

# R&D du CEA List dans le domaine des drones

# Objectifs du projet Drone CEA

## R&D

1) Développer des fonctions d'intelligence embarquée permettant l'utilisation de drone pour la réalisation de missions complexes.

- Traitement du signal ( GPS, Image, Proximètres, inertiels,....)
- Automatique (loi de contrôle commande robuste)
- Electronique embarquée

2) Développer des mini drones à ailes battante

## Développements

- Algorithmie et logiciel embarqué
- Mécatronique
- Intégration et essais sur drones (CEA ou autre)

credits F RHODES (c) CEA 2005

DTSI / Service Robotique Interactive

# Roadmap du CEA List

## Autonomie & cognition (à venir)

- ✓ Apprentissage Reconnaissance de personnes / objets
- ✓ Exécution autonome de mission complexe
- ✓ Coopération multi-agent

## Pilotage intuitif (en cours)

- ✓ Asservissement sur amer artificiel et naturel
- ✓ Localisation navigation autonome
- ✓ Évitement automatique d'obstacle

## Réflexes (FAIT)

- ✓ Stabilisation d'assiette
- ✓ Robustesse à l'environnement (vent, effet de sol ...)
- ✓ Asservissement altitude
- ✓ Atterrissage automatique



DTSI / Service Robotique Interactive

# Les acteurs

## ● Un travail d'équipe

### – Contrôle commande

- Laurent Eck, Nicolas Guenard, François-Xavier Russotto,,Jonathan Courbon, Bruno Hérissé, Céline Teuillère - CEA List
- Tarek Hamel (I3S), François Chaumette (IRISA), Youcef Mesouar (LASMEA), Philippe Martinet (LASMEA)

### – Mécatronique

- Vincent Moreau, Didier Houche, Philippe Pottier, Gérard Chalubert – CEA List

# μDrone CEA LIST



- **Architecture mécanique simple**

- barres en fibre de Carbone / 4 moteurs contrarotatifs
- Hélices à pas fixes
- Électronique embarquée assurant la stabilisation d'assiette
  - **Carte centrale inertielle ( stabilisation d'assiette et de lacet)**
  - **Carte DSP (algorithme fusion capteur + algorithme commande cartésienne ( X,Y,Z))**
  - **Carte Commande Moteur**
  - **Carte Proximètres (Ultrason + Infrarouge) – En développement**
- Caméra embarquée (mono ou stéréoscopie) pour traitements d'image déportés
- Poste de pilotage : Joystick + PC (portable)

μDrone :

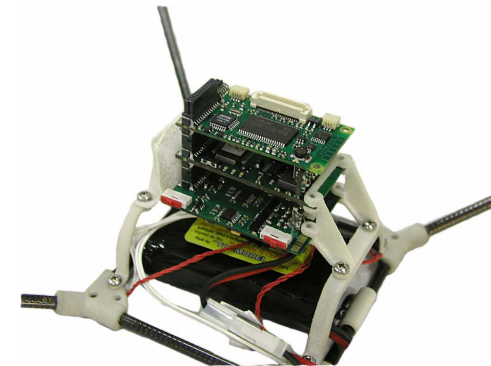
Masse totale : 450g

Envergure = 50 cm

Autonomie : 10min

Masse embarquée : 100g

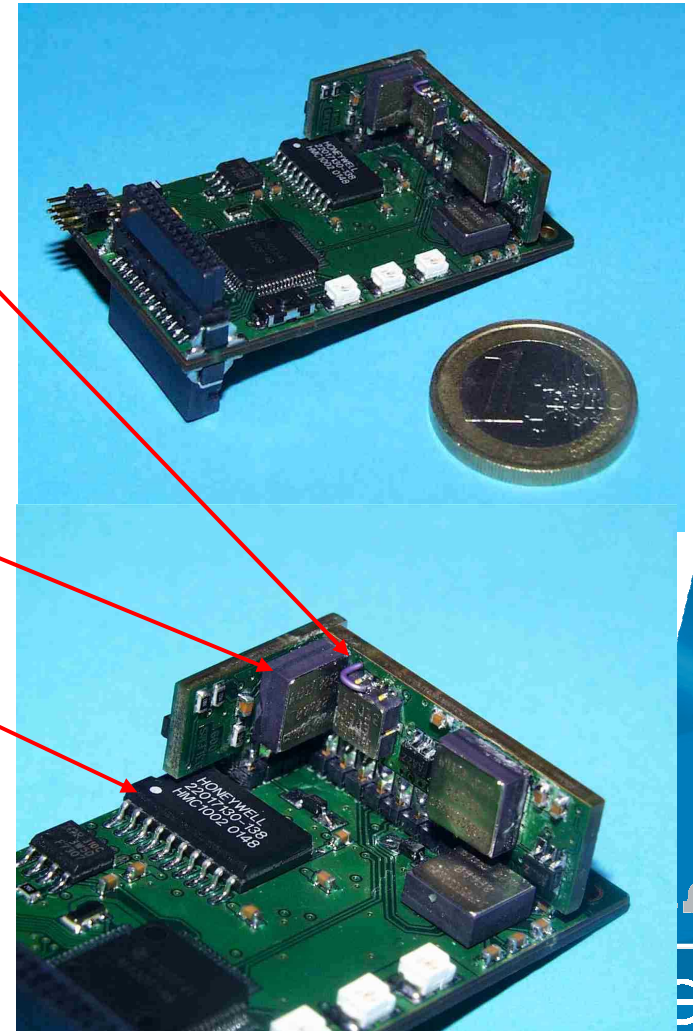
Retour visuel par caméra embarquée Sans Fil (mono ou stéréovision)



**DTSI / Service Robotique Interactive**

# μCentrale inertielle CEA List

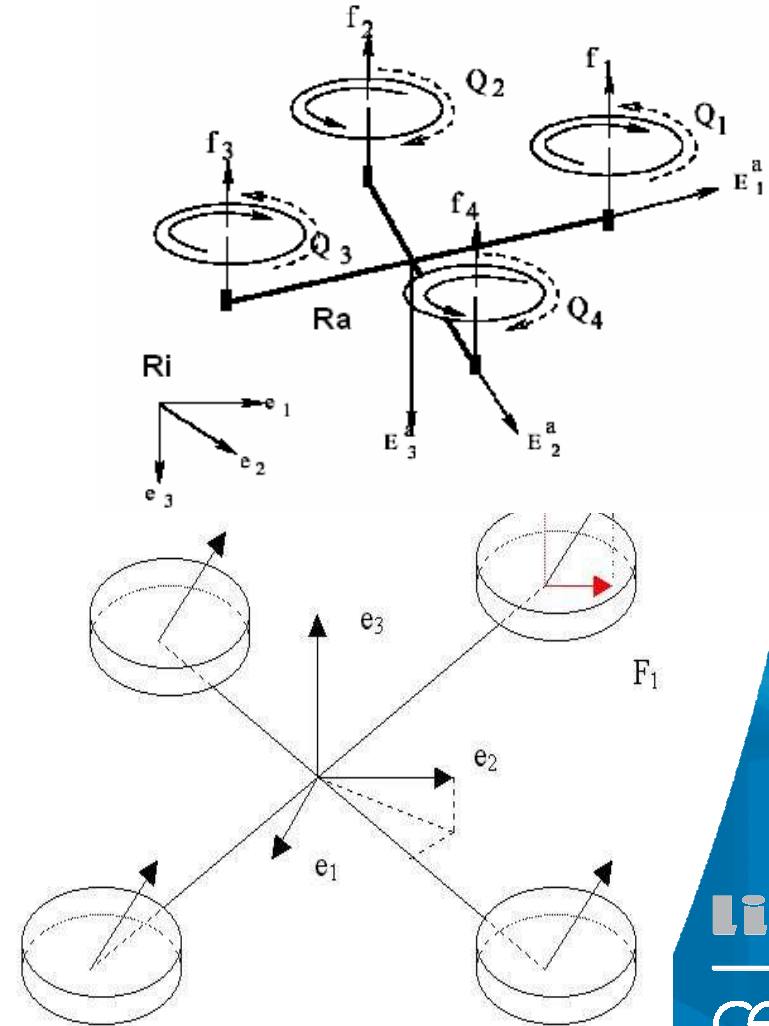
- Caractéristiques carte centrale inertielle :
  - **Accéléromètres**  
Plage de mesure : +/-1.65g  
Résolution (RMS) : 0.65mg, soit 0.04° / 40Hz
  - **Gyromètres**  
Plage de mesure : +/-120°s  
Résolution (RMS) : 0.25°s / 40Hz
  - **Magnétomètre** (non utilisé en pratique)  
Plage de mesure : -+1 Gauss  
Résolution (RMS) : 250uGauss / 40Hz



DTSI / Service Robotique Interactive

# Fonctionnement du drone.

- Déplacements souhaités.
  - Rotation autour de l'axe défini par  $E_3$  (lacet).
    - Obtenue en régulant la somme des couples résistants engendrés.
  - Déplacements horizontaux induits par les angles de roulis (rotation autour de  $E_1$ ) et de tangage (rotation autour de  $E_2$ ).
    - La variation d'inclinaison est obtenu en régulant la poussée différentielle de l'axe considéré
  - Déplacements verticaux (altitude)
    - Obtenus en régulant la poussée totale.
- Le système est non linéaire et sous actionné.



DTSI / Service Robotique Interactive

# Le prototype

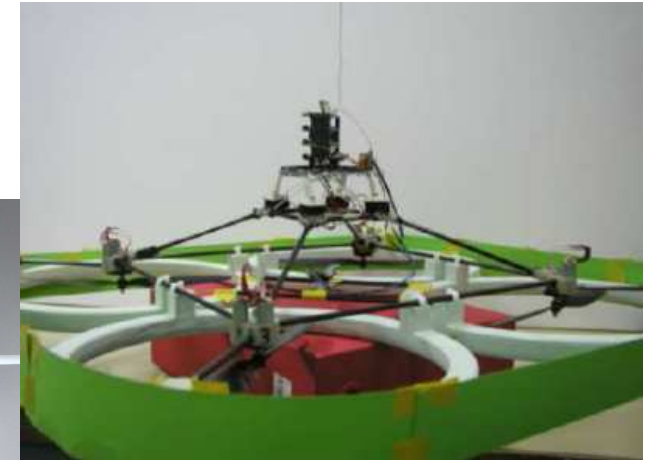
1ère version



2ème version



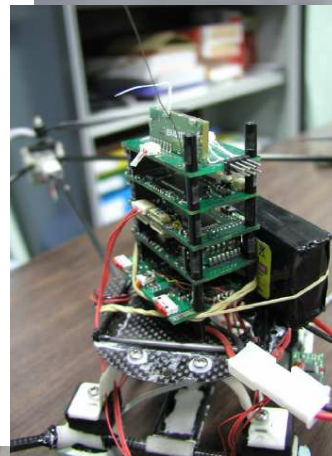
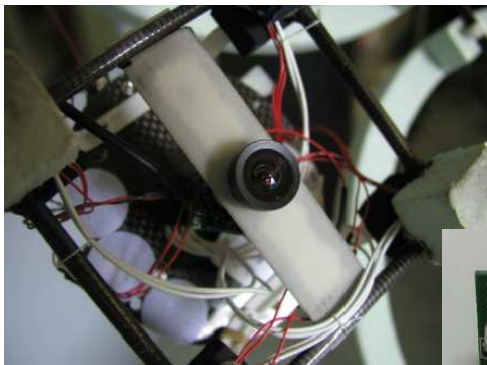
4ème version



3ème version



- Autonomie : 7min
- Poids : 700g

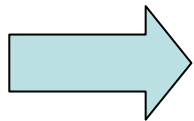


robotique Interactive



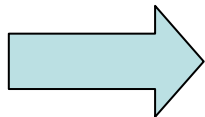
# 1<sup>ère</sup> étape : les bas niveaux

- Stabilisation d'assiette : Fusion gyromètre / accéléromètre
- Asservissement d'altitude : Fusion baromètre / US
- Résistance au choc : carénage



Travaux de thèse de Nicolas Guenard

- Tarek Hamel
- Laurent Eck



Vidéo

DTSI / Service Robotique Interactive

## 2<sup>ème</sup> étape Localisation / navigation autonome

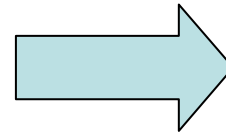
### ● Les stratégies capteurs de localisation et de navigation

- Inertielle
- GPS
- Vision
- US
- IR
- baromètre
- Nappe laser



Fusion capteur

# Localisation par GPS



Vidéo

Module GPS LocSense LS40MM

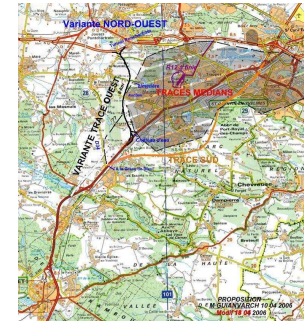
- 1Hz
- 5 m de précision

# Localisation par vision

Trois approches complémentaires :

## - Carte métrique 3D

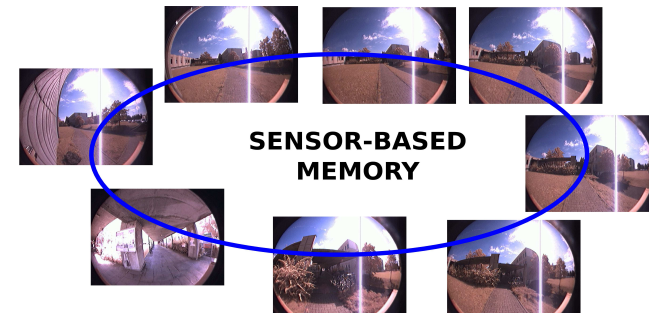
e.g: Le robot convertit toute information capteur en une information métrique et il se localise et navigue dans une carte métrique 3D



## - Mémoire visuelle (ou mémoire multi-sensorielle)

e.g. : Le robot extrait de son environnement des informations visuelles (ou multi-sensorielle)

Il a en référence une base de données incluant des informations visuelles (multi-sensorielles) clés.



## - Flot optique

- Vitesse relative dans l'image



DTSI / Service Robotique Interactive

## Les travaux en cours

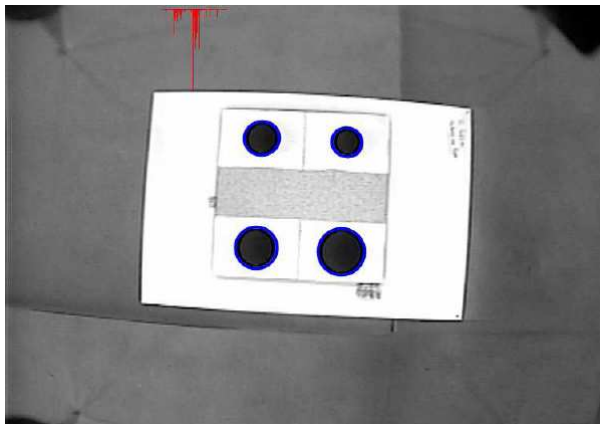
- Asservissement sur cible artificielle (3D ou mémoire visuelle)
  - Optique classique + fisheye (Collaboration LASMEA)
- Asservissement par mémoire visuelle à Z constant
- Asservissement 3D sur amer artificielle
  - Thèse CEA / LASMEA
- Asservissement par mémoire visuelle
  - Thèse CEA / IRISA
- Evitement d'obstacle par flot optique
  - Thèse CEA/I3S

DTSI / Service Robotique Interactive

# Commande référencée vision – les 1<sup>er</sup> résultats

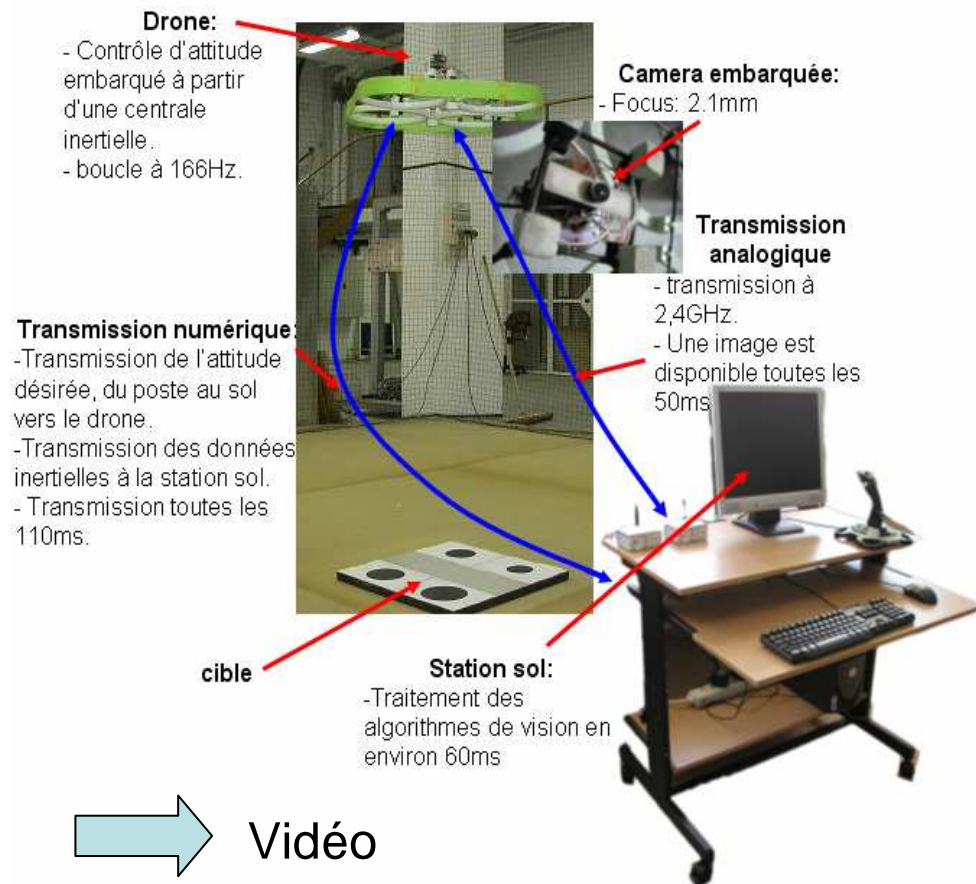
- Objectif: Permettre le positionnement du drone au-dessus d'une cible en utilisant la commande référencée vision.

- Dispositif expérimental



- Moyens envisagés

- Asservissement visuel 3D
- Mémoire visuelle



DTSI / Service Robotique Interactive

# Asservissement par mémoire visuelle – Fisheye

- Modèle unifié pour caméra catadioptrique, valide pour toutes les caméras fisheye (IROS 2007)
- Transposition du principe d'asservissement visuel à une caméra fisheye
- Validation sur robot terrestre (camera ORIFL (champ de vision 190°)  
→ vidéo
- Adaptation au drone (en cours)



DTSI / Service Robotique Interactive

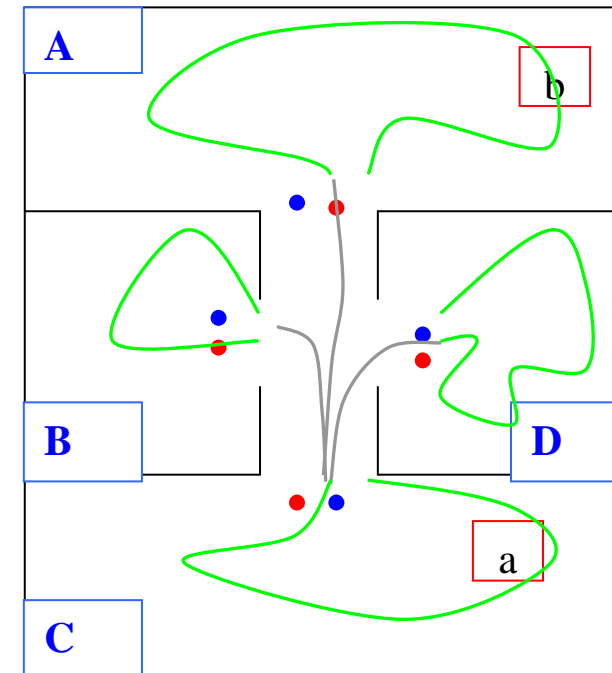
# Localisation par mémoire visuelle à Z constant



Embedded navigation module



Navigation module

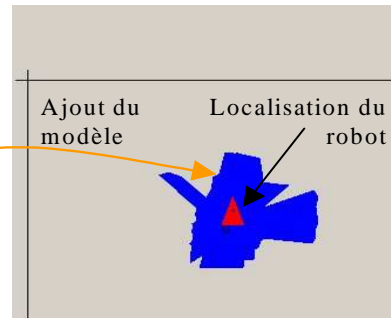
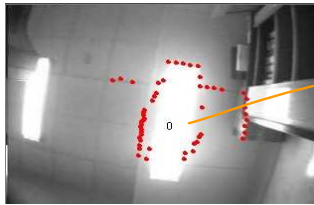


DTSI / Service Robotique Interactive

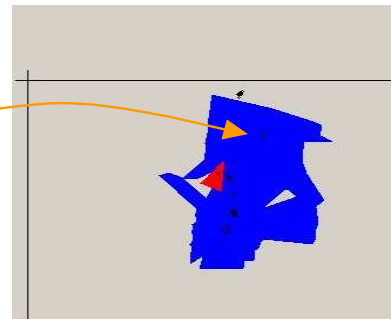


# Localisation par mémoire visuelle 2D

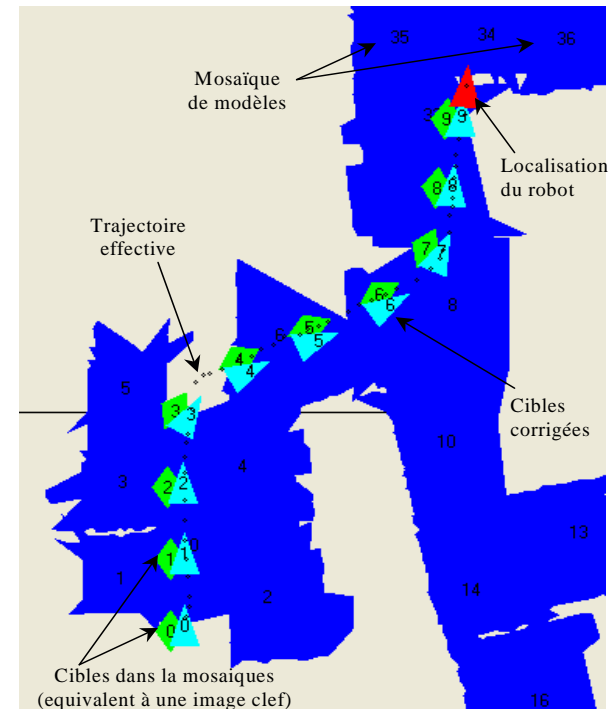
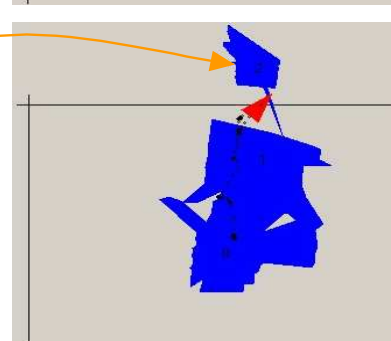
Premier modèle



Deuxième modèle



Troisième modèle



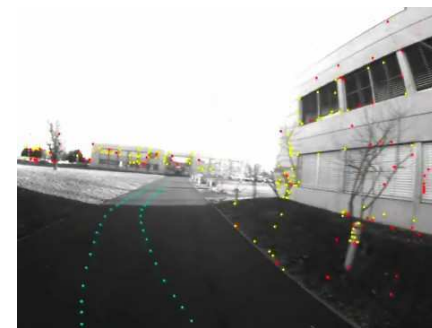
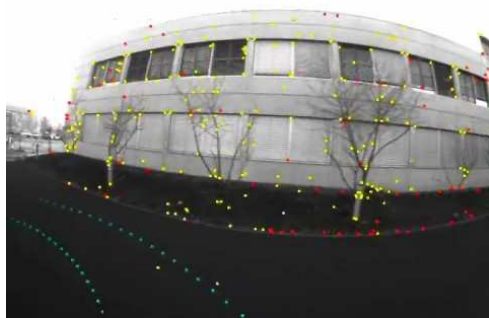
Visual target and trajectory map

DTSI / Service Robotique Interactive

# Localisation /navigation dans une carte 3D métrique

## 1-Phase d'apprentissage :

- Acquisition d'images clés pendant une phase de navigation GPS ou télé opérée
- Extraction de point d'intérêt et mise en correspondance (entre 2 images)
- Estimation de la pose de la caméra pour chaque image(off line)
- Construction de la carte 3D (off line)



DTSI / Service Robotique Interactive

# Localisation /navigation dans une carte 3D métrique

## 2- Trajectoire :

Définition d'une trajectoire dans l'espace 3D appris.

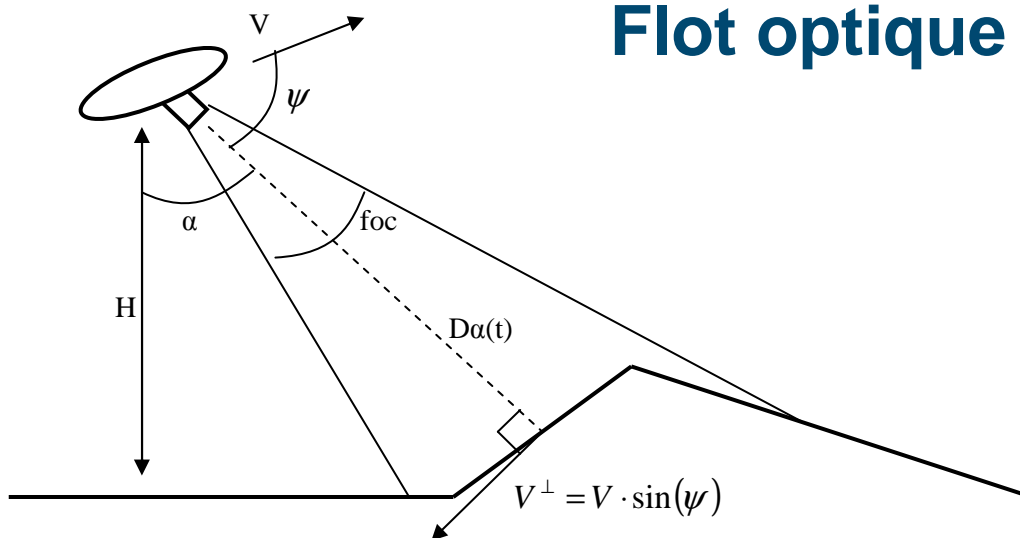
## 3- Localisation 3D

Mise en correspondance des points d'intérêt entre l'image courante et l'image apprise -> localisation du robot

## 4- Navigation

On génère une loi de commande pour parcourir la trajectoire demandée

# Flot optique



Le flot optique est le champ de déplacement 2D dans le plan focal de la caméra.

=>Le flot optique est le rapport entre la composante orthogonale à la direction d'observation de la vitesse du mobile et la distance entre l'objet observé et le centre optique de la caméra

$$OF = -\frac{V^{\perp}}{D_{\alpha}}$$

Le flot optique apporte des informations sur les mouvements relatifs entre le drone et son environnement. Il est alors possible d'en déduire un certain nombre de choses (asservissement en vitesse, stabilisation)

DTSI / Service Robotique Interactive

# Conclusions sur localisation visuelle

- Localisation / navigation visuelle ça marche mais....
  - Localisation métrique
    - Théorie est bien maîtrisée
    - Problème de temps de calcul et de robustesse (métrologie capteur, traitement d'image)
    - Maintenir la cohérence 3D sur de grand espaces
  - Localisation par mémoire visuelle
    - A priori plus robuste, on travaille directement dans l'espace capteur
    - Permet d'appréhender de grands espaces
    - Reste le problème de fermeture de boucle
    - Plus difficile de faire du multi-capteur (données hétérogènes)
  - Flot optique
    - Travail sur le capteur

DTSI / Service Robotique Interactive

# Conclusions générales

## ● Localisation

- Pas de solution miracle et universelle mais un ensemble de solutions qui marchent dans un contexte donné
  - GPS – Environnement ouvert
  - Visuel – Environnement maîtrisé au niveau indice visuel
  - Inertiel – à condition d'avoir d'autres moyens de perception et de faire un recalage régulier
  - Flot optique – en complément et pour de la navigation réflexe (éviter d'obstacles)

## ● L'avenir est aux solutions multi-sensorielles