trente drones volent en groupe sans pilote

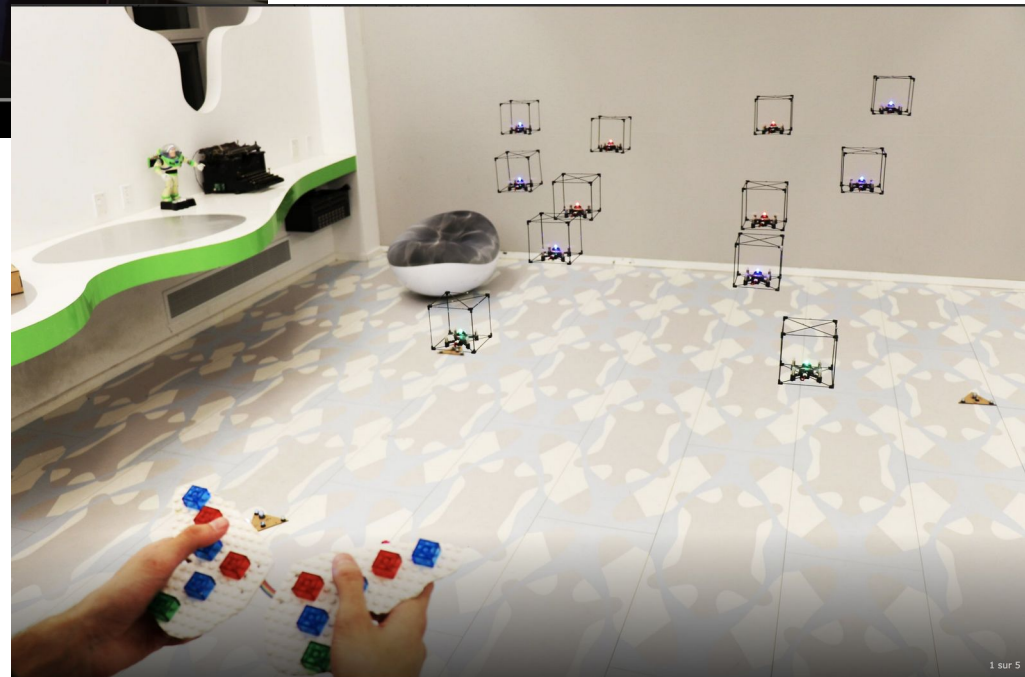
Logiciel libre sous  
Linux Ubuntu

- Vol de 30 drones **autonomes** et en formation  
comme un banc de poissons  
<https://www.youtube.com/watch?v=peIBQnyVeQ4>  
C'est le même type d'intelligence artificielle que  
celle qui animera les flottes de véhicules  
autonomes.

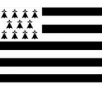
Ils ont aussi **simulé virtuellement**

plus de 15 000 vols

<https://www.helicomicro.com/2018/02/24/une-radiocom-mande-lego-pour-piloter-une-escadrille-de-drones/>  
Du rapport entre les briques lego et les drones



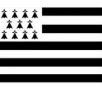
# Drone abat jour



This short film by Verity Studios made in collaboration with Cirque du Soleil is the newest project by Raffaello D'Andrea  
<https://veritystudios.com/work/celine-dion-tour>  
<https://ideas.ted.com/quadcopters-join-the-circus-in-this-magical-video-from-raff-dandrea-and-cirque-du-soleil/>  
<https://wpvip.ted.com/wp-content/uploads/sites/3/2014/10/gif2.gif>



# Compétitions de drones en extérieur

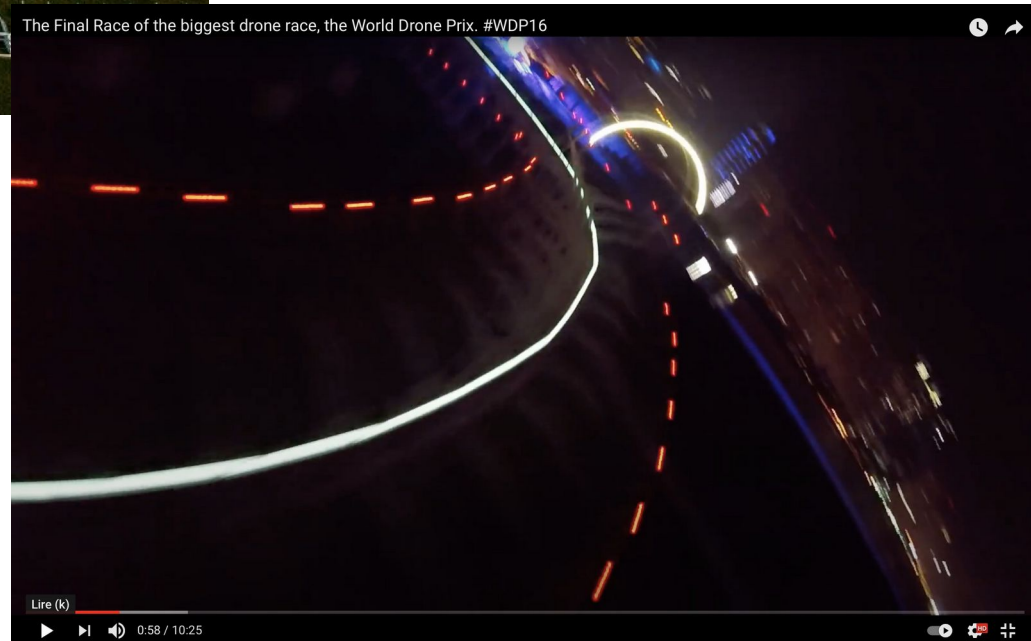


Circuits de drones  
aux Emirats  
Arabes Unis  
En journée

- Pilotage en immersion FPV  
Mariage du smartphone et du drone  
The Final Race of the biggest drone race, the World Drone Prix. #WDP16 (2016)  
<https://www.youtube.com/watch?v=0wrx86oeBn4>



Ce que voit le télé-pilote dans son casque d'immersion pendant la course qui a lieu pendant la nuit.  
Vitesse > 100 km/h







Casques  
d'immersion

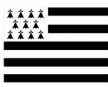
Pour avoir une manoeuvrabilité maximale ces drones sont minuscules et sont capables de se déplacer à 150 km/h  
- Pilotage en immersion FPV avec casque d'immersion ; **FPV (First Person View)**

[https://www.drone-fpv-racer.com/?gclid=EAlaIQobChMI5e3Fw8TG7wIVQofVCh2fUQdOEAAAYBCAAEgKox\\_D\\_BwE](https://www.drone-fpv-racer.com/?gclid=EAlaIQobChMI5e3Fw8TG7wIVQofVCh2fUQdOEAAAYBCAAEgKox_D_BwE)

Exemple BETA FPV proposé par Studiosport  
<https://www.youtube.com/watch?v=vEqj7rHtBfw&t=2s>

<https://www.fpv-fly.fr/avion-fpv/long-range.html>





## Essaim de drones

Raffaello d'Andrea créateur de la société d'ingénierie KIVA Systems orientée applications tous azimuts des drones  
Démonstrations de drones ETH Zurich en 2016  
<https://prodigo.fr/raffaello-dandrea-drone-zurich-24-05-2017/>

Drone <<isotrope>> à 8 hélices avec direction de déplacement indépendante de la structure

Ph.D., California Institute of Technology, Electrical Engineering. 1997. M.S., California Institute of Technology, Electrical Engineering. 1992. B.Sc., University of Toronto, Engineering Science. 1991.

### APPOINTMENTS

Founder, CEO, and Chairman, Verity Studios. Since 2014.

Co-Founder, Robo Global Investments and Exchange Traded Funds. Since 2013.

Chief Technical Advisor, Kiva Systems. 2008-2012.

Professor of Dynamic Systems and Control, ETH Zurich. Since 2007.

Co-Founder, Kiva Systems. 2003-2007.

Associate Professor (on leave), Mechanical and Aerospace Engineering, Cornell University. 2003 - 2007. Assistant Professor, Mechanical and Aerospace Engineering, Cornell University. 1997 - 2003.

### AWARDS AND HONORS

IEEE Robotics and Automation Award. 2016.

Engelberger Robotics Award for Technology. 2015.

Best Paper Award, IFAC Mechatronics Journal. 2014.

Transformative Achievement Award, Society for Design and Process Science. 2012.

Best Interactive Paper Prize, IFAC World Congress. 2011.

Golden Owl Teaching Prize, Mechanical and Process Engineering, ETH Zurich. 2010.

Best Paper Award Finalist, IEEE International Conference on Robotics and Automation. 2010.

IEEE Fellow. 2010.

IEEE-IFR Invention and Entrepreneurship Award in Robotics and Automation. 2008.

Prix Ars Electronica - Honorary Mention: The Robotic Chair. 2006.

Cornell University Provost Award for Distinguished Scholarship. 2006.

Robert '55 and Vanne '57 Cowie Excellence in Teaching Award, Cornell College of Engineering. 2005.

RoboCup World Champions, F180 League, Systems Architect and Faculty Advisor. Padova, Italy. 2003. RoboCup World Champions, F180 League, Systems Architect and Faculty Advisor. Fukuoka, Japan. 2002. Presidential Early Career Award for Scientists and Engineers (PECASE). 2001.

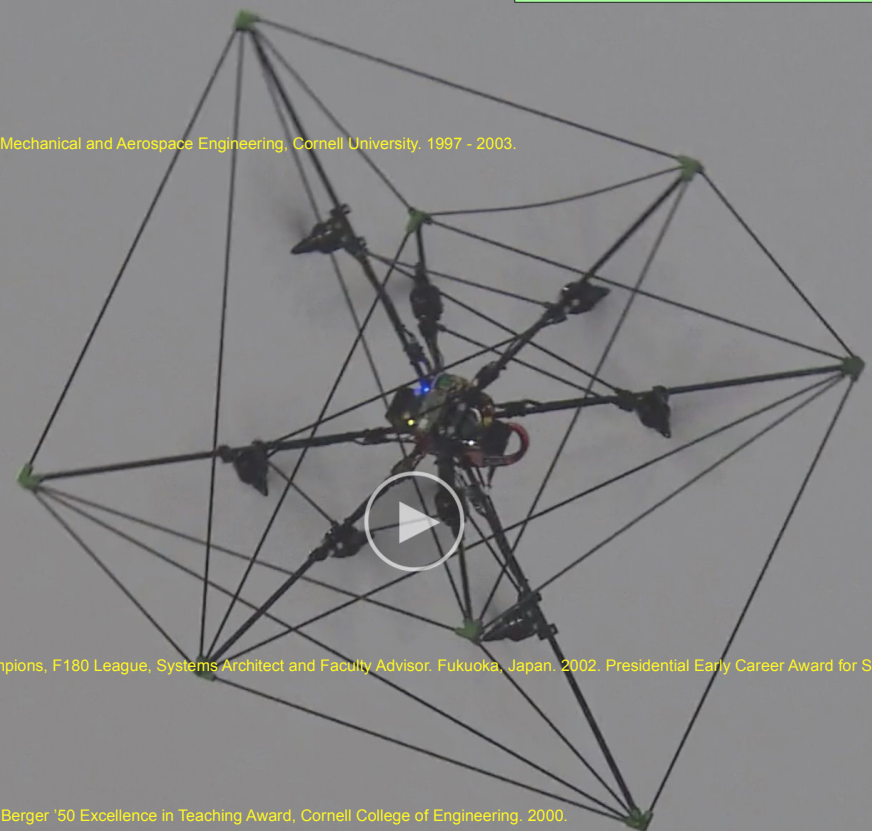
Vida Life 4.0 Art & Artificial Life International Competition - Honorary Mention: The Table. 2001.

CAREER Award, National Science Foundation. 2000.

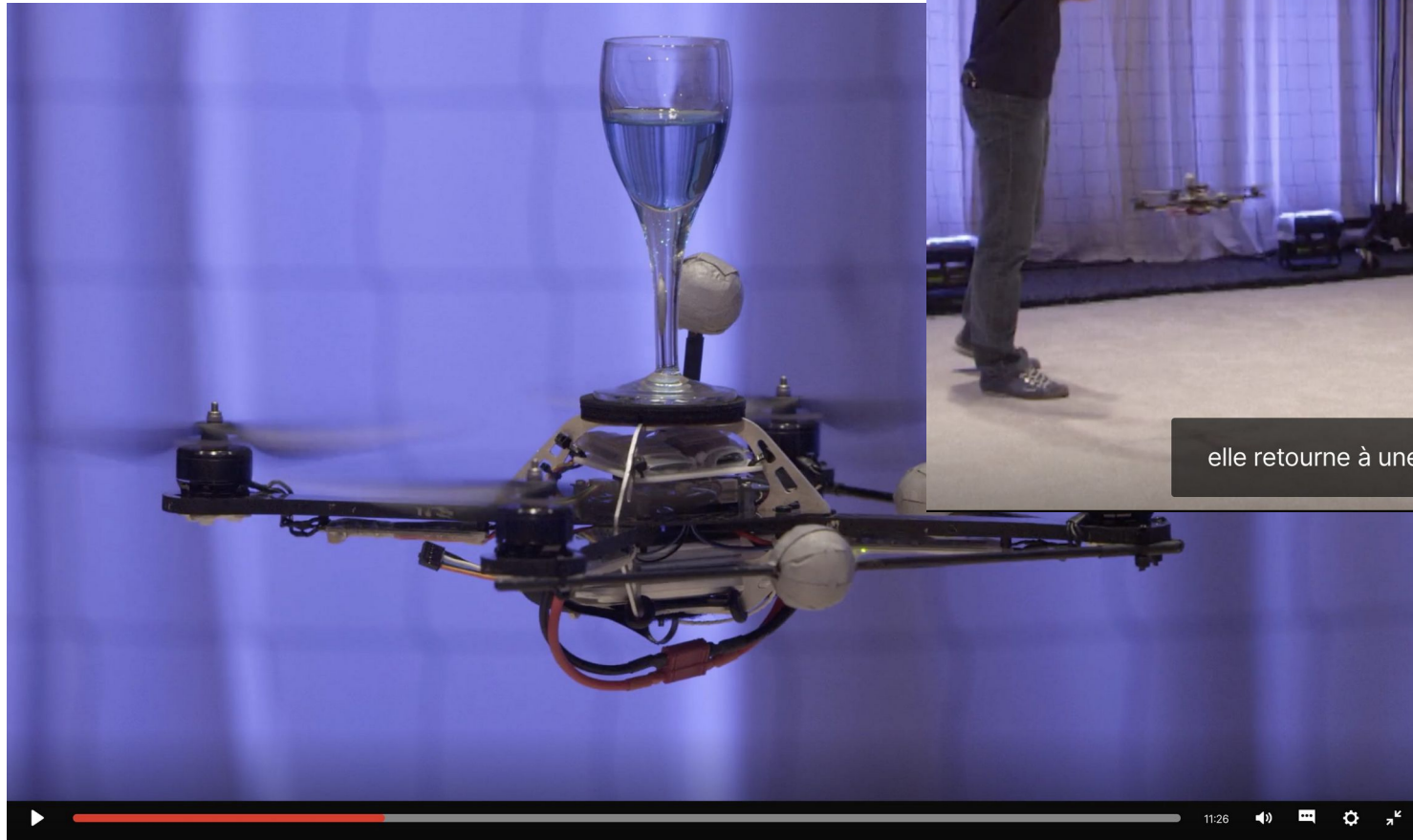
RoboCup World Champions, F180 League, Systems Architect and Faculty Advisor. Melbourne, Australia. 2000. J.P. and Mary Berger '50 Excellence in Teaching Award, Cornell College of Engineering. 2000.

D. G. Shepherd Teaching Prize, Sibley School of Mechanical and Aerospace Engineering. 1999.

RoboCup World Champions, F180 League, Systems Architect and Faculty Advisor. Stockholm, Sweden. 1999. Best Student Paper Award, IEEE Conference on Decision and Control. 1996.



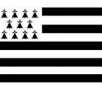
Drone quadricopter équilibré avec une tige verticale, puis un verre d'eau, jeux de balles, simulation de la variation de la pesanteur  
[https://www.ted.com/talks/raffaello\\_d\\_andrea\\_the\\_astounding\\_athletic\\_power\\_of\\_quadcopters?language=fr](https://www.ted.com/talks/raffaello_d_andrea_the_astounding_athletic_power_of_quadcopters?language=fr)



elle retourne à une position joliment équilibrée.



# Le drone qui passe par la porte et sous l'escalier



Drone peu couteux (200 €) pour voir un peu partout : **Green Hornet**  
<https://www.youtube.com/watch?v=VBQz4TAAuYs>



Petits drones de loisirs conçus pour les courses en intérieur.

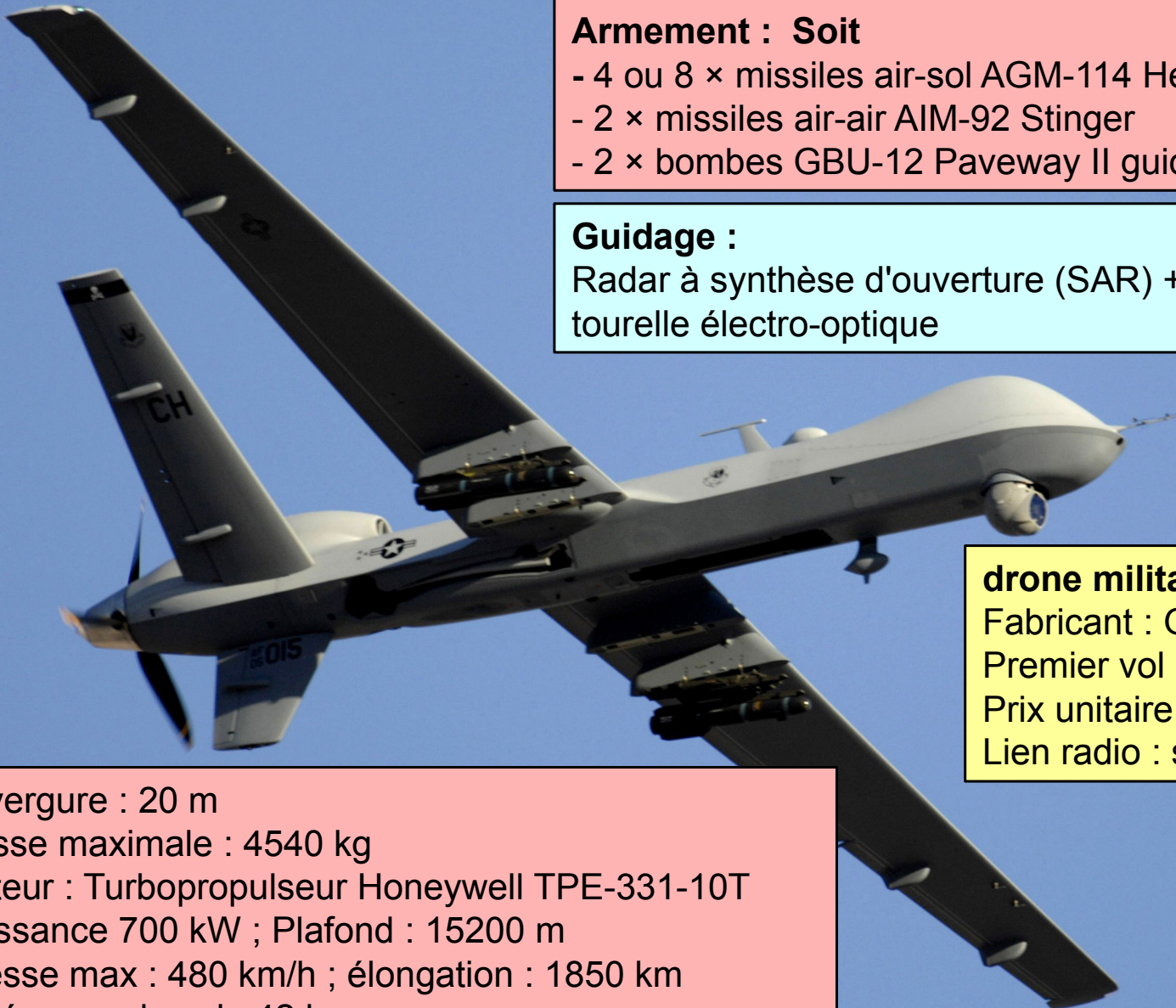
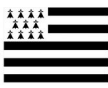
Fabricant GEP-RC Chine

GEPRC Thinking P16 HD 40mm 3S Cinewhoop Whoop FPV Racing Drone PNP





# Gros drone à usage militaire



## Armement : Soit

- 4 ou 8 × missiles air-sol AGM-114 Hellfire
- 2 × missiles air-air AIM-92 Stinger
- 2 × bombes GBU-12 Paveway II guidage Laser

## Guidage :

Radar à synthèse d'ouverture (SAR) +  
tourelle électro-optique

## drone militaire MQ9 Reaper

Fabricant : General Atomics  
Premier vol : 2 février 2001  
Prix unitaire : 13-16 M\$  
Lien radio : satellite SATCOM

Envergure : 20 m  
Masse maximale : 4540 kg  
Moteur : Turbopropulseur Honeywell TPE-331-10T  
Puissance 700 kW ; Plafond : 15200 m  
Vitesse max : 480 km/h ; élongation : 1850 km  
Durée max de vol : 42 h

Système de reconnaissance personnel (PRS) aérien pour le soldat fantassin

## Black Hornet PRS

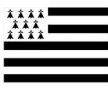
[Se rendre sur la page Support »](#)

Le FLIR Black Hornet PRS équipe le soldat fantassin non spécialiste d'un outil de perception de la situation (SA) à la fois discret et immédiat. La technologie révolutionnaire EO et IR comble le fossé entre capteurs aériens et capteurs terrestres, offrant la même qualité de SA que les UAV plus gros et les fonctions de localisation IED des UGV. Extrêmement léger, quasiment silencieux, avec une autonomie de vol de 25 minutes, ce Black Hornet de poche éprouvé au combat transmet à l'opérateur des vidéos en direct et des images fixes HD. Vendu aux acheteurs qualifiés.



### Exemple de drone militaire pour soutien aux fantassins

- Charge utile : 1 Caméra Infra-rouge, 1 camera lumière visible fabriquées par le spécialiste FLIR
- Poids total **33 gr** ; Envergure = 168 mm ; Matériaux : Fibre de carbone
- Faibles signatures visuelles et acoustiques (Un seule hélice du type pale d'hélicoptère pour limiter la vitesse de rotation ; Hélice de queue anti-couple nécessaire)
- Élongation max : 2 km ; vitesse maximale : 18 km/h
- Liaison radio cryptée AES 256 à saut de fréquence
- Option pour vol à l'intérieur de locaux



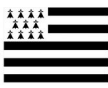
## AIRBUS Zephyr



- **Hybride Avion / satellite**
- **Conception : Airbus**
- **Envergure : 25 m**
- **Masse = 75 kg**
- **Source d'énergie : Energie solaire captée par des panneaux photo voltaïques**
- **Structure en fibres de carbone**
- **Vitesse : 21 km / h**
- **Altitude : 25 km donc dans la stratosphère bien au-dessus des routes aériennes civiles et sans aucun effet de masque du aux nuages.**
- **Durée de vol en juillet 2018 : 25 jours**
- **Propulsion pendant la nuit : Avec des batteries rechargées par les panneaux photovoltaïques pendant le jour**
- **Applications : Relais hertziens à grande couverture pour Internet dans les régions sans infrastructures de télécommunications**
- <https://www.airbus.com/defence/uav/zephyr.html>

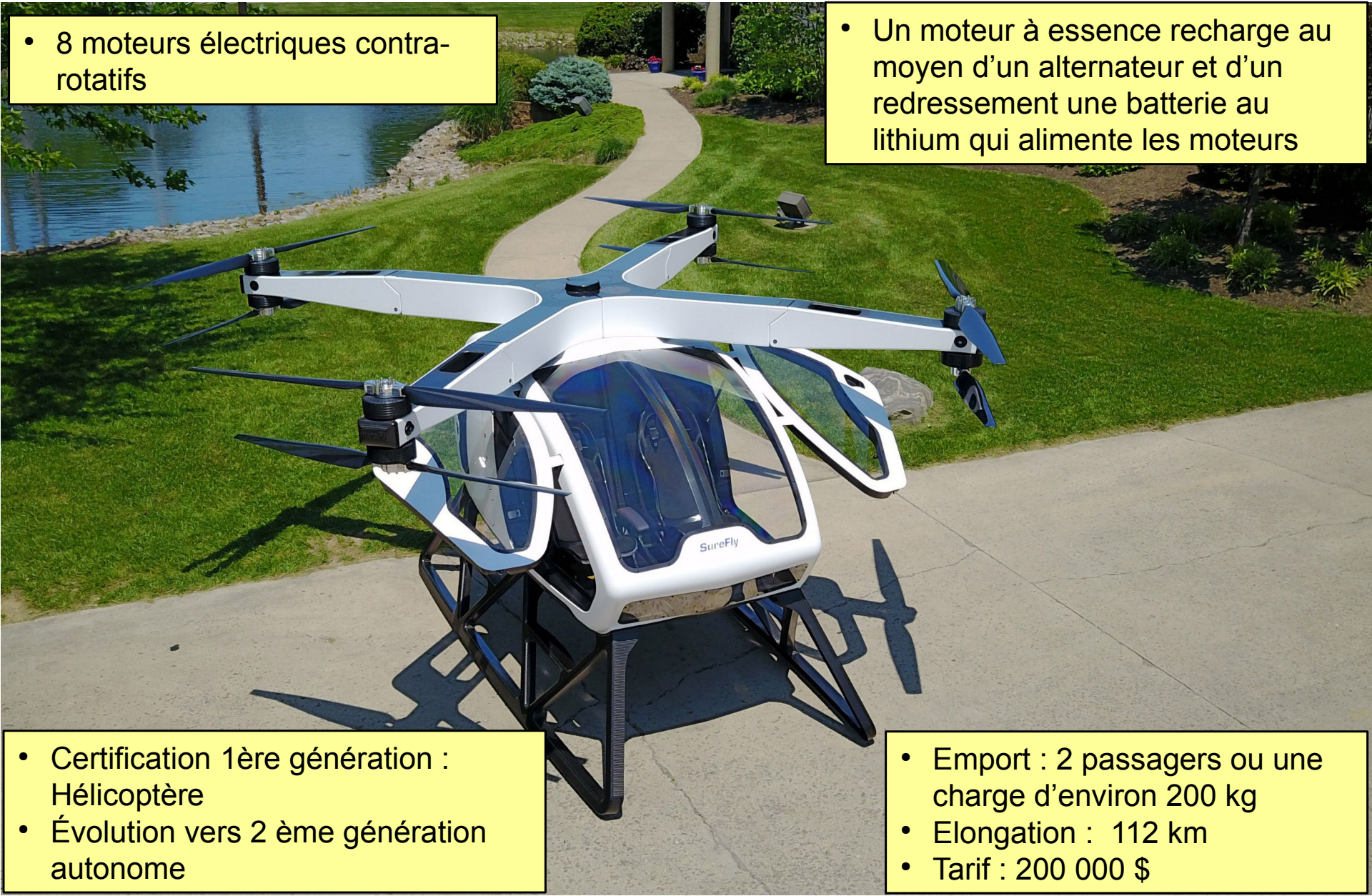


# Drones à passagers SureFly



- 8 moteurs électriques contra-rotatifs

- Un moteur à essence recharge au moyen d'un alternateur et d'un redressement une batterie au lithium qui alimente les moteurs



- Certification 1ère génération : Hélicoptère
- Évolution vers 2 ème génération autonome

- Emport : 2 passagers ou une charge d'environ 200 kg
- Elongation : 112 km
- Tarif : 200 000 \$



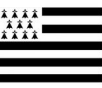
- Mission de protection des sites sensibles

• Télépilote

• Décollage du drone

• Assistant

# Drone Donecle d'inspection des aéronefs

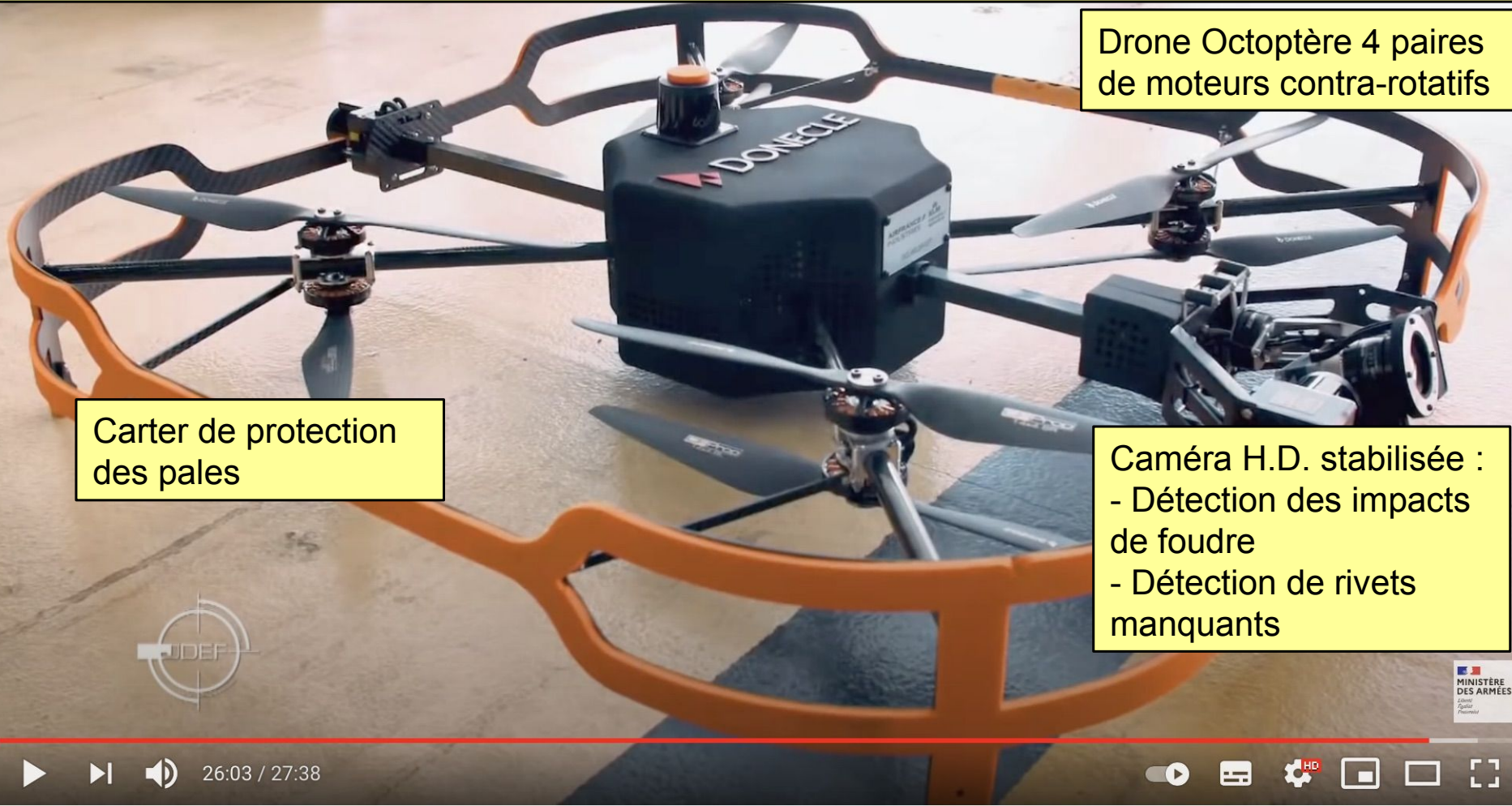


Donecle : Fournisseur français de drones basé à Toulouse spécialisé dans l'inspection automatisée des aéronefs.

Fonctionnement en intérieur et positionnement par lasers. Utilisation de l'intelligence artificielle.

Flotte de 6 drones pour inspecter les Airbus A380 d'Air France.

Diversification : Contrôle des parcs éoliens, des grands navires, du ferroviaire ...



Drone Octoptère 4 paires de moteurs contra-rotatifs

Carter de protection des pales

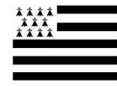
Caméra H.D. stabilisée :  
- Détection des impacts de foudre  
- Détection de rivets manquants



26:03 / 27:38

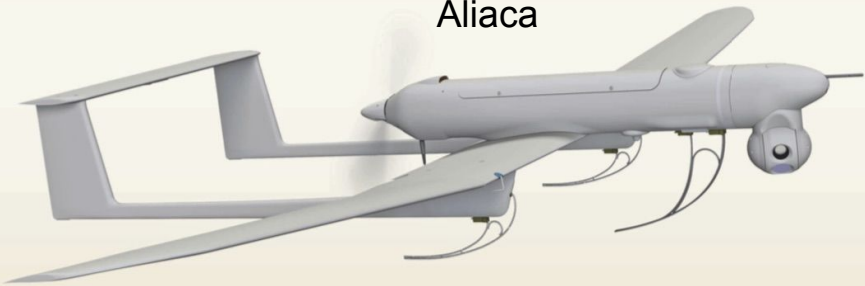






# Drones SurveyCopter / Airbus

Aliaca



Famille de drones de surveillance Aliaca et Tracker 120 développés par Survey Copter Filiale d'Airbus

Aliaca / DVF 2000 : Voilure fixe

- 2,2 m de long, 3,6 m d'envergure

- Masse : 16 kilos. Le drone est propulsé à l'aide d'une catapulte et récupéré avec un filet après sa mission.

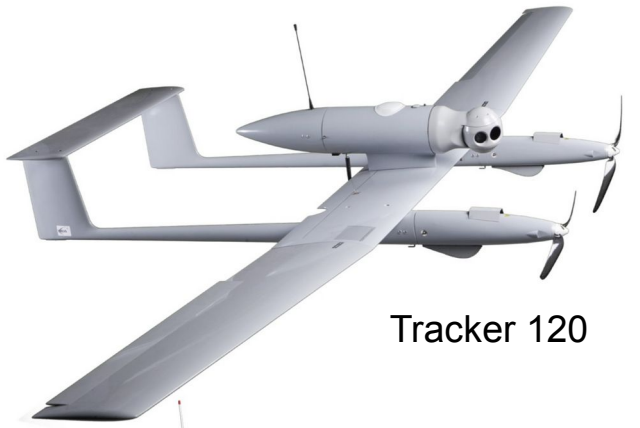
Totalement silencieux, durée maximum : 3 heures

- Vitesse : 100 km/h ; altitude : 3000 mètres.

Elongation max : 50 km

Identification des bâtiments en mer grâce à un récepteur AIS (système d'identification automatique des navires).

Tracker 120



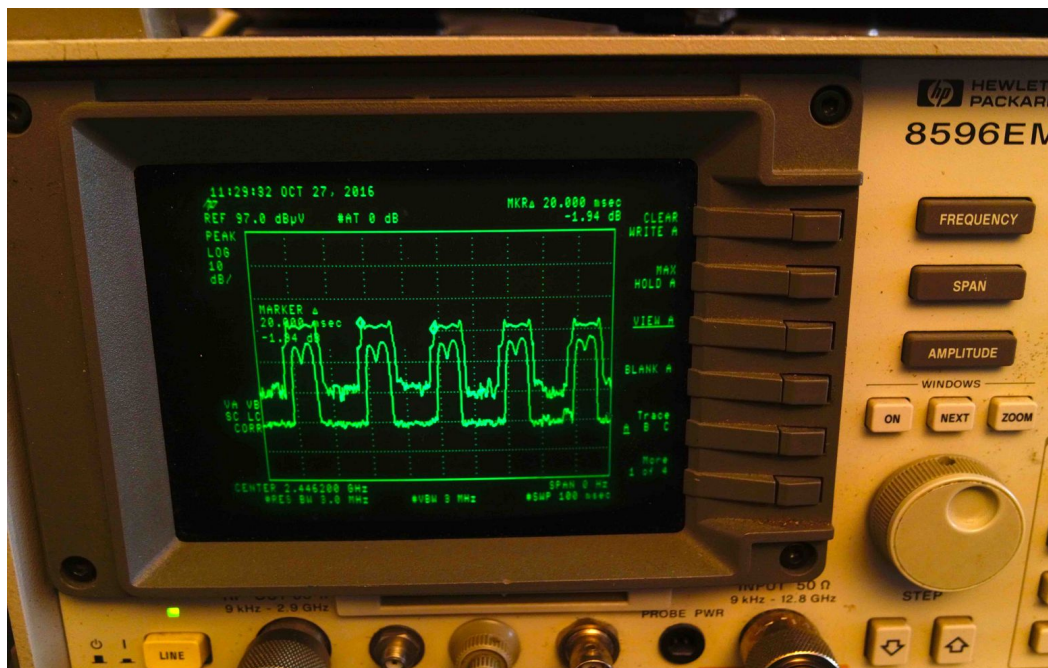
Les drones sont soumis comme tous les équipements électroniques aux exigences du marquage CE → Performances CEM minimales à garantir en pouvoir perturbateur et en immunité. .

Cela donne une certaine confiance quand à leur immunité aux champs électromagnétiques en particulier ceux des lignes à haute tension et des relais de téléphone portables.

→ Mais attention quand même quand on s'approche trop près des lignes à très haute tension : On a des arcs grêles et le drone peut subir une réinitialisation et tomber...

→ Idem pour les relais de téléphone portable ( $E_{max} = 10 \text{ V/m}$ )

→ Attention surtout aux champs magnétiques puissants en continu et à 50 Hz qui perturbent le compas magnétique : Suivre les modes d'emploi et s'éloigner des grosses masses magnétiques.

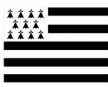


Les drones DJI utilisent la bande Wifi 2,4 GHz pour leur télécommande qui est polluée par leur utilisateur primaire : Les fours à μondes.

Leur signature est leur redressement du secteur 50 Hz mono-alternance avec  $T = 20 \text{ ms}$ .

Cependant on ne trouve pas de rapport d'incidents ....

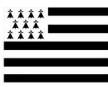




- En vol normal : Alerte batterie basse
- Prendre la météo locale pour connaître les valeurs de vitesse de vent et comparer avec le domaine de vol garanti.
- Carto radio pour prendre connaissance des émetteurs puissants qui pourraient poser des problèmes de CEM.

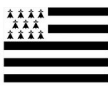
Exemple des tours de téléphonie portable, des relais ré-émetteurs de TV, radio FM

- **RTH** : **R**eturn **T**o the **H**ome avec auto guidage par GPS si perte liaison radio et batterie trop déchargée.
- Alerte sur l'intégrité du signal champ magnétique terrestre
- En situation de perte totale de contrôle : Déclenchement d'un parachute comme pour les ULM
- Plan de vol pour passer en dehors des sites perturbés en champ magnétiques terrestre :  
implantation de grosses masses magnétiques
- Qualification et formation des télépilotes
- Respect des consignes (servitudes) près des aéroports, zones sensibles (Centrales nucléaires)
- Se rappeler que la phase la plus critique est le décollage donc bien vérifier que le champ magnétiques n'est pas perturbé par des sources de courants ou des masses magnétiques.

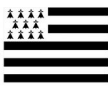


- Éruptions volcaniques : surveillance, suivi et contrôle des nuages de cendres
- Observation du climat / Recherche météorologique
- Surveillance des glaciers
- Surveillance des icebergs
- Surveillance de l'environnement
- Enregistrement de l'infiltration d'eau de mer
- Cartographie des sites de fouille
- Recherche archéologique
- Survol des bâtiments et sites historiques
- Photogrammétrie
- Mesure des rayonnements
- Mesure de la contamination nucléaire
- Recherche dans l'Arctique

- Agriculture : cartographie de la croissance des plantes et de leurs problèmes, des niveaux d'humidité et des rendements
- Propagation des algues
- Cartographie des régions côtières
- Cartographie des bancs de sable
- Levés géophysiques
- Recherche ethnographique
- Étude de la biodiversité
- Comptage des effectifs de populations animales
- Surveillance des mammifères marins
- Aide à la recherche océanique et maritime
- Identification des espèces végétales
- Foresterie et gestion des ressources naturelles
- Recherche de capteurs pour avions téléguidés

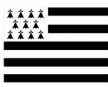


- Drones plus petits ou micro-drones pour explorer des petits volumes
- Nano-drone du type insecte
- Ailes battantes, alimentation par Laser ou microondes
- Vols en formation avec des algorithmes et de l'IA ; intelligence collective (Cf. recherches sur les véhicules connectés et les véhicules autonomes)
- **Sources d'énergie à plus forte énergie massique** Cf. piles à combustible
- Drones plus gros pour emporter un/des passager(s)
- Implémentation d'intelligence artificielle pour les dépouillement de données acquises par les drones
- Implémentation d'intelligence artificielle pour la fusion de données de capteurs pour le pilotage des drones
- Nouveaux concepts : Drones étanches → sous-marins et aériens
- Nouveaux services : Livraisons



- <https://www.uavexpertnews.com>
- <https://asl.ethz.ch/research/flying-robots.html> , Institut de Technologie fédéral de Zurich
- <https://www.homeofdrones.org> : Acteurs Suisses dans le domaine des drones
- <https://www.youtube.com/watch?v=rQhf4mjrXqQ> ; drones militaires
- wikipedia
- Air & cosmos <https://www.air-cosmos.com/actualite/drones-civils>
- Règlements des drones : DGAC  
[https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Presentation\\_reglementation\\_europeenne\\_drones.pdf](https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Presentation_reglementation_europeenne_drones.pdf)
- HAL : Archives ouvertes ; Exemple : *Modélisation formelle de systèmes de drones civils à l'aide de méthodes probabilistes paramétrées*  
<https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-02890410>
- Notices techniques des fabricants DJI, Fairchild etc.
- <https://forumdrone.fr/>





- BLOS : Beyond Line Of Sight
- Caméras EO : Cameras Electro optical : Senseur optique à semi-conducteurs CCD dans le visible
- Caméras IR : Domaine spectral Infra-Rouge pour la détection des échauffements et des personnes.
- Caméras UV : Domaine spectral Ultra -Violet
- DGAC : Direction Générale de l'Aviation Civile
- DGPS : Differential Global Positioning System Cf. RTk
- E/R : Émission / Réception des liens radio
- ESC : Electronic Speed Control
- FCS : Flight Control System
- FLV : First Person Viewer
- Gimbal : Suspension à la cardan pour stabiliser un appareil photo ou une caméra vidéo embarqués sur un drone. Autre appellation : Tourelle gyrostabilisée
- GNSS : Global Navigation Satellite System (Ensemble des constellations de type GPS)
- GPRS : General Packet Radio Service (transmission de données robuste dérivée du GSM)
- GPS : Global Positioning System d'origine armée des USA
- IOSD : Interface On Screen Display : La télémétrie, le retour vidéo etc. sont affichées sur un écran LCD. (Alias : Module d'affichage des données du vol)
- IMU : Inertial Measurement Unit.
- LIDAR : Light Detection And Ranging (Cf : Radar Radio Detection and Ranging)
- LiPo : Lithium Ion Polymer (Batteries)
- MEMS : MicroElectroMechanical Systems pour les capteurs inertiels notamment
- Missions S1, S2, S3 S4 définies par la DGAC spécifiant les qualifications des télépilotes, l'élongation etc.
- PDB : Power Distribution Board
- RF / RFI : Radio Frequency / Radio Frequency Interference
- RTK : Real Time Kinematics pour pour le GPS de précision centimétrique
- UAV : Unmanned Aerial Véhicules : Aéronefs n'embarquant pas leur pilote.