



# Détection et isolation de défauts par analyse des contraintes géométriques de guidage-pilotage

Julien Marzat

Sixième Conférence Internationale Francophone d'Automatique  
Nancy, France, 2-4 juin 2010

ONERA

THE FRENCH AEROSPACE LAB

retour sur innovation

## Introduction

Contexte

Cas-test aéronautique

Méthode de diagnostic proposée

## Loi de guidage et résidus associés

Géométrie du guidage

Résidus de guidage

Résultats

## Contraintes de pilotage

Principe et résidus

Résultats

## Conclusions et perspectives

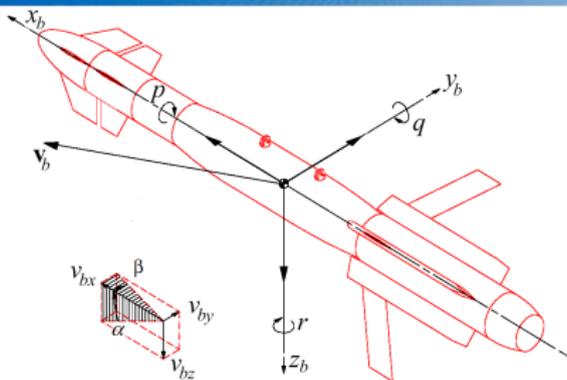
## *Sécurisation en vol des aéronefs sans ajout de capteur*

- 1 « Sécurisation » : détecter de manière précoce les modes de fonctionnement anormaux → *Diagnostic des systèmes*
- 2 « Sans ajout de capteur » : utiliser les capteurs / actionneurs préexistants et non-redondants → *Redondance Analytique*
- 3 « Aéronef pendant le vol » : application à un cas d'étude générique pour l'aéronautique → *Autonomie du diagnostic*

### Travaux préliminaires

- Etat de l'art en diagnostic et définition d'un cas test aéronautique (*3rd European Conference for Aero-Space Sciences, EUCASS 2009*)
- Développement d'une méthode de diagnostic utilisant l'information de commande sur le modèle 2D (*7th Workshop on Advanced Control and Diagnosis, ACD 2009*)

# Cas d'étude : missile intercepteur - 6 DDL



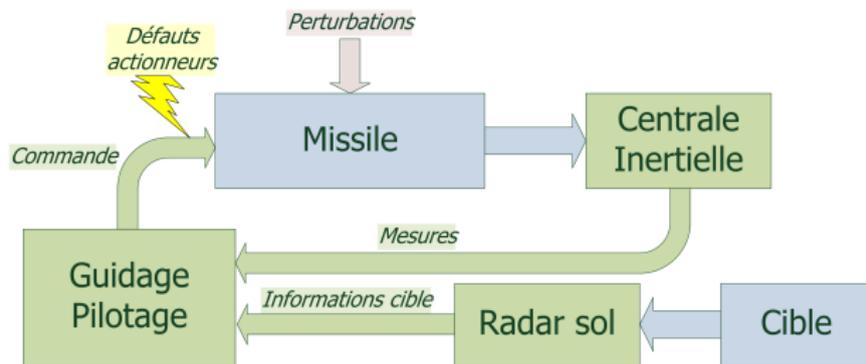
## Caractéristiques

- *Variables d'état* : position, vitesse, vitesse angulaire, angles d'Euler
- *Actionneurs* : gouvernes (roulis, tangage, lacet) et propulseur
- *Capteurs* : centrale inertielle (accéléromètres et gyromètres 3 axes)
- Position et vitesse de la cible mesurées
- Dynamique décrite par un modèle d'état non linéaire
- Défauts actionneurs : blocage des gouvernes, perte de propulsion

# Le problème de l'interception

*Objectif : faire tendre vers zéro la distance missile-cible*

- *Guidage* : calcul de la trajectoire et de l'orientation à partir de règles géométriques
- *Pilotage* : traduit les ordres du guidage aux actionneurs, assure la stabilisation et la commande de poussée



Présence de défauts actionneurs → diagnostic pour prise de décision

## Principe

- *Boucle fermée* : les signaux de commande portent de l'information sur les défauts affectant le système
- *Réussite de la mission* : incohérence de la commande et de l'évolution en présence de défauts

→ *Diagnostic* : adéquation du système aux contraintes de commandes

## Application à la détection des défauts de gouverne

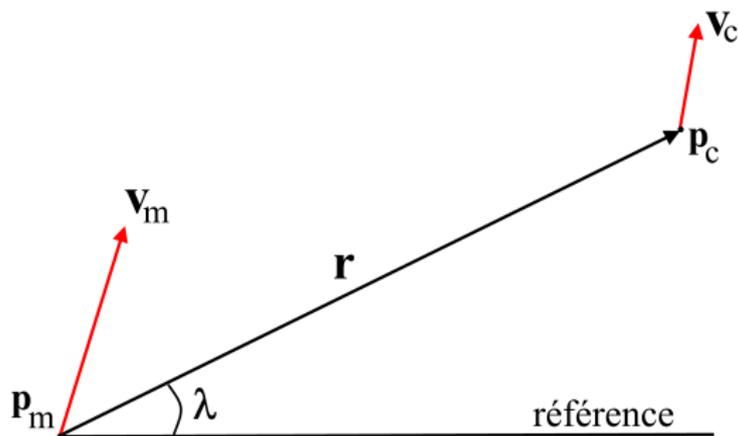
- Respect des contraintes de guidage : suffisant pour la détection
- Contrainte supplémentaire de pilotage (découplage) : isolation entre défauts latéraux et longitudinaux

## Méthodes classiques à base de modèle

- Information de commande en boucle fermée rarement exploitée
- Dilemme commande-diagnostic
- Problèmes liés aux imprécisions de modèle
- Charge de calcul

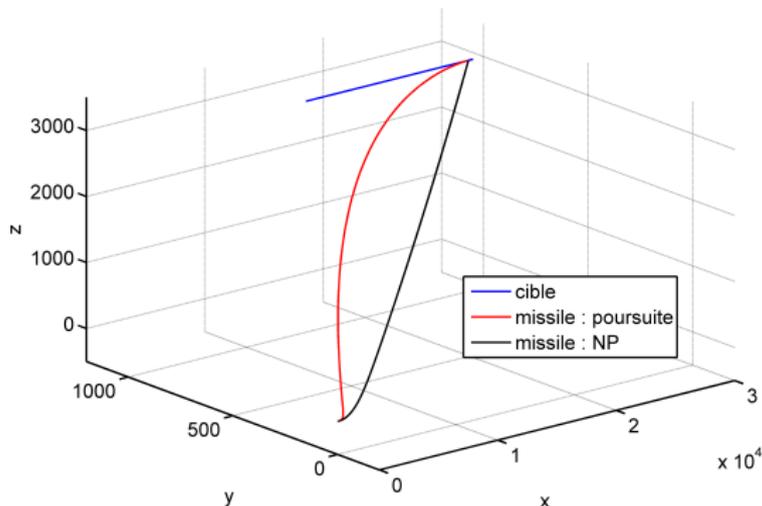
## Apports de la méthode proposée

- Prise en compte du caractère bouclé du système
- Modèle dynamique remplacé par le modèle géométrique de commande, plus simple → charge de calcul faible
- Performances de la commande non affectées par le diagnostic



- *Ligne de vue (LDV) :  $\mathbf{r} = \mathbf{p}_c - \mathbf{p}_m$*
- *Vitesse de rapprochement :  $-\dot{\mathbf{r}} = \mathbf{v}_m - \mathbf{v}_c$*
- *Orientation de la LDV :  $\lambda$*
- *Vitesse de rotation de la LDV :  $\dot{\lambda} = \frac{1}{r^2}(\mathbf{r} \times \dot{\mathbf{r}})$*

# Deux lois de guidage classique



## Poursuite

*Aligner la vitesse  $v_m$  du missile avec la ligne de vue (LDV)  $r$*

## Navigation proportionnelle

*Conserver la direction de la LDV constante en repère inertiel*

## Loi de poursuite

La vitesse missile  $\mathbf{v}_m$  doit être alignée avec la LDV  $\mathbf{r}$

$$\mathbf{r}_{pp} = \frac{180}{\pi} \arcsin \left( \frac{\mathbf{v}_m}{\|\mathbf{v}_m\|} \times \frac{\mathbf{r}}{\|\mathbf{r}\|} \right)$$

## Loi de navigation proportionnelle

La direction de la LDV est constante, la vitesse de rotation de la LDV doit donc être nulle

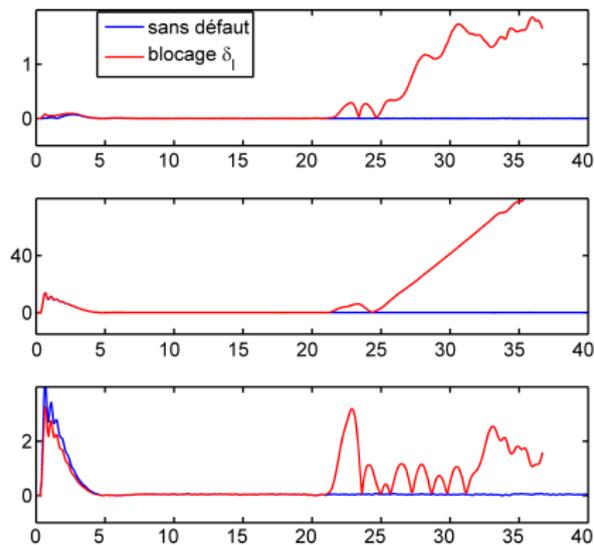
$$\mathbf{r}_{png} = \frac{\mathbf{r} \times \dot{\mathbf{r}}}{r^2}$$

## Deux scénarios de défauts affectant la mission

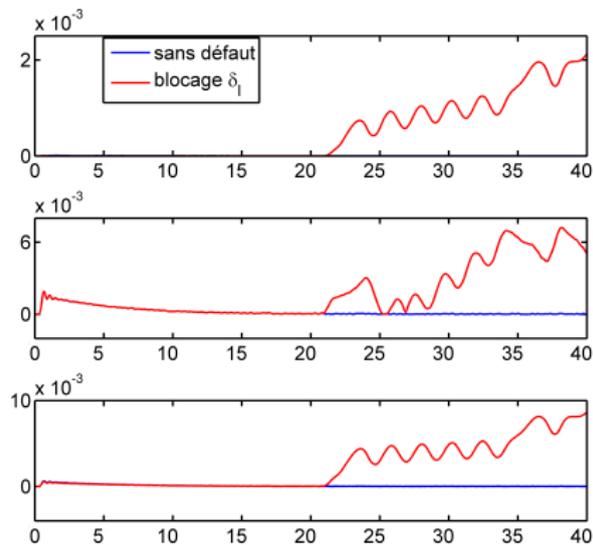
- Tests pour les deux lois de guidage
- Scénario 1 : blocage de la gouverne de roulis  $\delta_l$  à  $t=20s$
- Scénario 2 : blocage de la gouverne de tangage  $\delta_m$  à  $t=30s$

# Résultats - blocage de $\delta_1$ (roulis) à $t=20s$

## Résidus en poursuite

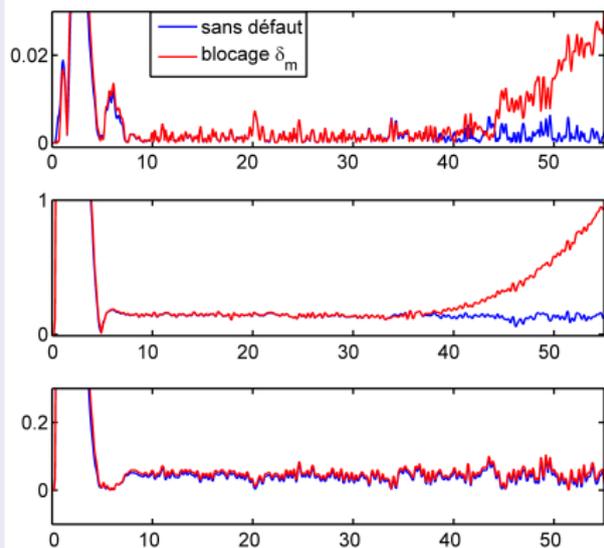


## Résidus en Navigation Proportionnelle

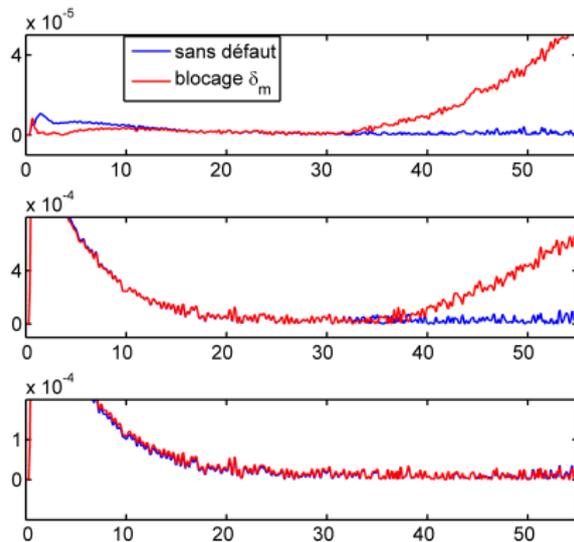


# Résultats - blocage de $\delta_m$ (tangage) à $t=30s$

## Résidus en Poursuite



## Résidus en Navigation Proportionnelle



## Principe

- Pilotage basé sur le découplage latéral/longitudinal
- Défaut dans le plan longitudinal (gouverne de tangage  $\delta_m$ )  
→ hypothèse toujours valide
- Défaut en roulis ( $\delta_l$ ) ou lacet ( $\delta_n$ ) → déstabilisation affectant les deux plans et invalidation de l'hypothèse de découplage

→ résidus de couplage :

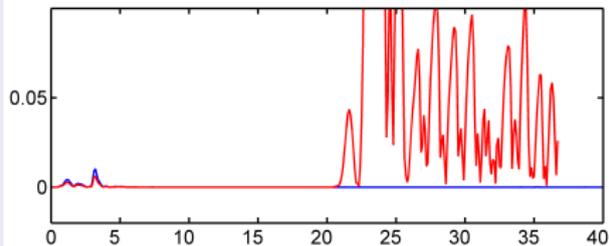
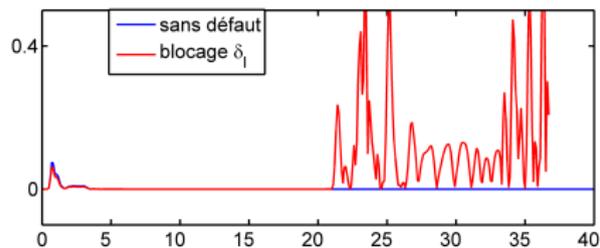
$$\mathbf{r}_{\text{att}} = \begin{bmatrix} pr \\ pq \end{bmatrix}$$

( $[p, q, r]^T$  vitesse angulaire en roulis, tangage et lacet)

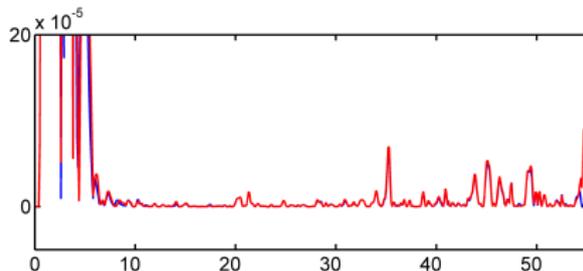
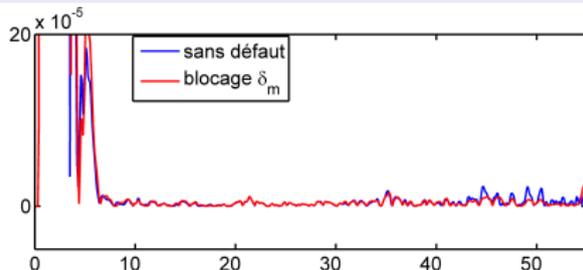
- Indépendant de la loi de guidage utilisée

# Résidus pour les deux scénarios de défauts

## Blocage de $\delta_1$ (roulis) à $t=20s$



## Blocage de $\delta_m$ (tangage) à $t=30s$



## Commentaires

- Faible coût de calcul : modèle géométrique de commande simple, pas besoin d'intégrer le modèle dynamique non linéaire
- Robuste aux imprécisions de modèle et de mesure (lié à la robustesse de la commande)
- Extension possible à tout système commandé à base de contraintes géométriques ou cinématiques

Cependant :

- Le *délai de détection* dépend du temps de réponse du système
- La *sensibilité* des résidus dépend de la structure du système

## Suite des travaux

- Formalisation et généralisation de la méthode
- Méthodologie de comparaison des méthodes de diagnostic