



**Les systèmes de drones miniatures :
des usagers à part entière de l'espace
aérien ?**

ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

retour sur innovation

Mars 2008
Cl. Le Tallec

De l'UAV à l'UAS, un changement important !

UAV = Unmanned **Aerial** Vehicle

« Un drone »

UAS = Unmanned **Aircraft** System

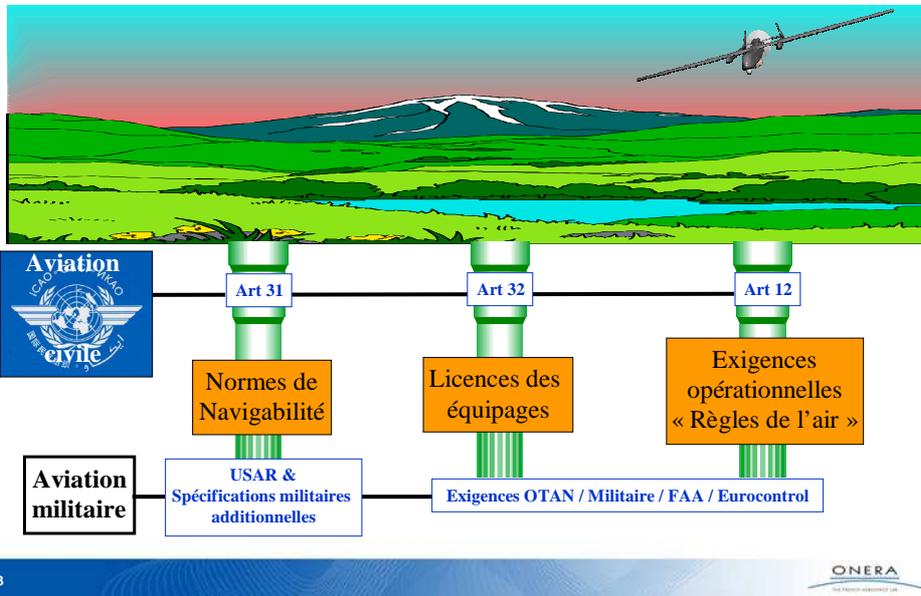
- Le véhicule est inhabité
- Le système ne l'est pas !

« Un système de drone »

Le terme « pilote » est maintenant préféré à celui d'«opérateur»

(Ambiguïté : Air France est un opérateur)

Règles internationales pour intégrer les drones dans l'espace aérien

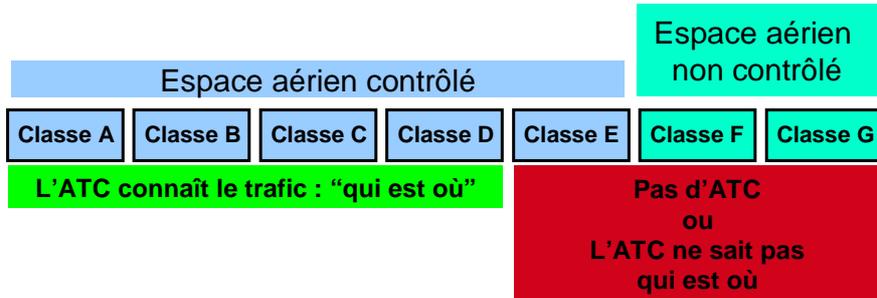


Espace aérien : qu'est ce que c'est ?

- Des zones à statut particulier
 - Zones interdites
 - Pénétration interdite
 - Zones réglementées
 - Pénétration soumise à conditions
 - Zones dangereuses
 - Pénétration possible, mais pas recommandée !
 - ZIT : zones d'interdiction temporaire
- Le reste de l'espace aérien est segmenté en classes

Espace aérien : qu'est ce que c'est ?

Classes d'espace aérien



ATC : Air Traffic Control

5

ONERA

Structure de l'espace aérien

En France et dans deux pays proches

	FL or Alt Band	France/Monaco	Italy	Germany
"En route"	Up Limit CAS	660	460	660
	245-460	C	C	C
	205-245			
	195-205	D	G	C
	150-195			
	130*-150	G	G	C E
	95*-130*			E
	3K*-95*	G	G	G
SFC-3K*	G			
Zones terminales	Major TMA	A	A E	C
	Minor TMA	C D E	D E	C D E
	CTA/Awy	D E	D E	C D E
	CTR*	A D E	A C D	D F

6

ONERA

Structure de l'espace aérien

Au niveau européen...

The tables show the structure of the European airspace across different flight levels and countries. The tables use color coding to indicate airspace classes (A, B, C, D, E, G) and their vertical extent. The first table covers countries from Albania to Finland, the second from France to Netherlands, and the third from Norway to Ukraine.

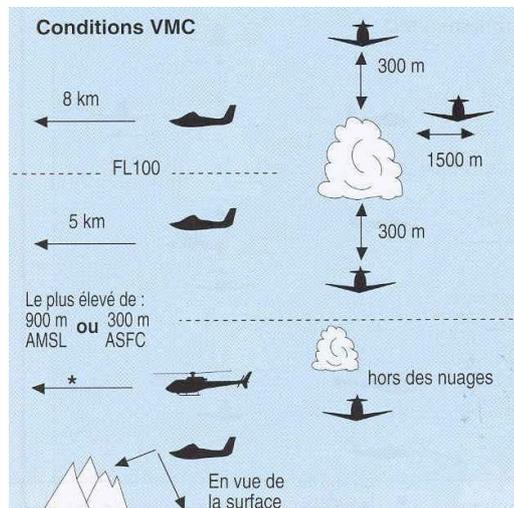
Qui vole comment ?

- Les règles de vol
 - Visual Flight Rules (VFR)
 - Instrument Flight Rules (IFR)
- Les conditions météorologiques
 - Visual Meteorological Conditions (VMC)
 - Instrument Meteorological Conditions (IMC)

		UAV		
		VFR	IFR	
		VMC	VMC	IMC
Autre trafic	VFR	VMC	VMC	X
	IFR	VMC	VMC	X
		IMC	X	X

Des règles de vol

VFR Visual flight rules



9

ONERA

Intégration des drones dans la CAG

EUROCONTROL

- Fondamentalement, la position d'EUROCONTROL, en ce qui concerne l'intégration des UAVs dans les espaces aériens non spécialisés, est qu'il y ait **transparence complète pour la gestion du trafic**, i.e. les UAVs doivent être utilisés comme les autres trafics et se comporter de telle façon qu'ils offrent le **même niveau de sécurité qu'eux**.
- Si cette complète **transparence** est obtenue dès les premières utilisations des UAVs, alors il n'y a **pas d'actions immédiates** à prévoir du côté de la gestion du trafic aérien

10

ONERA

Intégration des drones dans la CAG

Contexte : surveillance de la frontière Mexique / USA par un Predator

- Just think that if a **pilot had been flying legally** under the TFR (temporary flight restrictions) and the **UAV hit the aircraft** from behind and above—the pilot would have had no chance to see and avoid the uncontrolled UAV !

Espace ségrégué (TFR)

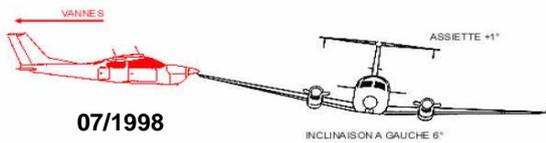
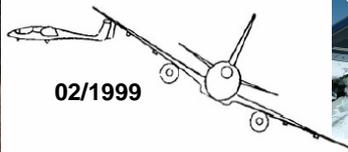
Espace non contrôlé



11

ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

Efficacité actuelle : pas vu... pas évité !



12

ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

Travaux internationaux pour la définition de standards

EUROCAE (European Organisation for Civil Aviation Equipment) WG 73: "Unmanned Aerial Vehicles"

Objective:

UAVs can be designed and constructed in compliance with approved standards, and can be operated safely within the airspace without a negative impact on existing airspace users

4 groupes de travail sont constitués et font des propositions

- **Operations**
- **Airworthiness**
- **Command and control**
- **Light UAS (masse < 150 kg)**

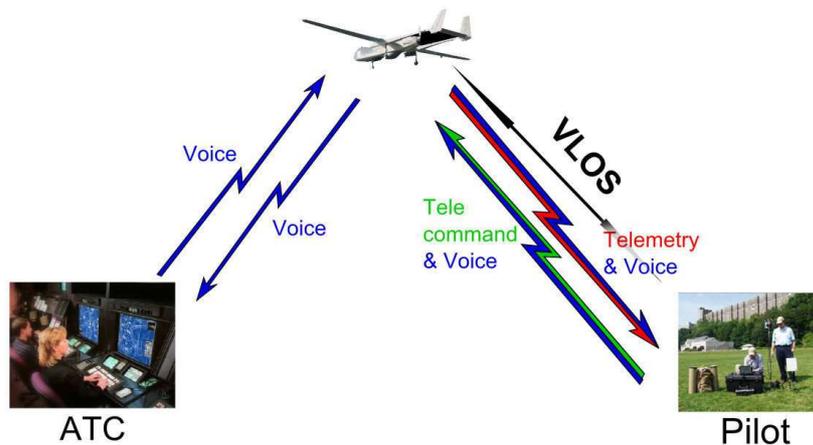


13

ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

Sous-groupe "Operations"

Mode 1 : Le pilote a une vue directe sur le véhicule et sur son environnement (**VLOS**), liaison ATC par radio

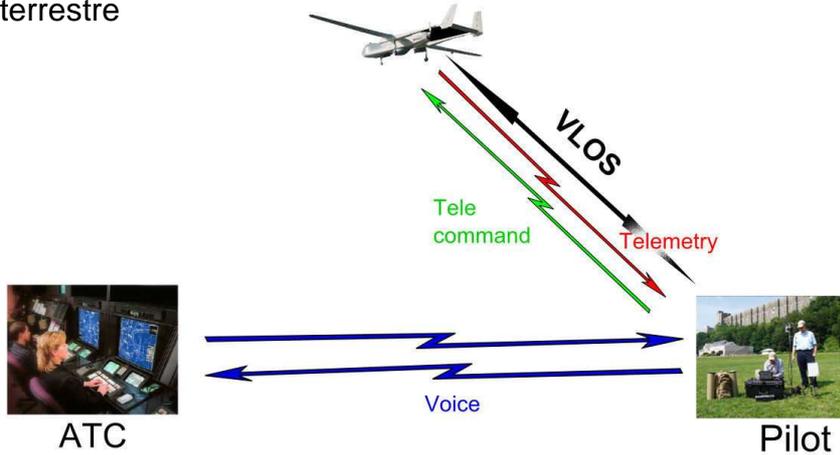


14

ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

Sous-groupe "Operations"

Mode 1 – Variante : Le pilote a une vue directe sur le véhicule et sur son environnement (**VLOS**) – Liaison ATC terrestre

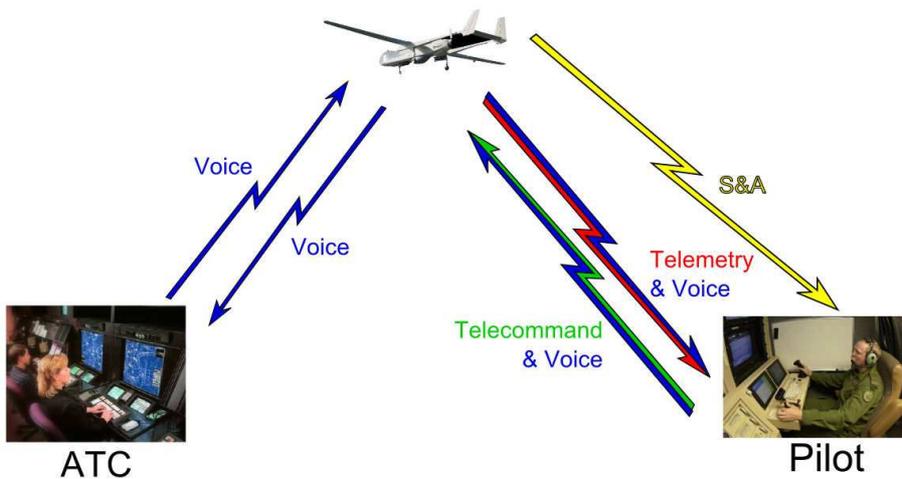


15

ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

Sous-groupe "Operations"

Mode 2 : L'UAV est un véhicule aérien dont le pilote est au sol

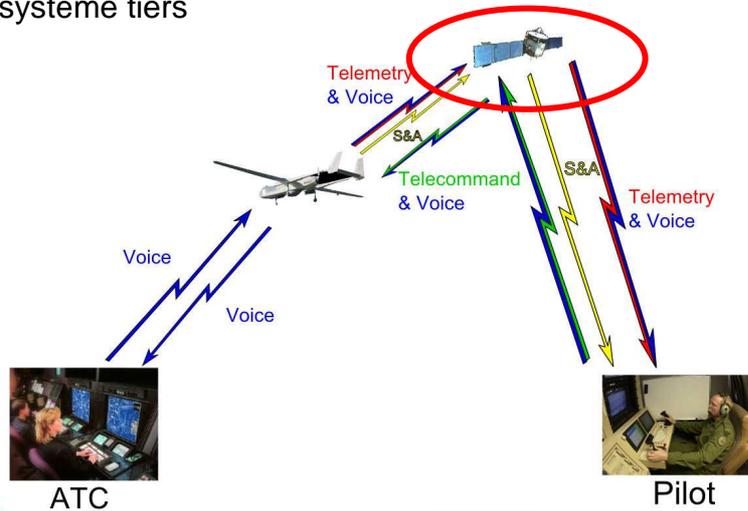


16

ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

Sous-groupe "Operations"

Mode 3 : Comme le mode 2, mais l'UAS fait appel à un système tiers



17

Sous-groupe « Certification »

- Dans le monde des avions pilotés,
 - Les petits véhicules sont en général peu complexes
 - Approche sécurité plutôt "souple" pour ces véhicules
- Dans le monde des UAS,
 - Un petit véhicule peut être complexe
 - Il peut faire partie d'un système complexe

Le processus de certification des Unmanned Aircraft Systems devrait se concentrer sur les risques qu'ils constituent vis-à-vis des personnes au sol et des autres usagers de l'espace aérien

18

Réglementation pour les drones miniatures

Arrêté du 1er août 2007 relatif aux conditions d'insertion et d'évolution dans l'espace aérien des aéronefs civils ou de la défense non habités

- Les aéronefs civils ou de la défense non habités peuvent être:
 - pilotés à distance en vue de l'opérateur,
 - pilotés à distance hors vue de l'opérateur,
 - ou évoluer de manière autonome.
- Ils doivent bénéficier d'une autorisation de vol délivrée par le ministère de la défense ou par le ministère chargé de l'aviation civile, sauf dispense définie dans un arrêté particulier du ministre compétent.

19

ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

Réglementation pour les drones miniatures

Arrêté du 1er août 2007 relatif aux conditions d'insertion et d'évolution dans l'espace aérien des aéronefs civils ou de la défense non habités

- Les activités de ces aéronefs doivent être exécutées à l'intérieur d'espaces aériens permettant une ségrégation entre ces aéronefs et les autres usagers aériens civils et de la défense.

20

ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

Réglementation pour les drones miniatures

Arrêté du 1er août 2007 relatif aux conditions d'insertion et d'évolution dans l'espace aérien des aéronefs civils ou de la défense non habités

- Les activités des aéronefs pilotés à distance en vue de l'opérateur et dont les évolutions, à la fois :
 - se maintiennent à une hauteur inférieure à 150 mètres au-dessus de la surface ;
 - se situent en dehors des emprises des aérodromes et de leurs circuits associés ;
 - et n'interfèrent avec aucun espace aérien contrôlé ou zone réglementée, dangereuse ou interdite,

21

ONERA
OFFICE NATIONAL DE LA RECHERCHE AERONAUTIQUE

Réglementation pour les drones miniatures

Arrêté du 1er août 2007 relatif aux conditions d'insertion et d'évolution dans l'espace aérien des aéronefs civils ou de la défense non habités

« sont dispensées des demandes visées à l'article 3 du présent arrêté, sans préjudice du respect des conditions réglementaires de survol des agglomérations et des rassemblements de personnes ou d'animaux. »

22

ONERA
OFFICE NATIONAL DE LA RECHERCHE AERONAUTIQUE

Règles de survol

Conditions réglementaires de survol des agglomérations et des rassemblements de personnes ou d'animaux

Les arrêtés du 10 octobre 1957 et du 17 novembre 1958 réglementant la circulation aérienne des hélicoptères, fixent des hauteurs minimales pour le survol des agglomérations et des rassemblements de personnes ou d'animaux

- 500 m, 1000 m ou 1500 m
- suivant la taille de l'agglomération ou du rassemblement de personnes

23

ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

Règles de survol

Conditions réglementaires de survol des agglomérations et des rassemblements de personnes ou d'animaux

Hors champ d'application de l'arrêté du 10 octobre 1957, les hauteurs fixées sont :

- 300 m (1000 pieds) au-dessus de l'obstacle le plus élevé situé dans un rayon de 600 m autour de l'aéronef, lors du survol de zones à forte densité, de villes ou autres agglomérations ou de rassemblements de personnes en plein air
- 150 m (500 pieds) au-dessus du sol ou de l'eau dans les autres cas

24

ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

Système de drone miniature

Ce système (UAS) comporte trois éléments:

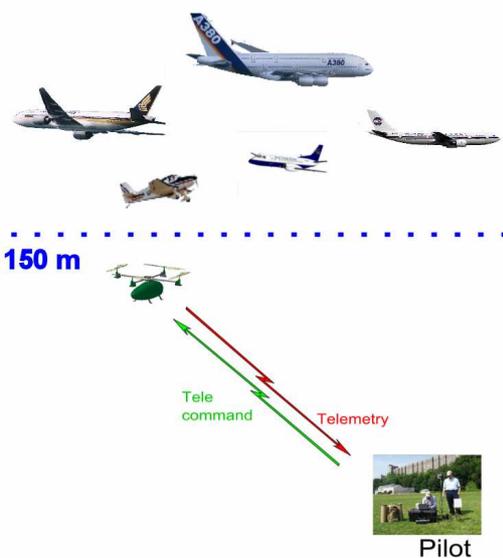
- Un véhicule (unmanned aircraft)
- Une station de contrôle
- « Un pilote »



25

ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

Vol en espace aérien non-ségrégué



Aéronefs pilotés
à distance en
vue de
l'opérateur

L'opérateur voit
le véhicule **et**
son
environnement

26

ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

Vol en extérieur des drones miniatures

*Principe fondamental :
Garantir la sécurité des tiers et des biens*

- Piste de solution n°0 : Analogie au modélisme
 - Pas de formalisation d'un processus de validation du système
 - Son utilisation est pratiquée dans un cadre proche de celui du modélisme

*2 cas possibles : le jeu ou le travail
FAA : un bonze est du ressort de la FAA !*

27



Vol en extérieur des drones miniatures

*Principe fondamental :
Garantir la sécurité des tiers et des biens*

- Piste de solution n°1 : Contrôle du drone par le pilote en temps réel (ordres de haut niveau)
 - Le pilote est responsable du comportement du véhicule
 - Le bon fonctionnement de celui-ci est «garanti» par le constructeur (profil avionneur) qui l'a «certifié» (le drone vole et répond aux instructions du pilote)

*Ce cas d'utilisation est proche de celui d'un véhicule
aérien habité*

28



Vol en extérieur des drones miniatures

Principe fondamental :
Garantir la sécurité des tiers et des biens

- Piste de solution n°2 : Automatisation de certaines fonctions comportementales, le pilote connaît a priori le comportement du drone (comportement déterministe)
 - Le pilote est toujours responsable du comportement du véhicule
 - Le bon fonctionnement de celui-ci est « garanti » par le constructeur (profil avionneur) qui l'a « certifié » (Le drone vole et répond aux instructions du pilote)
 - Son comportement est garanti par la qualité des automatismes implémentés (là, c'est vous, automaticiens, qui êtes concernés !)

29



Vol en extérieur des drones miniatures

Principe fondamental :
Garantir la sécurité des tiers et des biens

- Piste de « solution » n°3 : Autonomie du véhicule pour certaines fonctions comportementales, le pilote ne connaît plus a priori le comportement futur du drone (comportement non déterministe)
 - Le pilote peut-il être responsable du comportement du véhicule qu'il ne maîtrise plus ?
 - Comment peut-on garantir que le comportement du système est conforme à tout moment au principe fondamental énoncé ci-dessus ?
 - Quid de la notion de « partage d'autorité » dans un processus de certification ?

30



Vol en extérieur des drones miniatures

Pistes de solution n° et 1

- Solution 0 non valide réglementairement
- Solution 1 impraticable techniquement et humainement

31

[1] S. Bertrand, Commande de drone miniature à voilure tournante, Thèse ONERA-DPRS, 2007



Vol en extérieur des drones miniatures

Piste de solution n°2

- *Contrôle du vol du véhicule*
- *Information du pilote sur la situation présente + prévision*
- Contrôle du drone en présence de vent : estimation de la perturbation par ses effets sur le véhicule
 - Si perturbation < perturbation admissible :
 - Assurer la mission malgré la perturbation (*commande robuste, commande adaptative [1] par exemple*)
 - Sinon :
 - Choix d'une stratégie alternative ou de sauvegarde (*re-planification de trajectoire ou de mission, atterrissage automatique*)

32

[1] S. Bertrand, Commande de drone miniature à voilure tournante, Thèse ONERA-DPRS, 2007

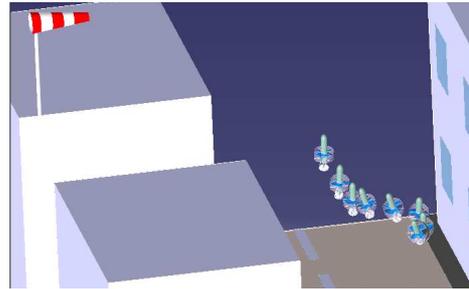


Vol en extérieur des drones miniatures

Piste de solution n°3

- « *Autonomie* » instantanée possible du véhicule
- *Autorité du pilote permanente (court terme)*
- *Information du pilote sur la situation présente + prévision*

- *Prise de décision :*
 - à bord du véhicule (autonomie)
 - par l'opérateur (avec ou sans aide à la décision)



33

ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

Vol en extérieur des drones miniatures

Piste de solution n°3

- Méthodes d'assistance à la prise de décision [2] :
 - Prédiction du comportement futur du drone (à partir d'un modèle comportemental et de la connaissance des commandes)
 - Evaluation du domaine accessible par le véhicule compte tenu de la perturbation estimée et des contraintes du milieu (obstacles)
 - Prise en compte d'une connaissance du milieu pour l'estimation et la prédiction des conditions aérologiques
- Dans le cas d'une prise de décision par l'opérateur :
 - Aide à la décision possible par un affichage sur une station sol des « intentions » du véhicule et de son « comportement prévu », compte tenu des conditions aérologiques

34 [2] Développements envisagés dans le cadre de la thèse de W. ACHOUR (Thèse ONERA-DPRS / ESE, 2007-2010)

ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

CAPECON «Shared-cost RTD program» FP5



Civil UAV Applications & Economic Effectivity of Potential Configuration Solutions



Le nombre d'applications civiles identifiées pour les drones est considérable, en particulier pour les drones miniatures

Partners :

Agusta, CGS, EADS, Eurocopter F et ECD, IAI, CIRA, DLR, INTA, NLR, ONERA, SSC, Universities of Bologna, Lecce, Naples, Turin, Warsaw, Technion

2002 - 2005

www.uavnet.com

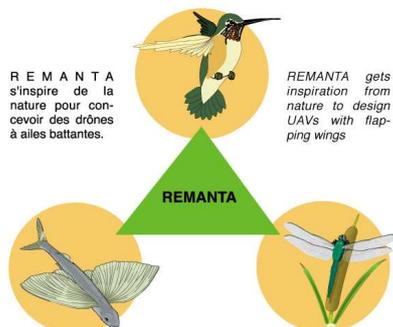
35



PRF REMANTA

REsearch program on Microvehicle And New Technologies Application

REMANTA



Domaines couverts:

- Flapping wings aerodynamics
- Hydrodynamics tests
- Mechanics engineering
- Flight mechanics and control
- Materials and structures
- Actuators
- Sensors

2004 - 2007

36





Design of a MAV demonstrator capable of stationary flight & economic cruise



Définition et évaluation d'un système complet

- Intégration en mars 2008
- Vols de démonstration en septembre 2008

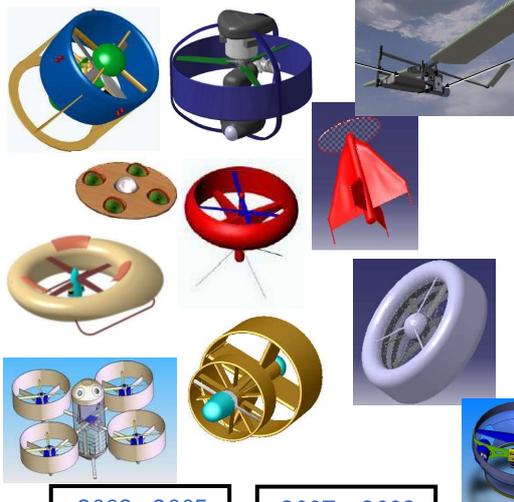
EUROPA project contracted by the EDA

2005 - 2008

www.mavdem-project.org



Challenge minidrones



- Stimuler une nouvelle génération d'ingénieurs pour définir et construire ces systèmes de véhicules aériens automatiques/autonomes
- Tisser des liens entre jeunes ingénieurs et industries et centres de recherche développant des technologies pour ces systèmes

2003 - 2005

2007 - 2009

Avec le soutien de la



Pour conclure...



Les applications potentielles des drones sont nombreuses, mais la difficulté de leur intégration dans l'espace aérien gêne leur mise en service opérationnel

L'utilisation de drones miniatures paraît accessible à court terme dans le respect de la réglementation, moyennant de faire la preuve qu'ils ne présentent pas de dangers

Les automaticiens, entre autres chercheurs, ont du pain sur la planche !