



Commande d'avions par asservissement visuel : application à l'appontage

Laurent Coutard

Directeur de thèse : François Chaumette

GT UAV – ENSAM Paris - 26/05/2011

Lagadic group

INRIA Rennes-Bretagne Atlantique - IRISA

<http://www.irisa.fr/lagadic>



lagadic



Plan de la présentation

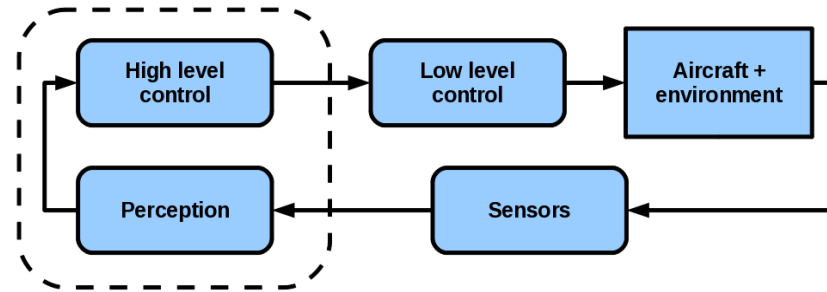
- ❑ L'appontage et les capteurs
- ❑ La vision
- ❑ L'asservissement visuel
- ❑ Les outils utilisés
- ❑ Perspectives



Délimitation de l'étude

Approche et atterrissage automatiques sur PA d'un avion à l'aide d'un capteur de vision

- Détection
- Suivi
- Asservissement visuel



Hypothèses :

- Capteurs avions disponibles + récepteur Tacan
- Caméra Damoclès (Roll Tilt, FOV 1-4°)



L'appontage

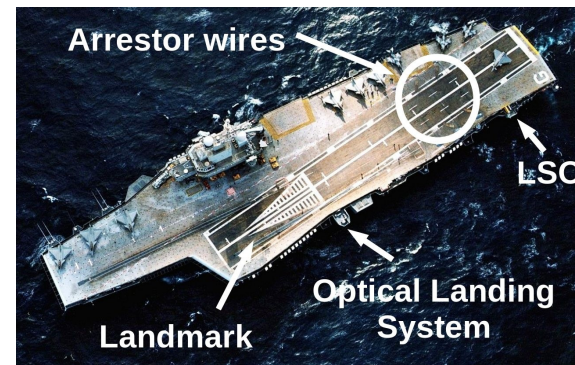
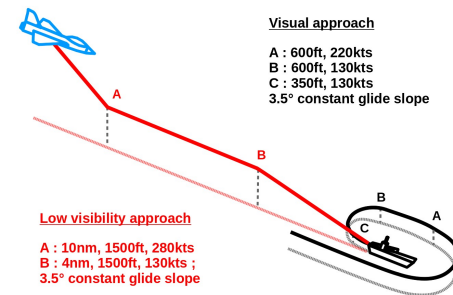
Trajectoire

- Dépend de la visibilité
- Descente à pente constante



Nombreux systèmes d'aide à l'appontage

- Marquage au sol
- Optical Landing System
- Officier d'appontage
- (porte-avions US : système automatique d'appontage)



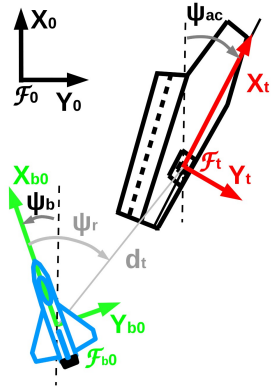
□ La vision



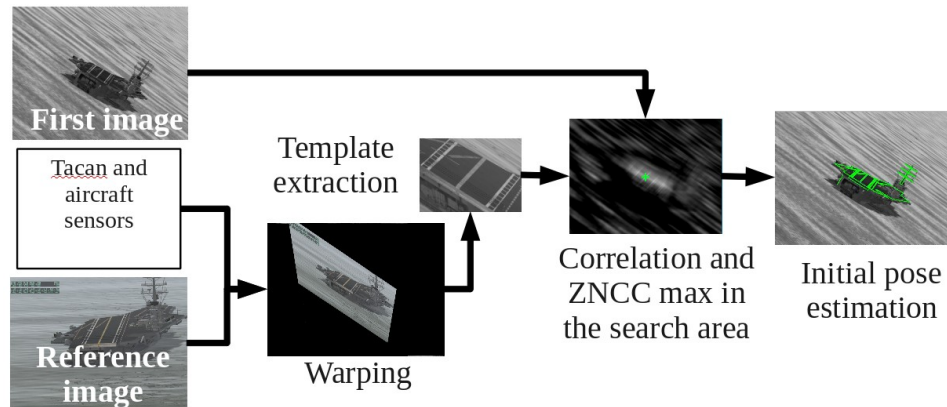
La Vision – 1 : Détection

Objectif : Fournir une pose initiale au suivi

- ❑ Précision du TACAN insuffisante pour une initialisation correcte

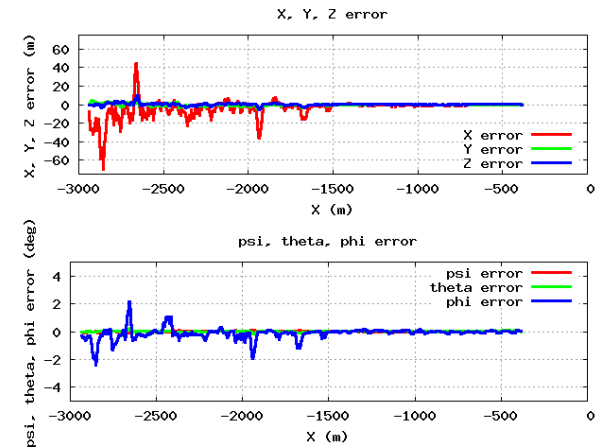


- ❑ Principe de détection et d'initialisation :



La Vision – 2 : Suivi

- 3D Model Edge Tracker [Comport06] disponible dans la librairie open source ViSP de Lagadic
- Video

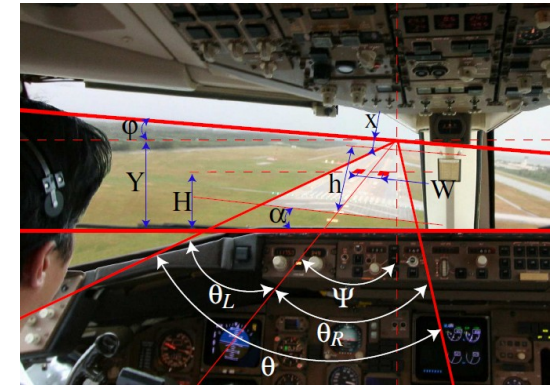


□ L'asservissement visuel



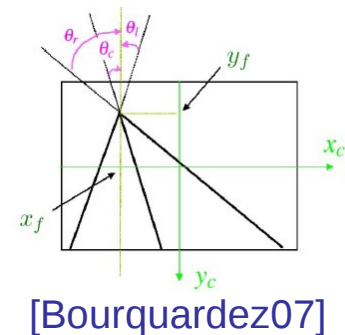
Primitives visuelles – 1 : Etat de l'art

- Indices visuels : études cognitives et de modélisation du pilote [Wewerinke78][Naish72] [Entzinger08][Galanis96]
 - État de l'art des indices utilisés [Entzinger09]

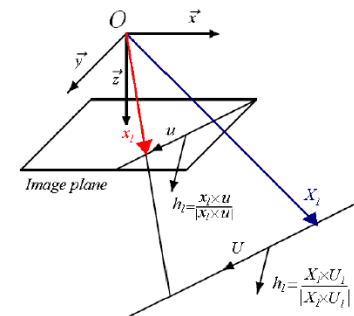


[Entzinger08]

- Primitives visuelles pour l'atterrissage en AV
 - Point de fuite et droites [Rives04] [Bourquardez07]
 - Homographie [Gonçalves10]
 - Coordonnées de Plücker [Lebras09]



[Bourquardez07]

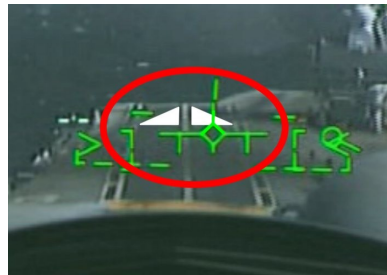


[Lebras09]

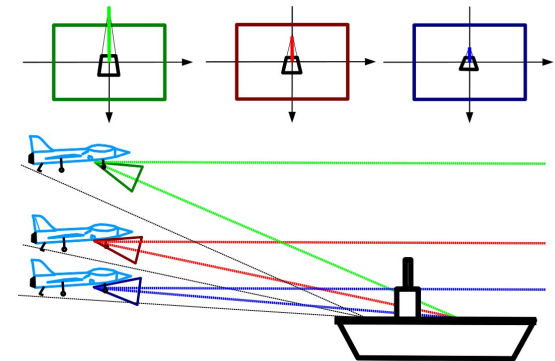
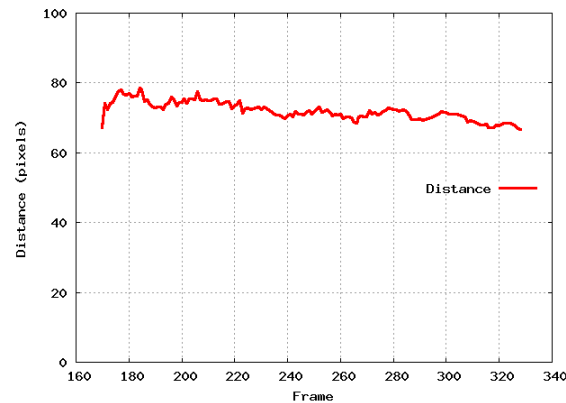
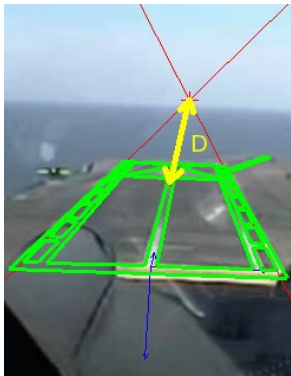


Primitives visuelles – 2 : Utilisées opérationnellement

Informations visuelles utilisées par les pilotes de l'aéronavale



Distance entre la base de la mire et le point de fuite constante durant l'approche



Primitives visuelles – 3 : Caméras

Problème : on doit atterrir ET avoir le PA dans l'image (faible FOV de 4°)

Une solution : mettre à profit les degrés de liberté du Damoclès

Deux caméras utilisées :

- Damoclès pour le suivi 3D et le centrage dans l'image
- « Virtuelle » pour le calcul des primitives 2D calculés à l'aide la pose du suivi 3D

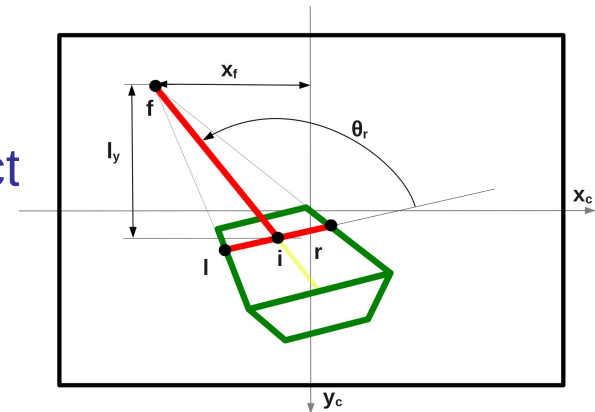
$${}^{c_v}\hat{\mathbf{M}}_d = {}^{c_v}\mathbf{M}_b {}^c\mathbf{M}_b^{-1} {}^c\hat{\mathbf{M}}_d$$



Primitives visuelles – 4 : Lien avec l'état de l'avion

Primitives proposées : $s = (l_y, x_f, \theta_r)$

- l_y : distance sur y entre les points de fuite et d'impact
- x_f : abscisse du point de fuite
- θ_r : angle entre l'axe de la piste et sa largeur

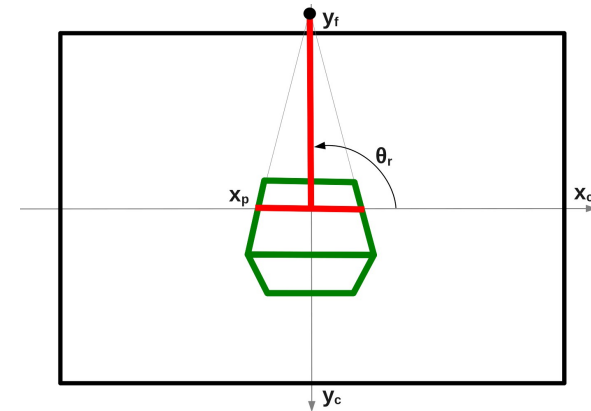


$$\dot{s} = \mathbf{L}_s \mathbf{v} = \mathbf{J}_s \dot{\mathbf{P}} \quad \text{avec} \quad \mathbf{J}_s = \mathbf{L}_s {}^c \mathbf{W}_b {}^b \mathbf{W}_i$$

$$\mathbf{L}_s^* = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{Z_i} & 0 & y_f^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & y_f \\ \frac{-1}{y_f Z_i} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{J}_s \approx \begin{bmatrix} 0 & 0 & -\frac{1}{X_0} & 0 & y_f^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & y_f c\theta_0 + s\theta_0 & 0 & -1 \\ 0 & \frac{1}{y_f X_0} & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\tilde{s} = \mathbf{J}_s \tilde{\mathbf{P}}$$



Contrôle – Modélisation dynamique

- Asservissement visuel pour l'atterrissage
 - Modèle linéarisé et l'expression de l'état avec des informations visuelles [Rives04][Bourquardez07][Gonçalves10]
 - Contrôle non linéaire avec coordonnées de Plücker [Lebras09]

□ Notre cas :

Avion stabilisé commandable en facteur de charge, vitesse de roulis et poussée

Modèle linéaire avec dynamiques longitudinales et latérales découplées

$$\begin{bmatrix} \dot{\tilde{\mathbf{x}}}_{lg} \\ \dot{\tilde{\mathbf{x}}}_{lt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{A}_{lg} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{A}_{lgt} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{x}}_{lg} \\ \tilde{\mathbf{x}}_{lt} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{B}_{lg} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{B}_{lgt} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{u}}_{lg} \\ \tilde{\mathbf{u}}_{lt} \end{bmatrix}$$

Avec $\tilde{\mathbf{x}}_{lg} = (\tilde{V}, \tilde{\alpha}, \tilde{\theta}, \tilde{q}, \tilde{Z})$ $\tilde{\mathbf{x}}_{lt} = (\tilde{p}, \tilde{r}, \tilde{\phi}, \tilde{\psi}, \tilde{Y})$



Contrôle – Asservissement visuel

Sorties (capteurs avion + primitives 2D)

$$\mathbf{y}_{lg} = (V, \alpha, \theta, q, l_y)$$

$$\mathbf{y}_{lt} = (p, r, \phi, x_f, \theta_r)$$

$$\mathbf{C}_{lg} = \begin{bmatrix} \mathbf{I}_{4 \times 4} & \mathbf{0}_{4 \times 1} \\ 0 & -\frac{1}{X_0} \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{C}_{lt} = \begin{bmatrix} \mathbf{I}_{3 \times 3} & \mathbf{0}_{3 \times 2} \\ 0 & 0 & y_f c\theta_0 + s\theta_0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{y_f X_0} \end{bmatrix}$$

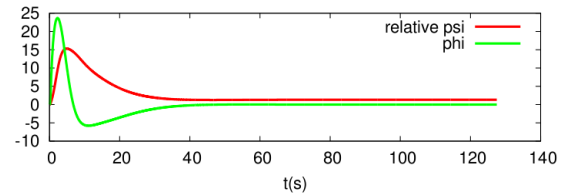
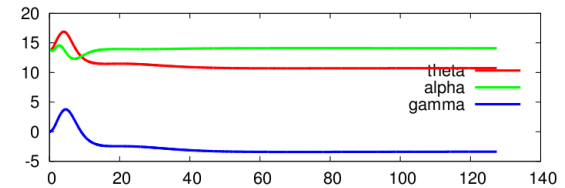
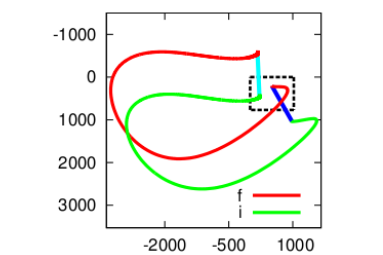
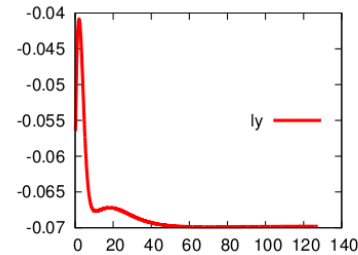
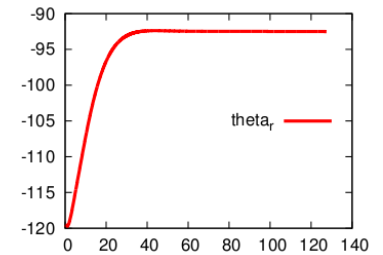
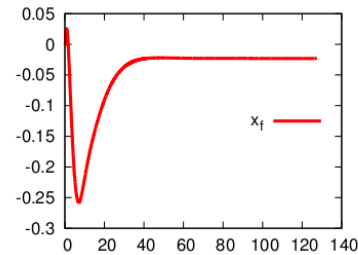
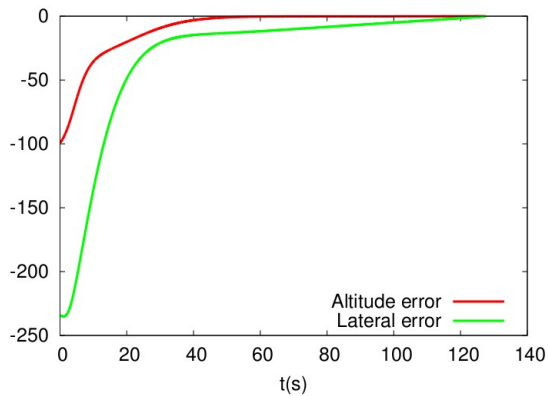
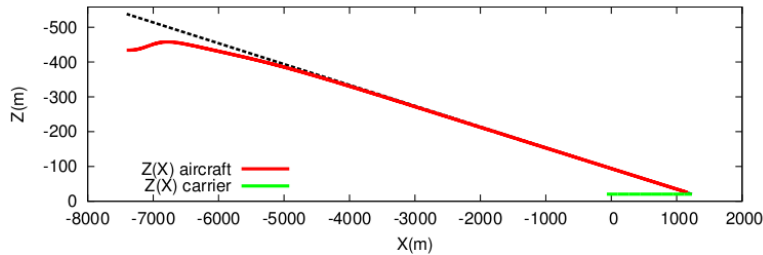
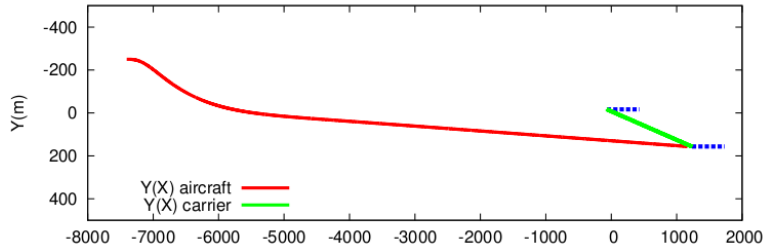
Commande par retour d'état avec les gains (calculés par LQ)

$$\begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{u}}_{lg} \\ \tilde{\mathbf{u}}_{lt} \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} \mathbf{K}_{lg} \mathbf{C}_{lg}^{-1} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{K}_{lt} \mathbf{C}_{lt}^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{y}}_{lg} \\ \tilde{\mathbf{y}}_{lt} \end{bmatrix}$$



Contrôle - Résultats

□ Primitives 2D simulées ; Vitesse du PA : 20kts ; Clg et Clt constant pour $X_0 = -3000m$

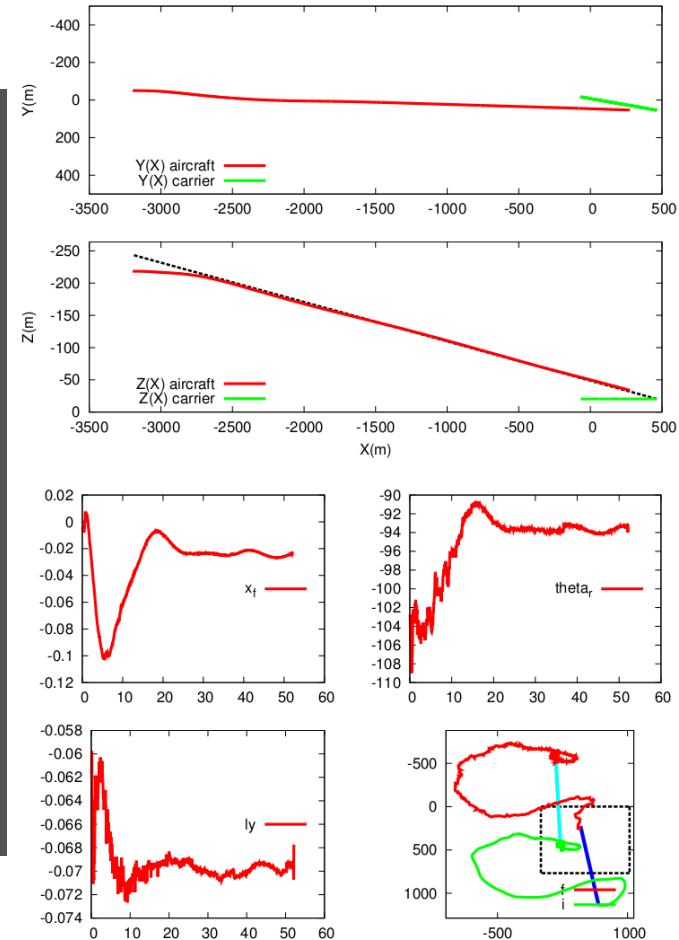


Boucle fermée : asservissement visuel avec la vision

Primitives visuelles calculées à l'aide du suivi 3D



Camera damocles (FOV 4°)



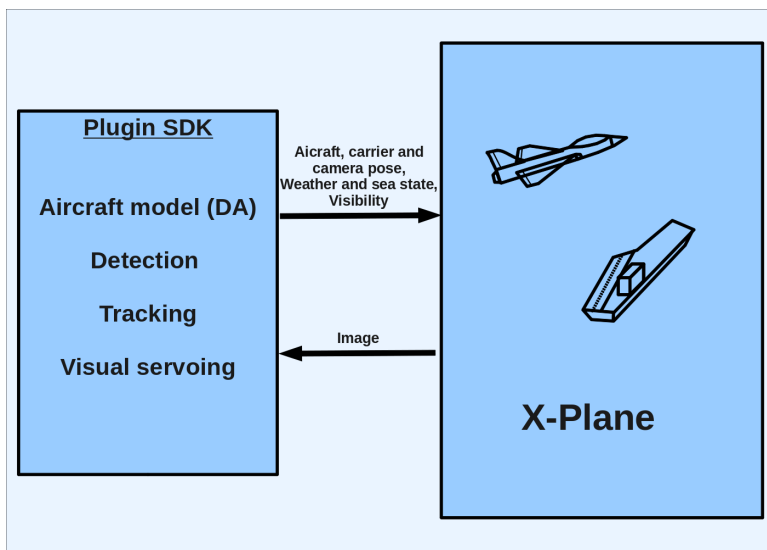
□ Outils de simulation



Outils de simulation

Visualisation Xplane

- Bon rendu
- Différentes méthodes pour s'interfacer
- Météo, état de mer, visibilité
- Différents avions, porte-avions



▣ Perspectives



Perspectives

- ❑ Etude de robustesse de la détection et du suivi
- ❑ Prise en compte du vent, du mouvement de plateforme
- ❑ Extension vers d'autres capteurs (infrarouge, radar)



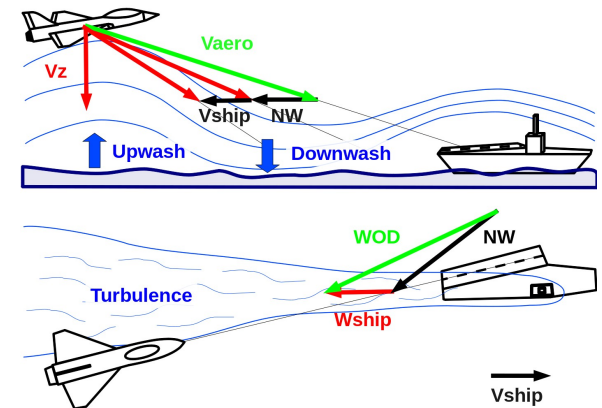
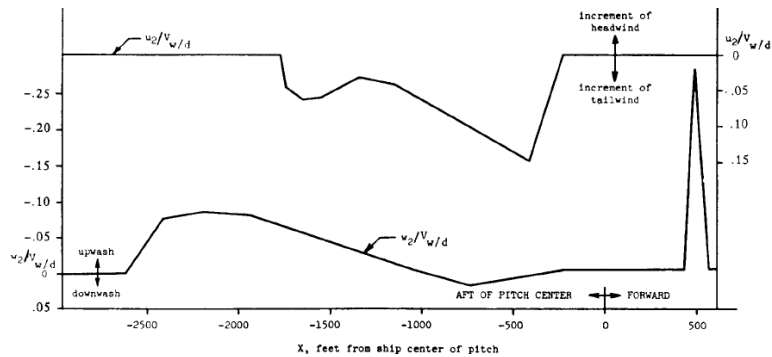
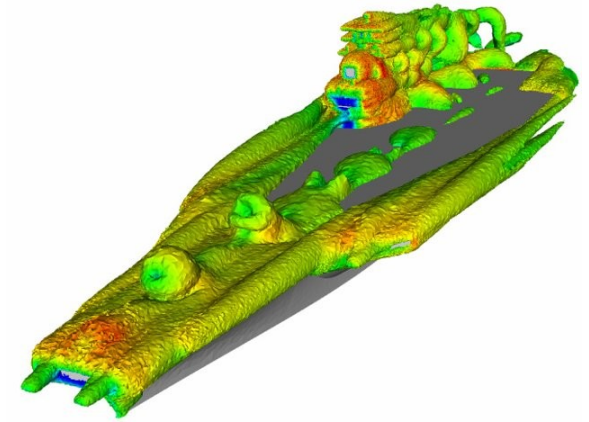
Questions ?



Vent autour du porte-avions

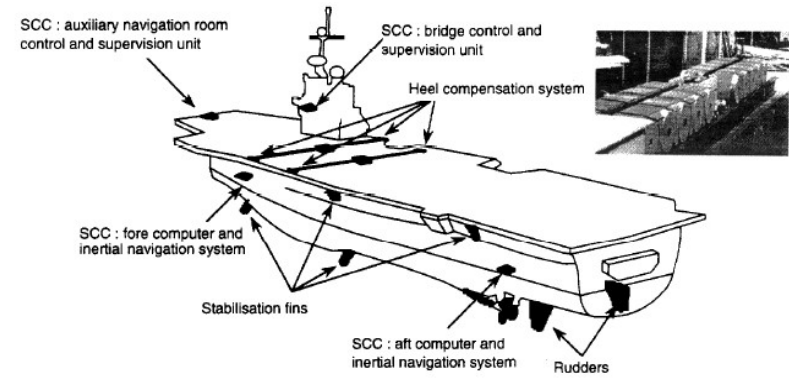
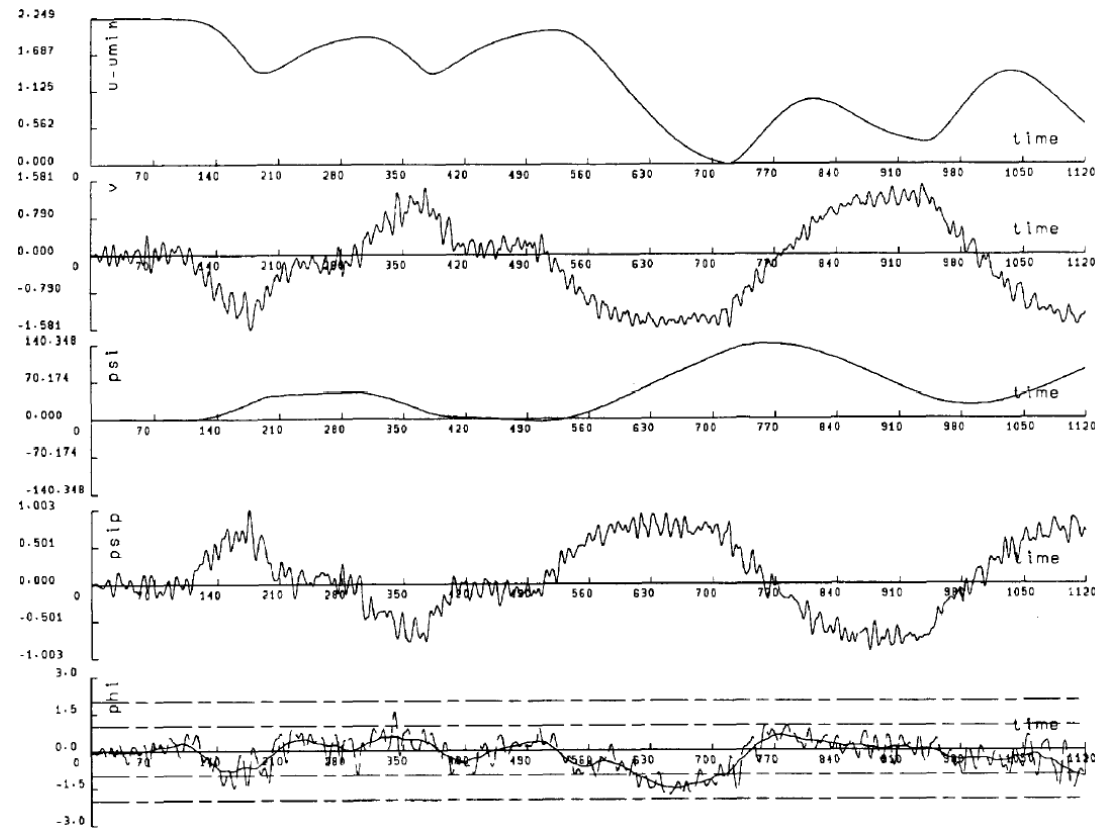
Composition des vents, effets d'ilot

Modélisation existante dans la MIL-STD-1797A



Contrôle et stabilité du Charles de Gaulle : SATRAP

- Passage d'opérations aériennes de mer force 4 sur Clémenceau à force 5 sur CDG

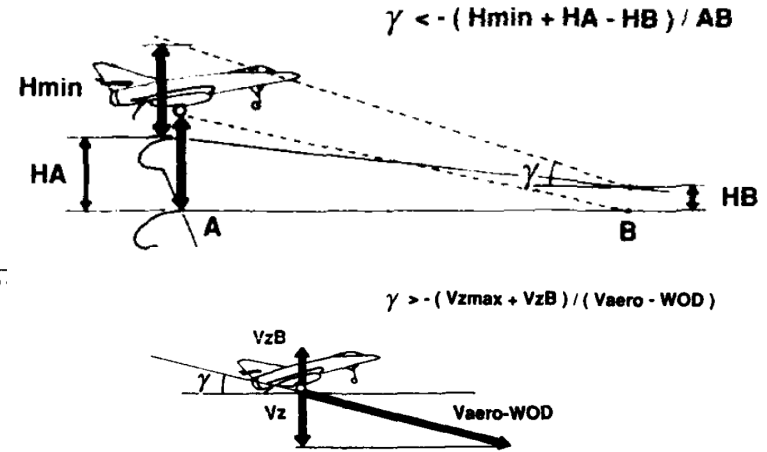
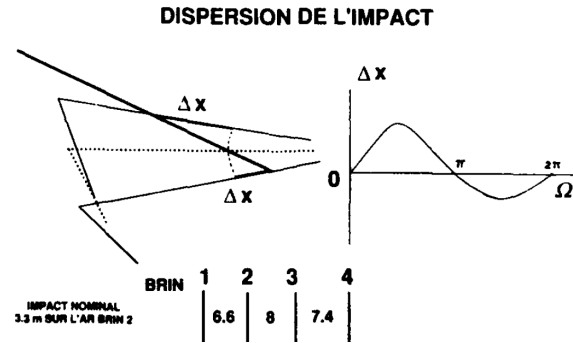


- $(u-umin)$ in m/s denotes the variations of the longitudinal speed from its initial value of 20 knots.
- v in m/s, the lateral component of the speed.
- psi in degrees, the heading.
- $psip$ in deg/s, the yaw rate.
- $rudders$ in degrees, the rudders angle.
- phi in degrees, the roll of the ship (in dotted lines, an estimate of the heel being superimposed in solid lines).
- dCS in meters, the displacement of the 12 moving masses of Cogite.
- vCS in m/s, the displacement speed (according to the 9 available levels).
- $fins$ in degrees, the deflection of the stabilization fins.

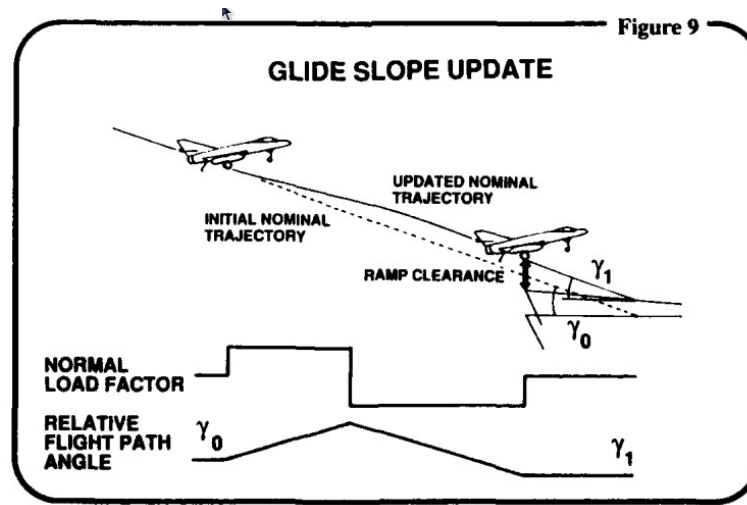


Prise en compte du mouvement du porte-avions [Vu91]

Contraintes à respecter



Méthode basée sur la prédiction des mouvements du porte-avions



Automatic Carrier Landing System

AN/SPN-42, AN/SPN-46(V)

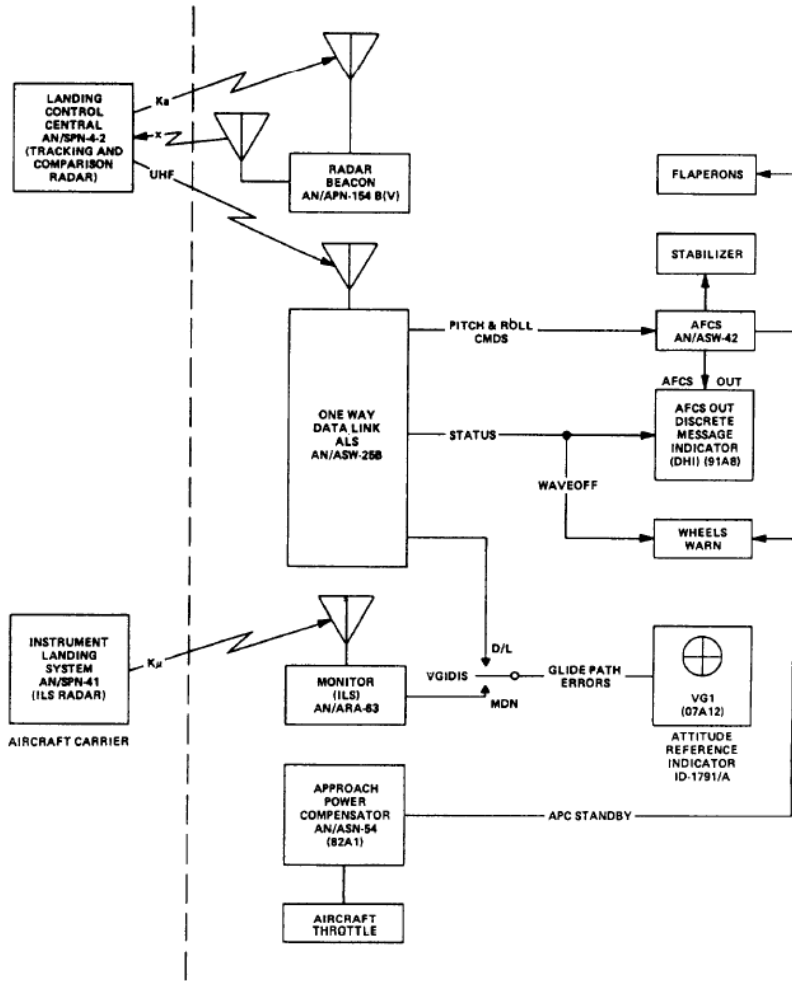


Figure 9-1.-Simplified block diagram of the ACLS system.

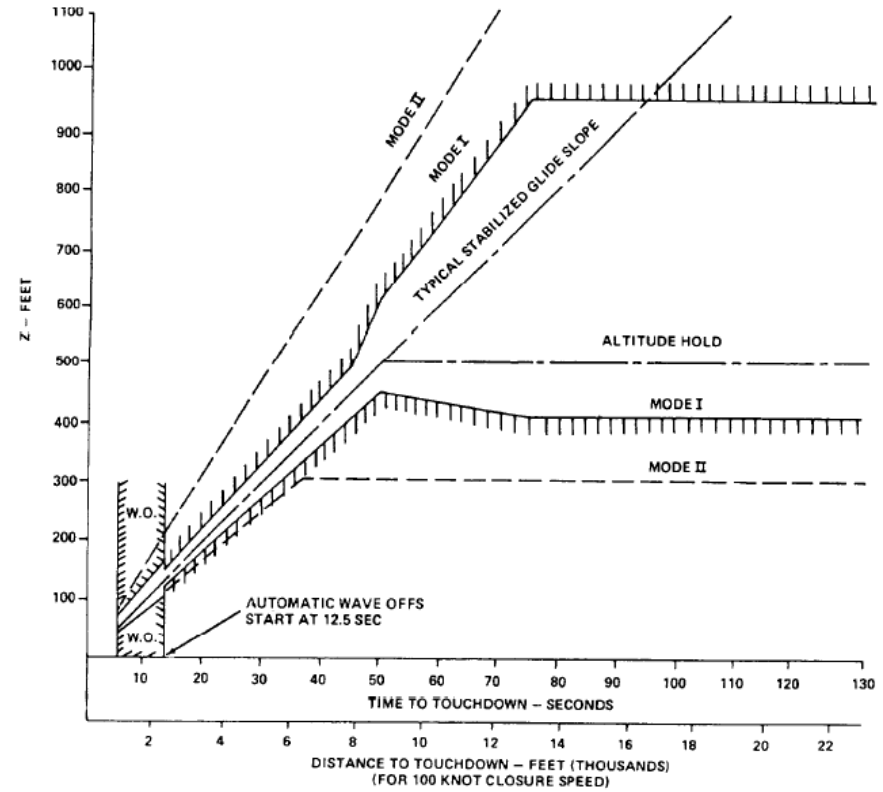


Figure 9-4.-Vertical flight path control and automatic wave-off boundaries.



Quand ça ne marche pas ou moins bien ...

Soit divergence totale soit minimum local

