

Drones et micro-drones

Pascal Brisset¹ Antoine Drouin²

¹École Nationale de l'Aviation Civile

²Centre d'Etudes de la Navigation Aérienne

18 novembre 2004

Contexte

- Début 2003 : Projet privé Paparazzi : modèle réduit autonome
- Compétitions en vol autonome
 - Septembre 2003 : Journées micro-drones, Toulouse
 - Juillet 2004 : EuroPaparazzi - compétition micro-drones, Brno (République tchèque)
 - Septembre 2004 : Journées micro-drones, Toulouse
- Octobre 2004 : Activité ENAC

Contexte

- Début 2003 : Projet privé Paparazzi : modèle réduit autonome
- Compétitions en vol autonome
 - Septembre 2003 : Journées micro-drones, Toulouse
 - Juillet 2004 : Conférence européenne micro-drones, Braunschweig
 - Septembre 2004 : Journées micro-drones, Toulouse
- Octobre 2004 : Activité ENAC

Contexte

- Début 2003 : Projet privé Paparazzi : modèle réduit autonome
- Compétitions en vol autonome
 - Septembre 2003 : Journées micro-drones, Toulouse
 - Juillet 2004 : Conférence européenne micro-drones, Braunschweig
 - Septembre 2004 : Journées micro-drones, Toulouse
- Octobre 2004 : Activité ENAC

Contexte

- Début 2003 : Projet privé Paparazzi : modèle réduit autonome
- Compétitions en vol autonome
 - Septembre 2003 : Journées micro-drones, Toulouse
 - Juillet 2004 : Conférence européenne micro-drones, Braunschweig
 - Septembre 2004 : Journées micro-drones, Toulouse
- Octobre 2004 : Activité ENAC

Contexte

- Début 2003 : Projet privé Paparazzi : modèle réduit autonome
- Compétitions en vol autonome
 - Septembre 2003 : Journées micro-drones, Toulouse
 - Juillet 2004 : Conférence européenne micro-drones, Braunschweig
 - Septembre 2004 : Journées micro-drones, Toulouse
- Octobre 2004 : Activité ENAC

Contexte

- Début 2003 : Projet privé Paparazzi : modèle réduit autonome
- Compétitions en vol autonome
 - Septembre 2003 : Journées micro-drones, Toulouse
 - Juillet 2004 : Conférence européenne micro-drones, Braunschweig
 - Septembre 2004 : Journées micro-drones, Toulouse
- Octobre 2004 : Activité ENAC

- 1 Introduction
- 2 Drones
 - Catégories
 - Applications civiles
 - Réglementation
 - Drones légers
- 3 Projet Paparazzi
 - Objectifs
 - Fonctionnalités
 - Réalisation
 - Résultats
- 4 Perspectives

Drone, UAV, VASP

Définition

Aéronef sans pilote contrôlé à distance

- Un drone peut être piloté
- Un drone peut emporter des passagers
- Le pilotage ne s'effectue pas nécessairement depuis le sol
- Un drone atterrit (\neq missile, ballon-sonde)

En particulier...

Les aéromodélistes font voler des drones.

Drone, UAV, VASP

Définition

Aéronef sans pilote contrôlé à distance

- Un drone peut être piloté
 - Un drone peut emporter des passagers
 - Le pilotage ne s'effectue pas nécessairement depuis le sol
 - Un drone atterrit (\neq missile, ballon-sonde)

En particulier...

Les aéromodélistes font voler des drones.

Drone, UAV, VASP

Définition

Aéronef sans pilote contrôlé à distance

- Un drone peut être piloté
- Un drone peut emporter des passagers
- Le pilotage ne s'effectue pas nécessairement depuis le sol
- Un drone atterrit (\neq missile, ballon-sonde)

En particulier...

Les aéromodélistes font voler des drones.

Drone, UAV, VASP

Définition

Aéronef sans pilote contrôlé à distance

- Un drone peut être piloté
- Un drone peut emporter des passagers
- Le pilotage ne s'effectue pas nécessairement depuis le sol
- Un drone atterrit (\neq missile, ballon-sonde)

En particulier...

Les aéromodélistes font voler des drones.

Drone, UAV, VASP

Définition

Aéronef sans pilote contrôlé à distance

- Un drone peut être piloté
- Un drone peut emporter des passagers
- Le pilotage ne s'effectue pas nécessairement depuis le sol
- Un drone atterrit (\neq missile, ballon-sonde)

En particulier...

Les aéromodélistes font voler des drones.

Drone, UAV, VASP

Définition

Aéronef sans pilote contrôlé à distance

- Un drone peut être piloté
- Un drone peut emporter des passagers
- Le pilotage ne s'effectue pas nécessairement depuis le sol
- Un drone atterrit (\neq missile, ballon-sonde)

En particulier...

Les aéromodélistes font voler des drones.

Classification

Caractéristiques :

- Altitude de vol
- Rayon d'action (*Endurance*)
- Poids et charge utile

High Altitude Long Endurance

FL600, 10 000km, 10 tonnes

Medium Altitude Long Endurance

FL300, 1 000km, 1 tonne

Mini Drone

150m, 10km, 1 kg

Classification

Caractéristiques :

- Altitude de vol
- Rayon d'action (*Endurance*)
- Poids et charge utile

High Altitude Long Endurance

FL600, 10 000km, 10 tonnes

Medium Altitude Long Endurance

FL300, 1 000km, 1 tonne

Mini Drone

150m, 10km, 1 kg

Classification

Caractéristiques :

- Altitude de vol
- Rayon d'action (*Endurance*)
- Poids et charge utile

High Altitude Long Endurance

FL600, 10 000km, 10 tonnes

Medium Altitude Long Endurance

FL300, 1 000km, 1 tonne

Mini Drone

150m, 10km, 1 kg

Classification

Caractéristiques :

- Altitude de vol
- Rayon d'action (*Endurance*)
- Poids et charge utile

High Altitude Long Endurance

FL600, 10 000km, 10 tonnes

Medium Altitude Long Endurance

FL300, 1 000km, 1 tonne

Mini Drone

150m, 10km, 1 kg

Classification

Caractéristiques :

- Altitude de vol
- Rayon d'action (*Endurance*)
- Poids et charge utile

High Altitude Long Endurance

FL600, 10 000km, 10 tonnes

Medium Altitude Long Endurance

FL300, 1 000km, 1 tonne

Mini Drone

150m, 10km, 1 kg

Classification

Caractéristiques :

- Altitude de vol
- Rayon d'action (*Endurance*)
- Poids et charge utile

High Altitude Long Endurance

FL600, 10 000km, 10 tonnes

Medium Altitude Long Endurance

FL300, 1 000km, 1 tonne

Mini Drone

150m, 10km, 1 kg

HALE géostationnaire



Helios (AeroVironment, NASA)

- 60m, FL600
- Électrique, solaire + pile à combustible

HALE



Global Hawk (Northrop Grumman)

- 30m d'envergure, 12 tonnes, 1 tonne de charge utile
- Mission en Allemagne à l'automne 2003

MALE



Predator

- 15m d'envergure, 1 tonne, 200kg de charge utile
- Rayon d'action : 720km, 16h

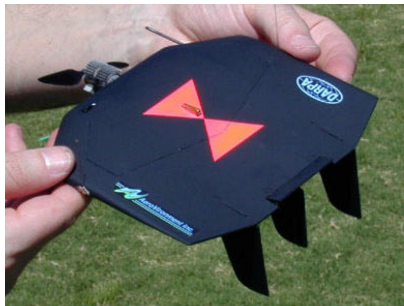
Mini drone



DO-MAV (EADS Dornier)

- 42cm d'envergure, 500g
- Mission de reconnaissance en autonomie totale

Micro drone



Blackwidow (AeroVironment)

- 20cm d'envergure, 42g
- Autonomie totale

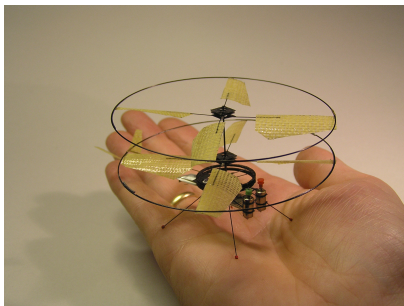
Voilure tournante



RMAX (Yamaha)

- 100kg, 30kg de charge utile
- Autonomie totale

Nano drone



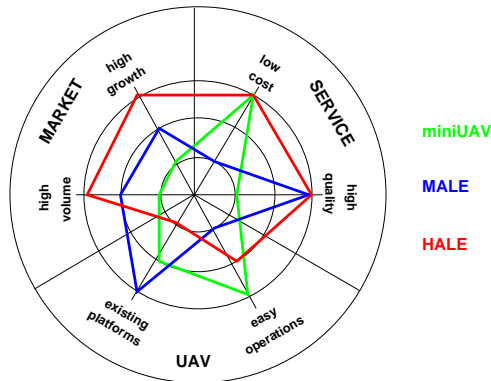
Nanoflyer (Proxflyer)

- 2.7g, 2 moteurs
- Télécommandé par infrarouge

Applications civiles

Projet européen USICO

Unmanned aerial vehicle Safety Issues for Civil Operations



Applications civiles



HALE (géostationnaire)

Applications civiles

HALE (géostationnaire)

- Radiodiffusion (télévision, ...)
- Télécommunications
- Environnement (incendies, pollution maritime, ...)

Applications civiles

HALE (géostationnaire)

- Radiodiffusion (télévision, ...)
- Télécommunications
- Environnement (incendies, pollution maritime, ...)

Applications civiles

HALE (géostationnaire)

- Radiodiffusion (télévision, ...)
- Télécommunications
- Environnement (incendies, pollution maritime, ...)

Applications civiles



MALE

Applications civiles

MALE

- Activités gouvernementales (police, douanes, environnement, ...)
- Missions scientifiques
- Surveillance d'infrastructures (réseau routier, lignes électriques, pipe-lines...)
- Topographie
- Transport de fret
- Transport de passagers

Applications civiles

MALE

- Activités gouvernementales (police, douanes, environnement, ...)
- Missions scientifiques
- Surveillance d'infrastructures (réseau routier, lignes électriques, pipe-lines...)
- Topographie
- Transport de fret
- Transport de passagers

Applications civiles

MALE

- Activités gouvernementales (police, douanes, environnement, ...)
- Missions scientifiques
- Surveillance d'infrastructures (réseau routier, lignes électriques, pipe-lines...)
- Topographie
- Transport de fret
- Transport de passagers

Applications civiles

MALE

- Activités gouvernementales (police, douanes, environnement, ...)
- Missions scientifiques
- Surveillance d'infrastructures (réseau routier, lignes électriques, pipe-lines...)
- Topographie
- Transport de fret
- Transport de passagers

Applications civiles

MALE

- Activités gouvernementales (police, douanes, environnement, ...)
- Missions scientifiques
- Surveillance d'infrastructures (réseau routier, lignes électriques, pipe-lines...)
- Topographie
- Transport de fret
- Transport de passagers

Applications civiles

MALE

- Activités gouvernementales (police, douanes, environnement, ...)
- Missions scientifiques
- Surveillance d'infrastructures (réseau routier, lignes électriques, pipe-lines...)
- Topographie
- Transport de fret
- Transport de passagers

Applications civiles



Mini-drones

Applications civiles

Mini-drones

- Photos aériennes, inspection
- Publicité
- Épandage agricole, surveillance des cultures, garde de troupeaux
- Expériences scientifiques, mesures atmosphériques
- Déménagement

Applications civiles

Mini-drones

- Photos aériennes, inspection
- Publicité
- Épandage agricole, surveillance des cultures, garde de troupeaux
- Expériences scientifiques, mesures atmosphériques
- Déménagement

Applications civiles

Mini-drones

- Photos aériennes, inspection
- Publicité
- Épandage agricole, surveillance des cultures, garde de troupeaux
- Expériences scientifiques, mesures atmosphériques
- Déménagement

Applications civiles

Mini-drones

- Photos aériennes, inspection
- Publicité
- Épandage agricole, surveillance des cultures, garde de troupeaux
- Expériences scientifiques, mesures atmosphériques
- Déménagement

Applications civiles

Mini-drones

- Photos aériennes, inspection
- Publicité
- Épandage agricole, surveillance des cultures, garde de troupeaux
- Expériences scientifiques, mesures atmosphériques
- Déménagement

Applications civiles

Actions européennes :

USICO

Unmanned aerial vehicle Safety Issues for Civil Operations

CAPECON

Civil UAV Applications & Economic effectivity of potential
CONfiguration solutions

UAVNET

<http://www.uavnet.com>

Rien ne peut voler

Faute de réglementation

Applications civiles

Actions européennes :

USICO

Unmanned aerial vehicle Safety Issues for Civil Operations

CAPECON

Civil UAV Applications & Economic effectivity of potential
CONfiguration solutions

UAVNET

<http://www.uavnet.com>

Rien ne peut voler

Faute de réglementation

Applications civiles

Actions européennes :

USICO

Unmanned aerial vehicle Safety Issues for Civil Operations

CAPECON

Civil UAV Applications & Economic effectivity of potential
CONfiguration solutions

UAVNET

<http://www.uavnet.com>

Rien ne peut voler

Faute de réglementation

Applications civiles

Actions européennes :

USICO

Unmanned aerial vehicle Safety Issues for Civil Operations

CAPECON

Civil UAV Applications & Economic effectivity of potential
CONfiguration solutions

UAVNET

<http://www.uavnet.com>

Rien ne peut voler

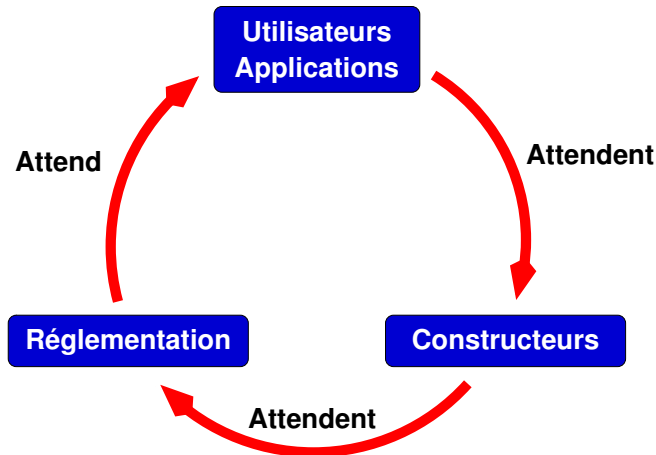
Faute de réglementation

Réglementation nationale

Convention de Chicago (1944)

No aircraft capable of being flown without a pilot shall be flown without a pilot over the territory of a contracting State without special authorization by that State and in accordance with the terms of such authorization. Each contracting State undertakes to insure that the flight of such aircraft without a pilot in regions open to civil aircraft shall be so controlled as to obviate danger to civil aircraft.

Réglementation : situation bloquée



Réglementation : travaux actuels

- NASA : HALE (FL400) en 2008 (\$100M)
- Europe
 - USICO (Unmanned aerial vehicle Safety Issues for Civil Operations) : industriels et centres de recherche
 - JAA/Eurocontrol UAV Task Force : régulateurs, opérateurs, industriels

Réglementation : travaux actuels

- NASA : HALE (FL400) en 2008 (\$100M)
- Europe
 - USICO (Unmanned aerial vehicle Safety Issues for Civil Operations) : industriels et centres de recherche
 - *JAA/Eurocontrol UAV Task Force* : régulateurs, opérateurs, industriels

Études achevées : recommandations

Réglementation : travaux actuels

- NASA : HALE (FL400) en 2008 (\$100M)
- Europe
 - USICO (Unmanned aerial vehicle Safety Issues for Civil Operations) : industriels et centres de recherche
 - JAA/Eurocontrol UAV Task Force : régulateurs, opérateurs, industriels

Printemps 2004

Études achevées : recommandations

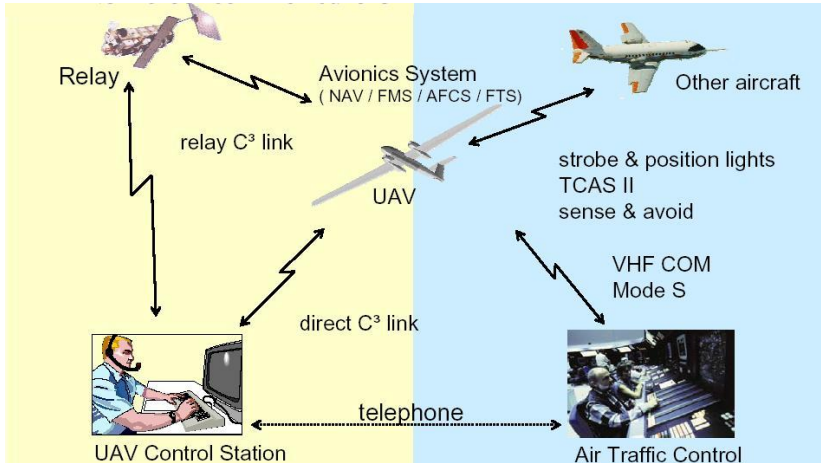
Réglementation : travaux actuels

- NASA : HALE (FL400) en 2008 (\$100M)
- Europe
 - USICO (Unmanned aerial vehicle Safety Issues for Civil Operations) : industriels et centres de recherche
 - JAA/Eurocontrol UAV Task Force : régulateurs, opérateurs, industriels

Printemps 2004

Études achevées : recommandations

Circulation aérienne



Certification

Événement catastrophique

Impossibilité pour le drone de poursuivre son vol et d'atterrir sur un site prédéfini, i.e. crash non contrôlé avec des victimes potentielles au sol.

À considérer

- Sécurité des moyens de communications

Certification

Événement catastrophique

Impossibilité pour le drone de poursuivre son vol et d'atterrir sur un site prédéfini, i.e. crash non contrôlé avec des victimes potentielles au sol.

À considérer

- Sûreté des moyens de communications
- Réactions aux situations d'urgence (interruption du vol, ...)
- Sûreté de la station sol
- Facteurs humains relatifs à la station sol

Certification

Événement catastrophique

Impossibilité pour le drone de poursuivre son vol et d'atterrir sur un site prédéfini, i.e. crash non contrôlé avec des victimes potentielles au sol.

À considérer

- Sûreté des moyens de communications
- Réactions aux situations d'urgence (interruption du vol, ...)
- Sûreté de la station sol
- Facteurs humains relatifs à la station sol

Certification

Événement catastrophique

Impossibilité pour le drone de poursuivre son vol et d'atterrir sur un site prédéfini, i.e. crash non contrôlé avec des victimes potentielles au sol.

À considérer

- Sûreté des moyens de communications
- Réactions aux situations d'urgence (interruption du vol, ...)
- Sûreté de la station sol
- Facteurs humains relatifs à la station sol

Certification

Événement catastrophique

Impossibilité pour le drone de poursuivre son vol et d'atterrir sur un site prédéfini, i.e. crash non contrôlé avec des victimes potentielles au sol.

À considérer

- Sûreté des moyens de communications
- Réactions aux situations d'urgence (interruption du vol, ...)
- Sûreté de la station sol
- Facteurs humains relatifs à la station sol

Certification

Événement catastrophique

Impossibilité pour le drone de poursuivre son vol et d'atterrir sur un site prédéfini, i.e. crash non contrôlé avec des victimes potentielles au sol.

À considérer

- Sûreté des moyens de communications
- Réactions aux situations d'urgence (interruption du vol, ...)
- Sûreté de la station sol
- Facteurs humains relatifs à la station sol

Réglementation : conclusion

Tout reste à faire

- Réglementation nationale ?
- Rôle du CENA ?

Réglementation : conclusion

Tout reste à faire

- Réglementation nationale ?
- Rôle du CENA ?

Aujourd'hui

Réglementation : conclusion

Tout reste à faire

- Réglementation nationale ?
- Rôle du CENA ?

Aujourd'hui

- Les modélistes font voler des drones

Réglementation : conclusion

Tout reste à faire

- Réglementation nationale ?
- Rôle du CENA ?

Aujourd'hui

- Les modélistes font voler des drones
- Les applications existent

Réglementation : conclusion

Tout reste à faire

- Réglementation nationale ?
- Rôle du CENA ?

Aujourd'hui

- Les modélistes font voler des drones
- Les applications existent

Réglementation : conclusion

Tout reste à faire

- Réglementation nationale ?
- Rôle du CENA ?

Aujourd'hui

- Les modélistes font voler des drones
- Les applications existent

Aéro-modélisme

Aéromodèle

Objet volant radiocommandé ou non, motorisé ou non, sans pilote, ni personne à bord

Catégories

- 1 Masse inférieure à 12kg : aucune autorisation nécessaire
- 2 Masse inférieure à 25kg : déclaration obligatoire
- 3 Masse supérieure à 25kg : autorisation pour aéronef-pilote

Règles de vol

- Pilotage à vue depuis le sol
- À distance des habitations, personnes, routes, ...
- Séparation des aéronefs pilotés

Aéro-modélisme

Aéromodèle

Objet volant radiocommandé ou non, motorisé ou non, sans pilote, ni personne à bord

Catégories

- 1 Masse inférieure à 12kg : aucune autorisation nécessaire
- 2 Masse inférieure à 25kg : déclaration obligatoire
- 3 Masse supérieure à 25kg : autorisation pour aéronef-pilote

Règles de vol

- Pilotage à vue depuis le sol
- À distance des habitations, personnes, routes, ...
- Séparation des aéronefs pilotés

Aéro-modélisme

Aéromodèle

Objet volant radiocommandé ou non, motorisé ou non, sans pilote, ni personne à bord

Catégories

- 1 Masse inférieure à 12kg : aucune autorisation nécessaire
- 2 Masse inférieure à 25kg : déclaration obligatoire
- 3 Masse supérieure à 25kg : autorisation pour aéronef-pilote

Règles de vol

- Pilotage à vue depuis le sol
- À distance des habitations, personnes, routes, ...
- Séparation des aéronefs pilotés

Drones légers

Recommandations du JAA Task-Force

- Moins de 150 kg, moins de 70 kt
- Pas de certificat de navigabilité
- Pas de licence de pilotage
- Pilotage à vue, de jour, ...

Drones légers

Recommandations du JAA Task-Force

- Moins de 150 kg, moins de 70 kt
- Pas de certificat de navigabilité
- Pas de licence de pilotage
- Pilotage à vue, de jour, ...

Drones légers

Recommandations du JAA Task-Force

- Moins de 150 kg, moins de 70 kt
- Pas de certificat de navigabilité
- Pas de licence de pilotage
- Pilotage à vue, de jour, ...

Drones légers

Recommandations du JAA Task-Force

- Moins de 150 kg, moins de 70 kt
- Pas de certificat de navigabilité
- Pas de licence de pilotage
- Pilotage à vue, de jour, ...

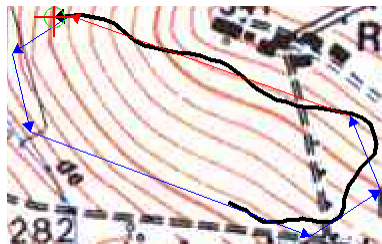
Projet Paparazzi



Projet Paparazzi

Objectifs

- Vol autonome
- Sécurité
- Bas coût
- Miniaturisation
- *Open source*



Projet Paparazzi

Objectifs

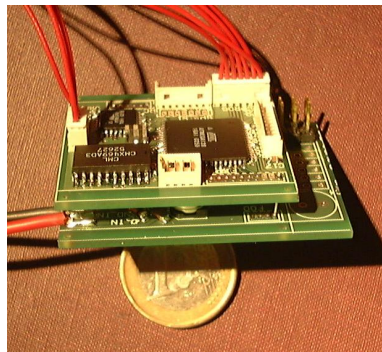
- Vol autonome
- Sécurité
- Bas coût
- Miniaturisation
- *Open source*



Projet Paparazzi

Objectifs

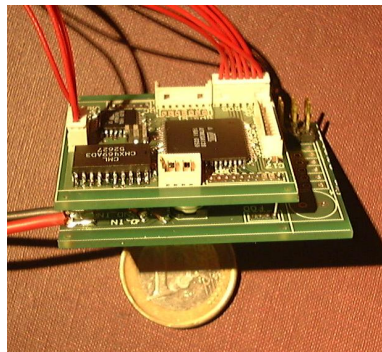
- Vol autonome
- Sécurité
- Bas coût
- Miniaturisation
- *Open source*



Projet Paparazzi

Objectifs

- Vol autonome
- Sécurité
- Bas coût
- Miniaturisation
- *Open source*



Projet Paparazzi

Objectifs

- Vol autonome
- Sécurité
- Bas coût
- Miniaturisation
- *Open source*



Projet Paparazzi

Motivations

- Compétitions vol autonome
- Technologie

Projet Paparazzi

Motivations

- **Compétitions vol autonome**
- Technologie
 - Electronique
 - Mécatronique
 - Informatique
- Loisir

Projet Paparazzi

Motivations

- Compétitions vol autonome
- Technologie
 - Électronique
 - Automatique
 - Logiciel
 - Mécanique du vol
- Loisir

Projet Paparazzi

Motivations

- Compétitions vol autonome
- Technologie
 - Électronique
 - Automatique
 - Logiciel
 - Mécanique du vol
- Loisir

Projet Paparazzi

Motivations

- Compétitions vol autonome
- Technologie
 - Électronique
 - Automatique
 - Logiciel
 - Mécanique du vol
- Loisir

Projet Paparazzi

Motivations

- Compétitions vol autonome
- Technologie
 - Électronique
 - Automatique
 - Logiciel
 - Mécanique du vol
- Loisir

Projet Paparazzi

Motivations

- Compétitions vol autonome
- Technologie
 - Électronique
 - Automatique
 - Logiciel
 - Mécanique du vol
- Loisir

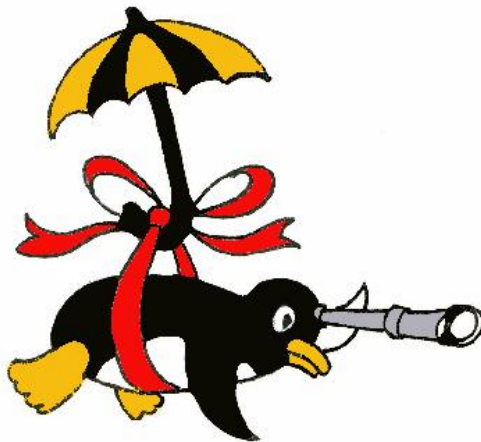
Projet Paparazzi

Motivations

- Compétitions vol autonome
- Technologie
 - Électronique
 - Automatique
 - Logiciel
 - Mécanique du vol
- Loisir



Fonctionnalités



Différents modes de vol

Aéromodélisme "standard"

Différents modes de vol

Manuel

Aéromodélisme "standard"

Assisté

• Taux

Autonome



Différents modes de vol

Manuel

Aéromodélisme "standard"

Assisté

- Taux
- Attitude
- Position

Autonome



Différents modes de vol

Manuel

Aéromodélisme "standard"

Assisté

- Taux
- Attitude
- Position

Autonome



Différents modes de vol

Manuel

Aéromodélisme "standard"

Assisté

- Taux
- Attitude
- Position

Autonome



Différents modes de vol

Manuel

Aéromodélisme "standard"

Assisté

- Taux
- Attitude
- Position

Autonome

→ Plan de vol



Différents modes de vol

Manuel

Aéromodélisme "standard"

Assisté

- Taux
- Attitude
- Position

Autonome

- Plan de vol
- Enchaînement de "blocs"
- Déroutements
- Prise de décision



Différents modes de vol

Manuel

Aéromodélisme "standard"

Assisté

- Taux
- Attitude
- Position

Autonome

- Plan de vol
- Enchaînement de "blocs"
- Déroutements
- Prise de décision



Différents modes de vol

Manuel

Aéromodélisme "standard"

Assisté

- Taux
- Attitude
- Position

Autonome

- Plan de vol
- Enchaînement de "blocs"
- Déroutements
- Prise de décision



Différents modes de vol

Manuel

Aéromodélisme "standard"

Assisté

- Taux
- Attitude
- Position

Autonome

- Plan de vol
- Enchaînement de "blocs"
- Déroutements
- Prise de décision



Différents modes de vol

Manuel

Aéromodélisme "standard"

Assisté

- Taux
- Attitude
- Position

Autonome

- Plan de vol
- Enchaînement de "blocs"
- Déroutements
- Prise de décision



Éditeur de mission

The screenshot displays the Paparazzi mission editor interface. The main window shows a map with several waypoints (P1, P2, P3, P4, P5) and mission events (Init, GO to P1, Loop, While true, GO to P1, GO to P2, GO to P3, GO to P4). A 'Paramètres du GO' dialog box is open, showing options for vertical and horizontal movement, and configuration options for speed and climb.

Waypoints Table:

Name	X	Y
P1	-125.00000	200.00000
P2	0.000000	0.000000
P3	175.000000	15.000000
P4	0.000000	0.000000
P5	0.000000	0.000000

Mission Events:

- Init
- GO to P1
- Loop
 - While true
 - GO to P1
 - GO to P2
 - GO to P3
 - GO to P4

Contrôle et suivi du vol

Station sol

• Paramètres de vol

• Perspectives

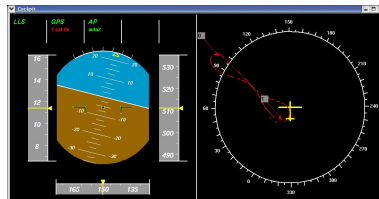
• Mission

• Log autopilote

Contrôle et suivi du vol

Station sol

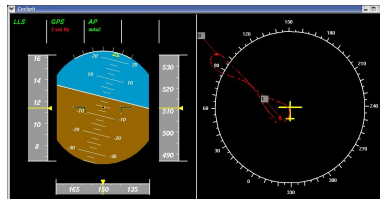
- Paramètres de vol
 - Attitude
 - Vitesses, position
 - Niveau batterie
- Trajectoire
- Mission
- Log autopilote



Contrôle et suivi du vol

Station sol

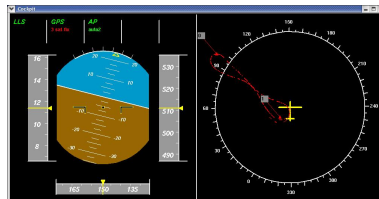
- Paramètres de vol
 - Attitude
 - Vitesses, position
 - Niveau batterie
- Trajectoire
- Mission
- Log autopilote



Contrôle et suivi du vol

Station sol

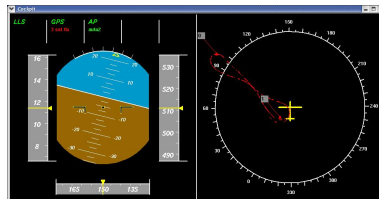
- Paramètres de vol
 - Attitude
 - Vitesses, position
 - Niveau batterie
- Trajectoire
- Mission
- Log autopilote



Contrôle et suivi du vol

Station sol

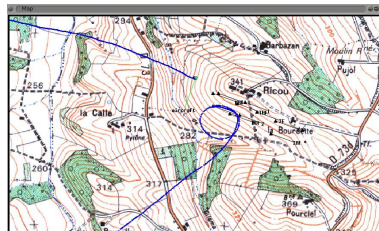
- Paramètres de vol
 - Attitude
 - Vitesses, position
 - Niveau batterie
- Trajectoire
- Mission
- Log autopilote



Contrôle et suivi du vol

Station sol

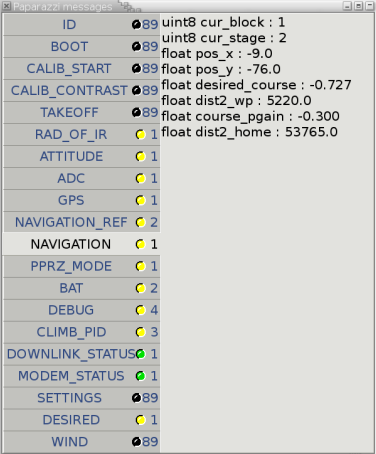
- Paramètres de vol
 - Attitude
 - Vitesses, position
 - Niveau batterie
- Trajectoire
 - Mission
 - Log autopilote



Contrôle et suivi du vol

Station sol

- Paramètres de vol
 - Attitude
 - Vitesses, position
 - Niveau batterie
- Trajectoire
- Mission
- Log autopilote



ID	Value
BOOT	uint8 cur_block : 1
CALIB_START	uint8 cur_stage : 2
CALIB_CONTRAST	float pos_x : -9.0
TAKEOFF	float pos_y : -76.0
RAD_OF_IR	float desired_course : -0.727
ATTITUDE	float dist2_wp : 5220.0
ADC	float course_pgain : -0.300
GPS	float dist2_home : 53765.0
NAVIGATION_REF	
NAVIGATION	
PPRZ_MODE	
BAT	
DEBUG	
CLIMB_PID	
DOWNLINK_STATUS	
MODEM_STATUS	
SETTINGS	
DESIRED	
WIND	

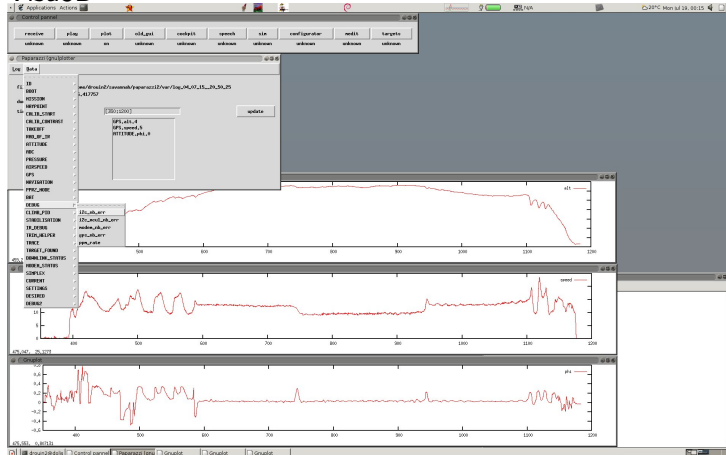
Contrôle du vol

The screenshot displays the Paparazzi flight simulator interface, divided into several panels:

- Map Panel (Top Left):** Shows a topographic map of a region with contour lines and place names like Barbazan, Ricou, Bourdette, and Pourcel. A blue flight path is overlaid on the map.
- Cockpit Panel (Top Right):** Displays real-time flight data. It includes a heading scale (0 to 360 degrees) with a yellow crosshair, a vertical scale (4 to 12), and numerical values for altitude (510, 500, 489, 480, 470) and speed (105, 120, 105).
- Mission Code Panel (Middle Right):** Shows XML mission code for a flight named "deux". The code includes waypoints, pitch commands, and block names like "land" and "init".
- Graphs Panel (Bottom Right):** Contains two line graphs. The top graph shows a signal fluctuating between 0 and 5 over time (0 to 200). The bottom graph shows a signal fluctuating between 300 and 500 over time (0 to 200).
- Video Panel (Bottom Left):** Shows a first-person view from the drone, displaying a river and surrounding terrain. Below the video is a playback control bar with a time of 12841 frames and a duration of 1880.

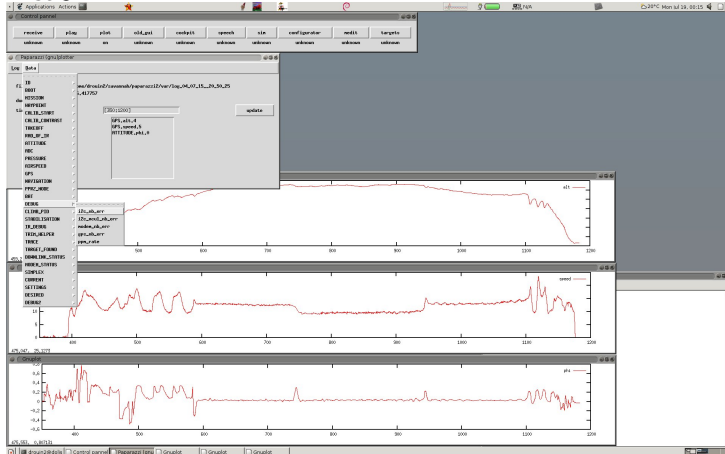
Rejeu, Analyse

Visu3D



Rejeu, Analyse

Visu3D



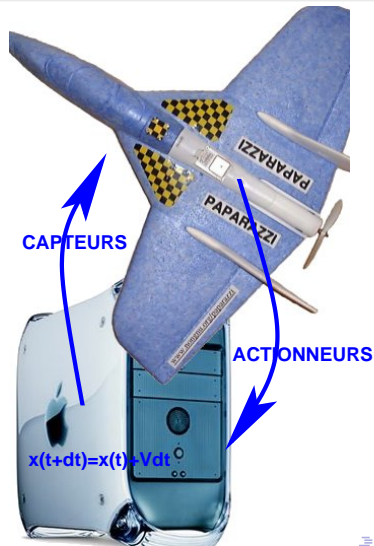
Simulation

Hardware in the loop

- Modèle avion sur la station hôte
- Simulation des capteurs
- Exécution de l'autopilote sur le système embarqué

Software in the loop

- Exécution du code de l'autopilote sur la station hôte



Simulation

Hardware in the loop

- Modèle avion sur la station hôte
- Simulation des capteurs
- Exécution de l'autopilote sur le système embarqué

Software in the loop

- Exécution du code de l'autopilote sur la station hôte



Vidéo

Transmission en temps réel. Montfaucon

Vidéo

Transmission en temps réel. Montfaucon

Recollage de clichés

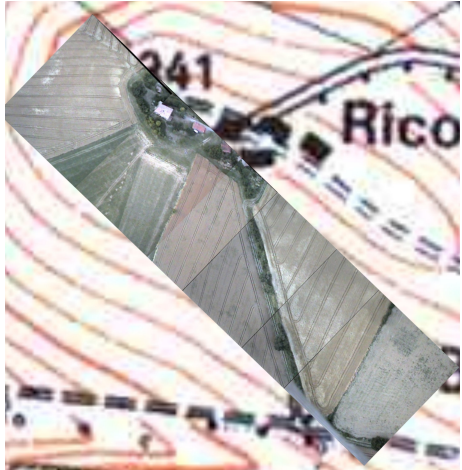
Fabrication d'une photo aérienne avec le flux vidéo.

- Manuel
- Automatique

Recollage de clichés

Fabrication d'une photo aérienne avec le flux vidéo.

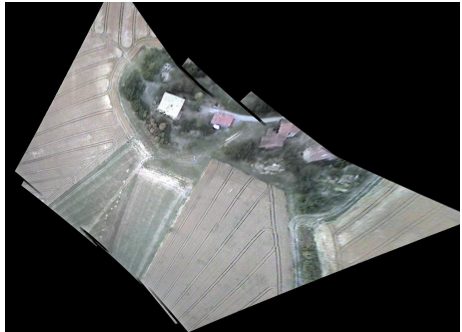
- Manuel
- Automatique



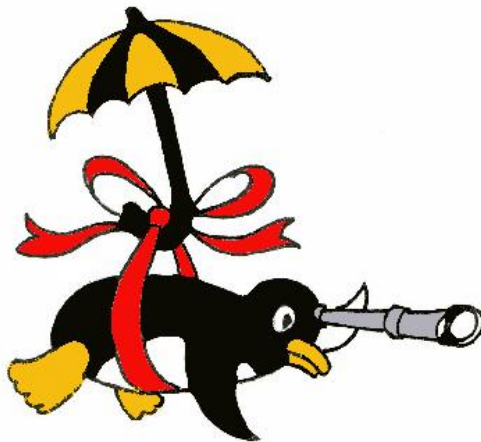
Recollage de clichés

Fabrication d'une photo aérienne avec le flux vidéo.

- Manuel
- Automatique



Réalisation



Cellule : COTS

« Prêt à voler » robuste, pas cher, ...

Cellule : COTS

« Prêt à voler » robuste, pas cher, ...



Cellule : COTS

« Prêt à voler » robuste, pas cher, ...



Composants standards

Commandes de vol

Servos

Propulsion

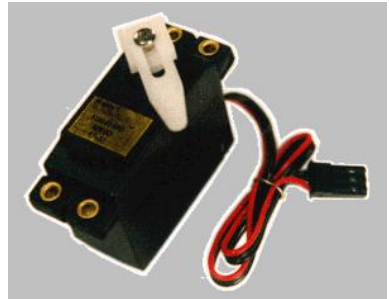
Électrique (*brushless*)

Énergie

Lithium polymère

Réception

Récepteur *patché*



Composants standards

Commandes de vol

Servos

Propulsion

Électrique (*brushless*)

Énergie

Lithium polymère

Réception

Récepteur *patché*



Composants standards

Commandes de vol

Servos

Propulsion

Électrique (*brushless*)

Énergie

Lithium polymère

Réception

Récepteur *patché*



Composants standards

Commandes de vol

Servos

Propulsion

Électrique (*brushless*)

Énergie

Lithium polymère

Réception

Récepteur *patché*



Avionique

- Deux microcontrôleurs 8 bits
- Un modem
- Un *driver* de servos

Avionique

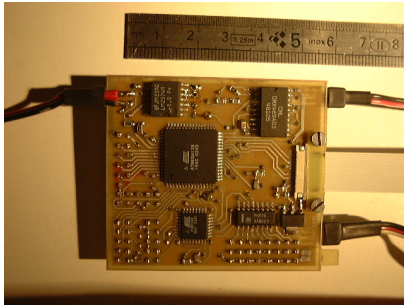
- Deux microcontrôleurs 8 bits
- Un modem
- Un *driver* de servos

Avionique

- Deux microcontrôleurs 8 bits
- Un modem
- Un *driver* de servos

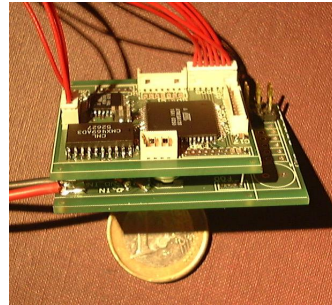
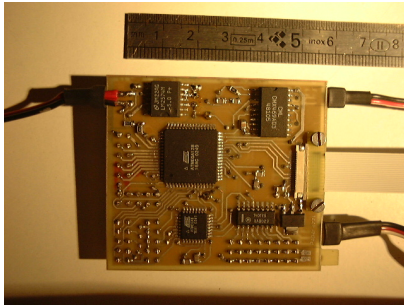
Avionique

- Deux microcontrôleurs 8 bits
- Un modem
- Un *driver* de servos

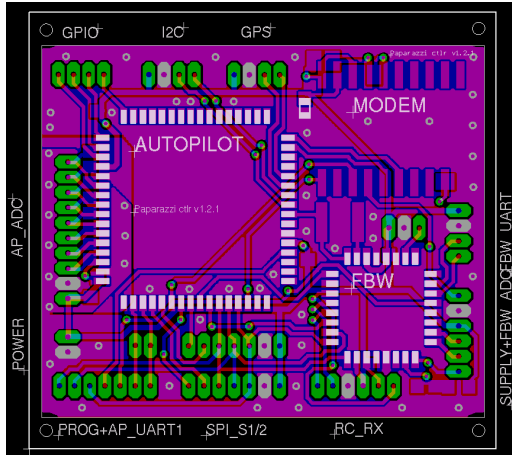


Avionique

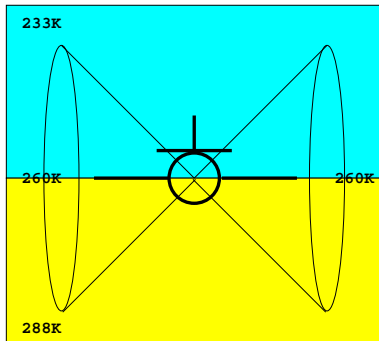
- Deux microcontrôleurs 8 bits
- Un modem
- Un *driver* de servos



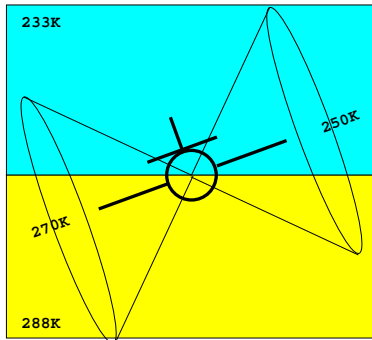
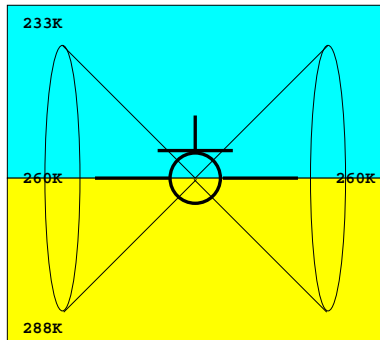
PCB



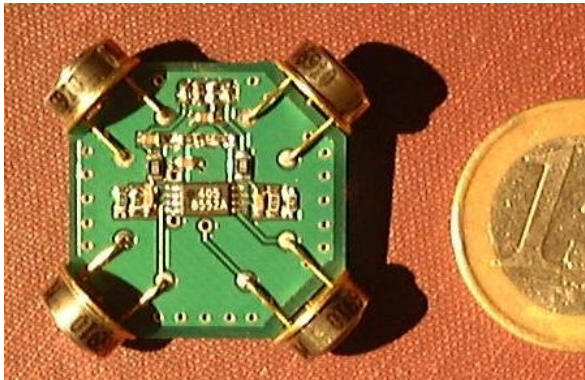
Attitude : Capteur infrarouge



Attitude : Capteur infrarouge



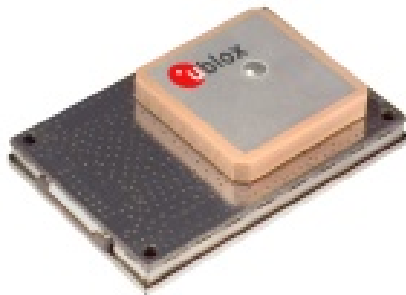
Attitude : Capteur infrarouge



Navigation

Capteur unique : GPS

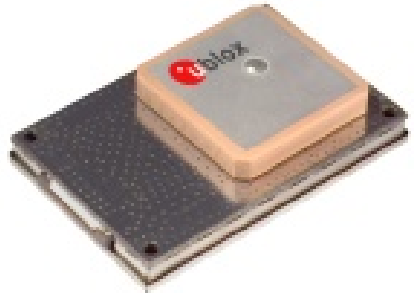
- Position, altitude
- Vitesse sol, taux de montée
- 16 canaux, 4Hz, 20g
- EGNOS, WAAS



Navigation

Capteur unique : GPS

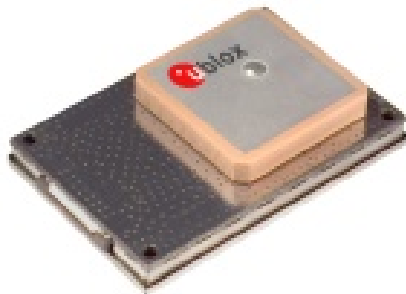
- Position, altitude
- Vitesse sol, taux de montée
- 16 canaux, 4Hz, 20g
- EGNOS, WAAS



Navigation

Capteur unique : GPS

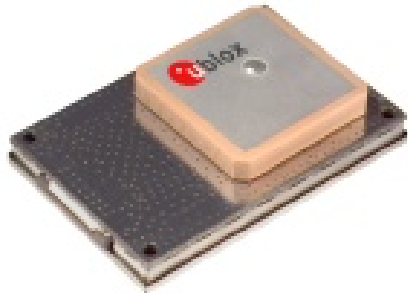
- Position, altitude
- Vitesse sol, taux de montée
- 16 canaux, 4Hz, 20g
- EGNOS, WAAS



Navigation

Capteur unique : GPS

- Position, altitude
- Vitesse sol, taux de montée
- 16 canaux, 4Hz, 20g
- EGNOS, WAAS



Contrôle

Latéral

- Assiette
- Cap
- Waypoint
- Trajectoire (droite, cercle, ...)

Vertical

Contrôle

Latéral

- Assiette
- Cap
- Waypoint
- Trajectoire (droite, cercle, ...)

Vertical

Contrôle

Latéral

- Assiette
- Cap
- Waypoint
- Trajectoire (droite, cercle, ...)

Vertical

Contrôle

Latéral

- Assiette
- Cap
- Waypoint
- Trajectoire (droite, cercle, ...)

Vertical

Contrôle

Latéral

- Assiette
- Cap
- Waypoint
- Trajectoire (droite, cercle, ...)

Vertical

- Taux de montée

Contrôle

Latéral

- Assiette
- Cap
- Waypoint
- Trajectoire (droite, cercle, ...)

Vertical

- Taux de montée
- Altitude
- Glide

Contrôle

Latéral

- Assiette
- Cap
- Waypoint
- Trajectoire (droite, cercle, ...)

Vertical

- Taux de montée
- Altitude
- Glide

Contrôle

Latéral

- Assiette
- Cap
- Waypoint
- Trajectoire (droite, cercle, ...)

Vertical

- Taux de montée
- Altitude
- Glide

Contrôle

Latéral

- Assiette
- Cap
- Waypoint
- Trajectoire (droite, cercle, ...)

Vertical

- Taux de montée
- Altitude
- Glide

Calibration infrarouge

$$\text{Roulis} = \alpha \Delta T$$

Mesure du contraste maximal :
différence ciel-terre

$$\tan \text{Roulis} = \frac{V^2}{Rg}$$

Calcul de α avec R (rayon de virage)

Calibration infrarouge

$$\text{Roulis} = \alpha \Delta T$$

Statique

Mesure du contraste maximal :
différence ciel-terre

Hybridation GPS

$$\tan \text{Roulis} = \frac{V^2}{Rg}$$

Calcul de α avec R (rayon de virage)



Calibration infrarouge

$$\text{Roulis} = \alpha \Delta T$$

Statique

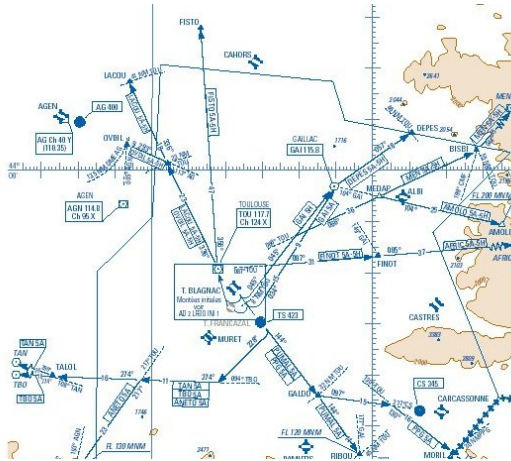
Mesure du contraste maximal :
différence ciel-terre

Hybridation GPS

$$\tan \text{Roulis} = \frac{V^2}{Rg}$$

Calcul de α avec R (rayon de virage)

Langage de mission



Langage de mission

Description de haut niveau (XML).

Plan de vol

```
<block name="deux">  
  <exception cond="(RcEvent1())" deroute="land"/>  
  <while>  
    <go wp="1"/>  
    <go wp="2"/>  
  </while>  
</block>
```

Langage de mission

Décollage

```
<block name="init">
  <while cond="(!launch)"></while>
  <heading course="QFU" vmode="gaz" gaz="0.8" until="(estimator
  <heading course="QFU" pitch="0.1" vmode="climb" climb="1.5"
</block>
```

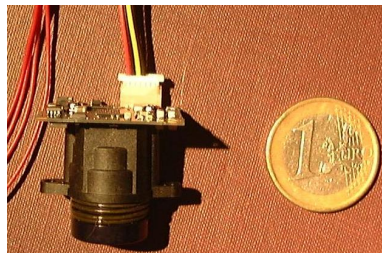
Atterissage

```
<block name="land">
  <go wp="IAF"/>   <go wp="FAF"/>
  <go wp="THRS" hmode="route" pitch="0.1" vmode="glide"/>
  <go wp="MAP"/>   <go wp="BW"/>
</block>
```

JMD04 Catapulte

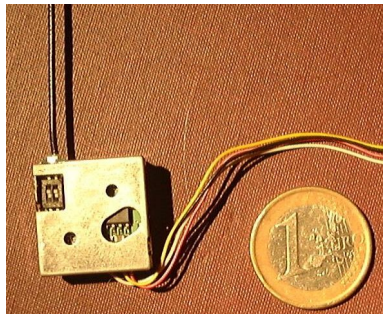
Vidéo

- **Caméra haute définition couleur**
- Émetteur 2.4 GHz
- Récepteur 2.4 GHz
- Magnétoscope bas coût
- Capture DV



Vidéo

- Caméra haute définition couleur
- Émetteur 2.4 GHz
- Récepteur 2.4 GHz
- Magnétoscope bas coût
- Capture DV



Vidéo

- Caméra haute définition couleur
- Émetteur 2.4 GHz
- Récepteur 2.4 GHz
- Magnétoscope bas coût
- Capture DV



Vidéo

- Caméra haute définition couleur
- Émetteur 2.4 GHz
- Récepteur 2.4 GHz
- **Magnétoscope bas coût**
- Capture DV



Vidéo

- Caméra haute définition couleur
- Émetteur 2.4 GHz
- Récepteur 2.4 GHz
- Magnétoscope bas coût
- Capture DV

Logiciel

Code embarqué

- Code C (gcc)
- Préprocesseur (XML \rightarrow C)

Station sol

Logiciel

Code embarqué

- Code C (gcc)
- Préprocesseur (XML \rightarrow C)

Station sol

Logiciel

Code embarqué

- Code C (gcc)
- Préprocesseur (XML \rightarrow C)

Station sol

- Bus Ivy (démo sur réseau Wifi)

Logiciel

Code embarqué

- Code C (gcc)
- Préprocesseur (XML \rightarrow C)

Station sol

- Bus Ivy (démo sur réseau Wifi)
- Interfaces graphiques
- Simulateur : gcc

Logiciel

Code embarqué

- Code C (gcc)
- Préprocesseur (XML \rightarrow C)

Station sol

- Bus Ivy (démo sur réseau Wifi)
- Interfaces graphiques
 - Perl/Zinc
 - Qt
- Simulateur : gcc

Logiciel

Code embarqué

- Code C (gcc)
- Préprocesseur (XML \rightarrow C)

Station sol

- Bus Ivy (démo sur réseau Wifi)
- Interfaces graphiques
 - Perl/Zinc
 - Objective-Caml OpenGL
- Simulateur : gcc

Logiciel

Code embarqué

- Code C (gcc)
- Préprocesseur (XML \rightarrow C)

Station sol

- Bus Ivy (démo sur réseau Wifi)
- Interfaces graphiques
 - Perl/Zinc
 - Objective-Caml OpenGL
- Simulateur : gcc

Logiciel

Code embarqué

- Code C (gcc)
- Préprocesseur (XML \rightarrow C)

Station sol

- Bus Ivy (démo sur réseau Wifi)
- Interfaces graphiques
 - Perl/Zinc
 - Objective-Caml OpenGL
- Simulateur : gcc

Logiciel

Code embarqué

- Code C (gcc)
- Préprocesseur (XML \rightarrow C)

Station sol

- Bus Ivy (démo sur réseau Wifi)
- Interfaces graphiques
 - Perl/Zinc
 - Objective-Caml OpenGL
- Simulateur : gcc

Sûreté de fonctionnement

Ségrégation code critique

Un micro-contrôleur dédié à

- Réception radio-commande
- Commandes de vol

Génération de code

Configuration de haut niveau et code efficace

Modes dégradés

- Pilotage manuel
- Navigation « retour à la maison »
- Arrêt des moteurs

Sûreté de fonctionnement

Ségrégation code critique

Un micro-contrôleur dédié à

- Réception radio-commande
- Commandes de vol

Génération de code

Configuration de haut niveau et code efficace

Modes dégradés

- Pilotage manuel
- Navigation « retour à la maison »
- Arrêt des moteurs

Sûreté de fonctionnement

Ségrégation code critique

Un micro-contrôleur dédié à

- Réception radio-commande
- Commandes de vol

Génération de code

Configuration de haut niveau et code efficace

Modes dégradés

- Pilotage manuel
- Navigation « retour à la maison »
- Arrêt des moteurs

Ça marche !

- 5 avions depuis début 2003
- Une centaine de vols autonomes
- Montée à 800m
- Triangle de 8km
- 3 trophées en vol autonome



Ça marche !

- 5 avions depuis début 2003
- Une centaine de vols autonomes
- Montée à 800m
- Triangle de 8km
- 3 trophées en vol autonome

Ça marche !

- 5 avions depuis début 2003
- Une centaine de vols autonomes
- Montée à 800m
- Triangle de 8km
- 3 trophées en vol autonome

Ça marche !

- 5 avions depuis début 2003
- Une centaine de vols autonomes
- Montée à 800m
- Triangle de 8km
- 3 trophées en vol autonome

Ça marche !

- 5 avions depuis début 2003
- Une centaine de vols autonomes
- Montée à 800m
- Triangle de 8km
- 3 trophées en vol autonome



Perspectives



Matériel

- Capteurs
 - Centrale inertielle
 - Télémètre
 - Baromètre
 - Compas magnétique
- Processeur (Linux, 32bits)
 - Puissance de calcul
 - Connectivité

Matériel

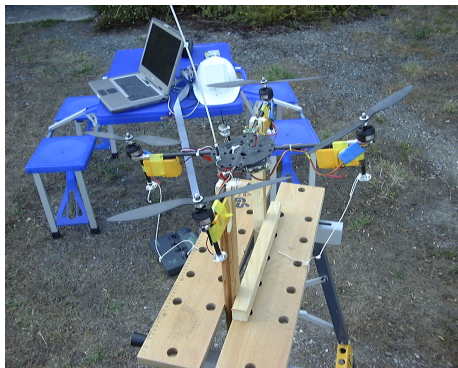
- Capteurs
 - Centrale inertielle
 - Télémètre
 - Baromètre
 - Compas magnétique
- Processeur (Linux, 32bits)
 - Puissance de calcul
 - Connectivité

Vol stationnaire

- Quadrirotor
- Hélicoptère

Vol stationnaire

- Quadrirotor
- Hélicoptère



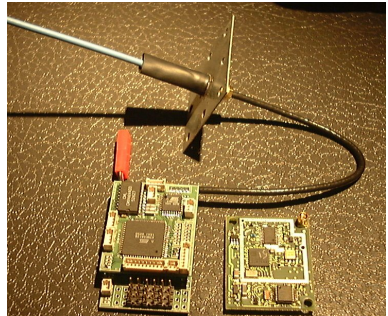
Vol stationnaire

- Quadrirotor
- Hélicoptère



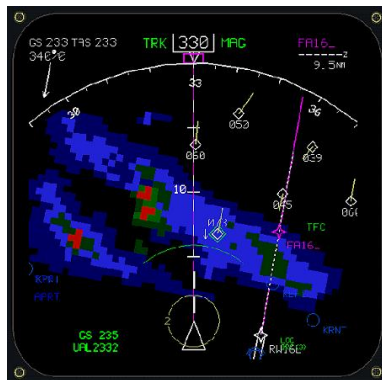
Patrouille de micro-drones

- Datalink
- Algos ASAS, TCAS
- sense & avoid (GVPP)



Patrouille de micro-drones

- Datalink
- Algos ASAS, TCAS
- sense & avoid (GVPP)



Patrouille de micro-drones

- Datalink
- Algos ASAS, TCAS
- sense & avoid (GVPP)



Collaborations

- Fondmetal : détection de mines antipersonnel
- LIP6 (S. Doncieux) : vidéo-attitude
- Adélaïde (A. Van Der Angel) : traitement de la vidéo
- Université d'Arizona (A. Kochevar) : miniaturisation de la cellule
- Thalès, Onboard-Control : démonstration

Collaborations

- Fondmetal : détection de mines antipersonnel
- LIP6 (S. Doncieux) : vidéo-attitude
- Adélaïde (A. Van Der Angel) : traitement de la vidéo
- Université d'Arizona (A. Kochevar) : miniaturisation de la cellule
- Thalès, Onboard-Control : démonstration

Collaborations

- Fondmetal : détection de mines antipersonnel
- LIP6 (S. Doncieux) : vidéo-attitude
- Adélaïde (A. Van Der Angel) : traitement de la vidéo
- Université d'Arizona (A. Kochevar) : miniaturisation de la cellule
- Thalès, Onboard-Control : démonstration

Collaborations

- Fondmetal : détection de mines antipersonnel
- LIP6 (S. Doncieux) : vidéo-attitude
- Adélaïde (A. Van Der Angel) : traitement de la vidéo
- Université d'Arizona (A. Kochevar) : miniaturisation de la cellule
- Thalès, Onboard-Control : démonstration

Collaborations

- Fondmetal : détection de mines antipersonnel
- LIP6 (S. Doncieux) : vidéo-attitude
- Adélaïde (A. Van Der Angel) : traitement de la vidéo
- Université d'Arizona (A. Kochevar) : miniaturisation de la cellule
- Thalès, Onboard-Control : démonstration

Projets à l'ENAC

- Station de contrôle multi-drones (DESS IHM, S. Conversy)
- Certification code embarqué (DEA SLCP, UPS)
- Attitude GPS (CNS, C. Macabiau)
- Hybridation GPS-INS (CNS, A.-C. Escher)

Projets à l'ENAC

- Station de contrôle multi-drones (DESS IHM, S. Conversy)
- Certification code embarqué (DEA SLCP, UPS)
- Attitude GPS (CNS, C. Macabiau)
- Hybridation GPS-INS (CNS, A.-C. Escher)

Projets à l'ENAC

- Station de contrôle multi-drones (DESS IHM, S. Conversy)
- Certification code embarqué (DEA SLCP, UPS)
- Attitude GPS (CNS, C. Macabiau)
- Hybridation GPS-INS (CNS, A.-C. Escher)

Projets à l'ENAC

- Station de contrôle multi-drones (DESS IHM, S. Conversy)
- Certification code embarqué (DEA SLCP, UPS)
- Attitude GPS (CNS, C. Macabiau)
- Hybridation GPS-INS (CNS, A.-C. Escher)

Concours

DGA (septembre 2005)

- Repérage d'obstacles
- Vol en milieu urbain
- Matériel portable
- Mise en œuvre simple et rapide
- Exploitation de la vidéo

MAV 2005, Elmau (septembre 2005)

Concours

DGA (septembre 2005)

- Repérage d'obstacles
- Vol en milieu urbain
- Matériel portable
- Mise en œuvre simple et rapide
- Exploitation de la vidéo

MAV 2005, Elmau (septembre 2005)

Concours

DGA (septembre 2005)

- Repérage d'obstacles
- Vol en milieu urbain
- Matériel portable
- Mise en œuvre simple et rapide
- Exploitation de la vidéo

MAV 2005, Elmau (septembre 2005)

Concours

DGA (septembre 2005)

- Repérage d'obstacles
- Vol en milieu urbain
- Matériel portable
- Mise en œuvre simple et rapide
- Exploitation de la vidéo

MAV 2005, Elmau (septembre 2005)

Concours

DGA (septembre 2005)

- Repérage d'obstacles
- Vol en milieu urbain
- Matériel portable
- Mise en œuvre simple et rapide
- Exploitation de la vidéo

MAV 2005, Elmau (septembre 2005)

Concours

DGA (septembre 2005)

- Repérage d'obstacles
- Vol en milieu urbain
- Matériel portable
- Mise en œuvre simple et rapide
- Exploitation de la vidéo

MAV 2005, Elmau (septembre 2005)

- Miniaturisation (250g)

Concours

DGA (septembre 2005)

- Repérage d'obstacles
- Vol en milieu urbain
- Matériel portable
- Mise en œuvre simple et rapide
- Exploitation de la vidéo

MAV 2005, Elmau (septembre 2005)

- Miniaturisation (250g)

Concours

DGA (septembre 2005)

- Repérage d'obstacles
- Vol en milieu urbain
- Matériel portable
- Mise en œuvre simple et rapide
- Exploitation de la vidéo

MAV 2005, Elmau (septembre 2005)

- Miniaturisation (250g)

Labo ENAC

Activité fédératrice inter-départements

MI Système embarqué, station sol

EL Avionique

TA Automatique

CA Réglementation

Potentiel pédagogique

Labo ENAC

Activité fédératrice inter-départements

MI Système embarqué, station sol

EL Avionique

TA Automatique

CA Réglementation

Potentiel pédagogique

Labo ENAC

Activité fédératrice inter-départements

MI Système embarqué, station sol

EL Avionique

TA Automatique

CA Réglementation

Potentiel pédagogique

Labo ENAC

Activité fédératrice inter-départements

MI Système embarqué, station sol

EL Avionique

TA Automatique

CA Réglementation

Potentiel pédagogique

Labo ENAC

Activité fédératrice inter-départements

- MI Système embarqué, station sol
- EL Avionique
- TA Automatique
- CA Réglementation

Potentiel pédagogique

- Complémentaire du club robotique

Labo ENAC

Activité fédératrice inter-départements

- MI Système embarqué, station sol
- EL Avionique
- TA Automatique
- CA Réglementation

Potentiel pédagogique

- Complémentaire du club robotique
- Projets IENAC
- Expés en vol

Labo ENAC

Activité fédératrice inter-départements

- MI Système embarqué, station sol
- EL Avionique
- TA Automatique
- CA Réglementation

Potentiel pédagogique

- Complémentaire du club robotique
- Projets IENAC
- Expés en vol

Labo ENAC

Activité fédératrice inter-départements

- MI Système embarqué, station sol
- EL Avionique
- TA Automatique
- CA Réglementation

Potentiel pédagogique

- Complémentaire du club robotique
- Projets IENAC
- Expés en vol

Labo ENAC

Activité fédératrice inter-départements

- MI Système embarqué, station sol
- EL Avionique
- TA Automatique
- CA Réglementation

Potentiel pédagogique

- Complémentaire du club robotique
- Projets IENAC
- Expés en vol

Conclusion

Projet ouvert

... à toutes les bonnes volontés

Liens

<http://www.nongnu.org/paparazzi>
<http://www.recherche.enac.fr/paparazzi>
<mailto://paparazzi@recherche.enac.fr>

Demain !

Labo : Bâtiment J (radar)

Conclusion

Projet ouvert

... à toutes les bonnes volontés

Liens

<http://www.nongnu.org/paparazzi>
<http://www.recherche.enac.fr/paparazzi>
<mailto://paparazzi@recherche.enac.fr>

Demain !

Labo : Bâtiment J (radar)

Conclusion

Projet ouvert

... à toutes les bonnes volontés

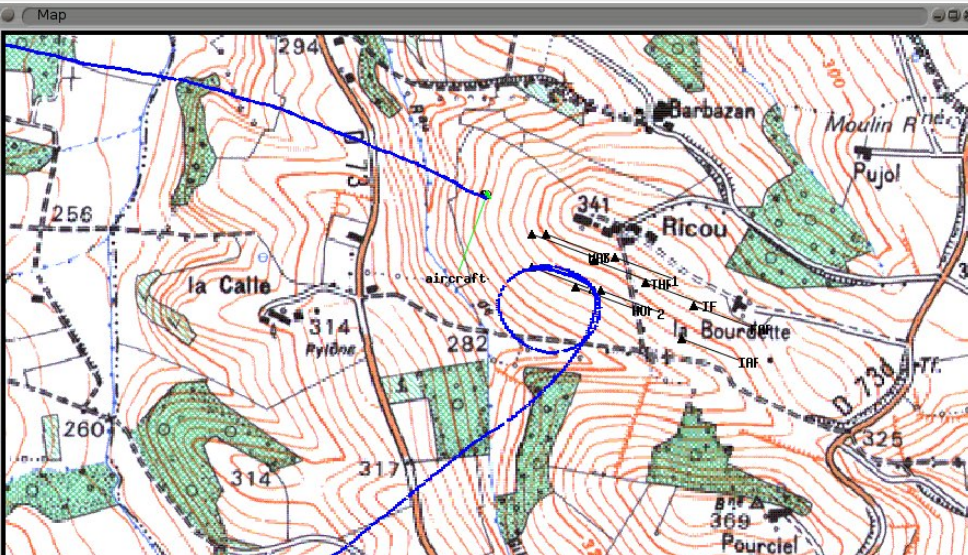
Liens

<http://www.nongnu.org/paparazzi>
<http://www.recherche.enac.fr/paparazzi>
<mailto://paparazzi@recherche.enac.fr>

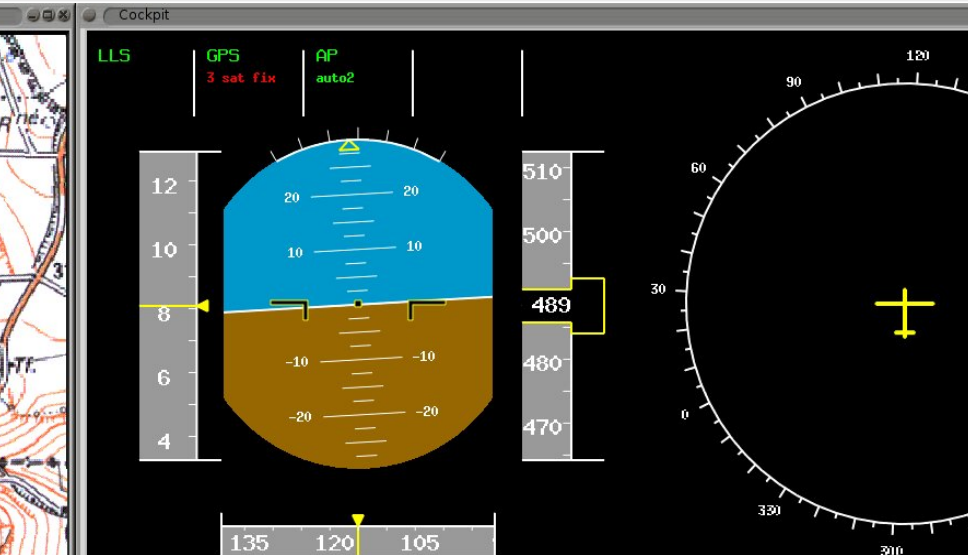
Demain !

Labo : Bâtiment J (radar)

Contrôle du vol



Contrôle du vol



Contrôle du vol



Capture

Timeline

Trim

FX

Export



Time: 12841 Duration: 1889 ▶ Properties

Move forward

Contrôle du vol

Capture

Timeline

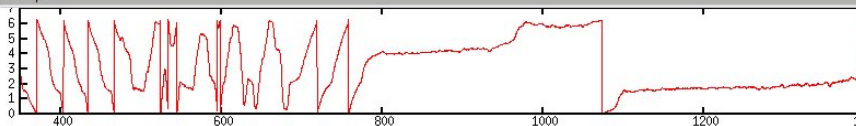
Trim

FX

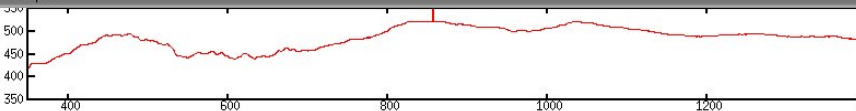
Export

```
<go wp=1 pitch="rc_pitch" />  
<go wp="2" pitch="rc_pitch"/>  
<go wp="3" pitch="rc_pitch"/>  
<go wp="4" pitch="rc_pitch"/>  
</while>  
</block>  
<block name="land">  
  <exception cond="(RcEvent1())" deroute="init"/>  
  <go wp="IAF"/>  
  <go wp="FAF"/>  
  <go wp="THRS" hmode="route" pitch="0,1" vmode="glide"/>  
  <go wp="MAP"/>  
  <go wp="4"/>  
  <deroute block="land"/>  
</block>  
<block name="huit">
```

Gnuplot



Gnuplot



Properties