

Co - Design Mécanique/ Contrôle d'Attitude d'un Satellite Flexible

avec

Commande Robuste Structurée

Jose Alvaro **PEREZ GONZALEZ**
Doctorant à **ONERA DCSD**

Etude supervisé par:



Christelle **PITTET**

Thomas **LOQUEN**

Daniel **ALAZARD**

Plan

- **Besoin du Co – Design Attitude/Structure**
- **Modélisation de la Structure**
- **Méthode de Co – Design**
- **Exemple Satellite Flexible**

ONERA

THE FRENCH AEROSPACE LAB



Avril 2015, GT MOSAR

Introduction

Introduction

Modélisation

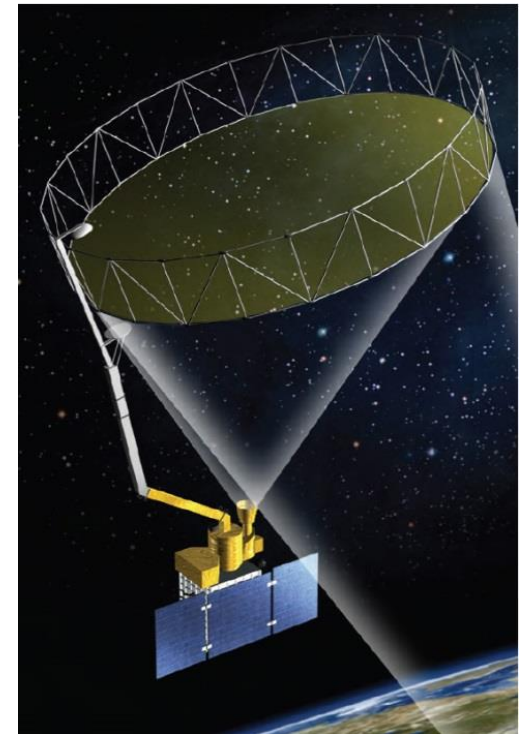
Co – Design

Exemple

- Tendence structurelle actuelle:
 - Masse
 - + Large



50 ans



ONERA

THE FRENCH AEROSPACE LAB



cnès
CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES SPATIALES



isae
Institut Supérieur de l'Aéronautique et de l'Espace

Introduction

■ Introduction

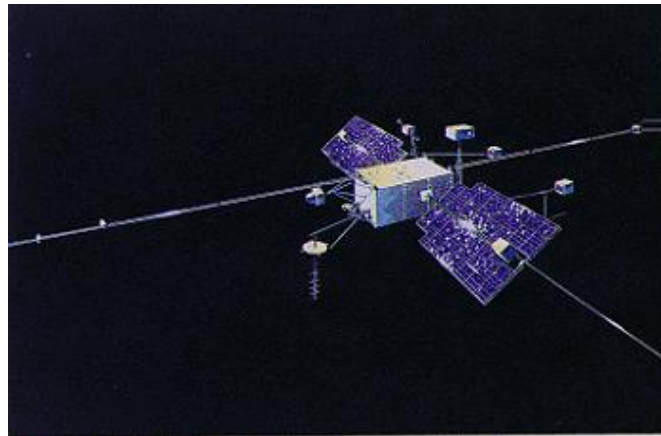
■ Modélisation

■ Co – Design

■ Exemple

■ Problème:

- Plus de modes flexibles basse fréquence
- Bande passante du contrôleur: excitation modes souples



OGO III, 1966:

Interaction
Contrôle/Booms



Roues de réaction
surexcités

ONERA

THE FRENCH AEROSPACE LAB



CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES SPATIALES



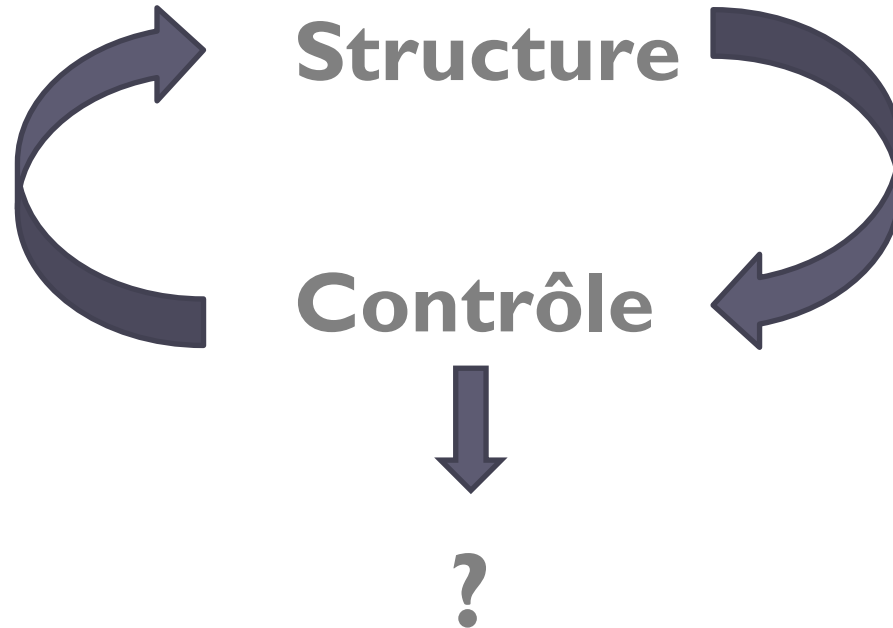
INSTITUT SUPÉRIEUR DE L'AÉRONAUTIQUE ET DE L'ESPACE

Introduction

Pris en compte de la flexibilité:

- *Control Structure Interaction (CSI), NASA 1986.*

Mais...



ONERA

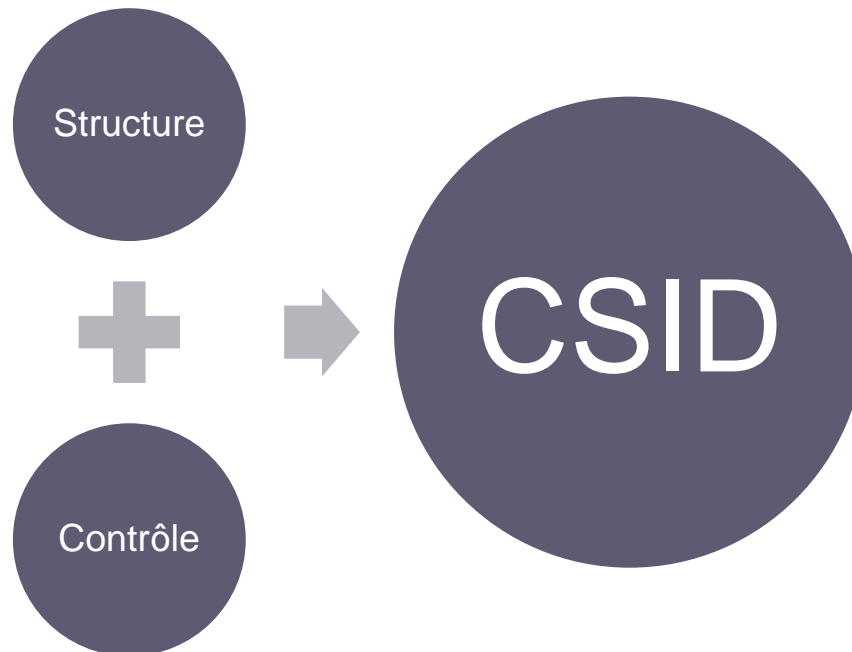
THE FRENCH AEROSPACE LAB



Introduction

Autre discipline est née:

- *Control Structure Integrated Design (CSID)*, 1990s.



ONERA

THE FRENCH AEROSPACE LAB

cnes
CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES SPATIALES

isae
Institut Supérieur de l'Aéronautique et de l'Espace

Introduction

- Introduction

- Modélisation

- Co – Design

- Exemple

Inconvénients de CSID:

- Méthodes restrictives, difficilement adaptables
- Pas de méthode générale pour modéliser
- Pas d'outils « grand public»

ONERA

THE FRENCH AEROSPACE LAB



CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES SPATIALES



ISAE

Institut Supérieur de l'Aéronautique et de l'Espace

Introduction

- Introduction

- Modélisation

- Co – Design

- Exemple

**Approche CSID avec des outils
Commande Robuste Structurée:**

- Moins restrictive
- Modélisation Généraliste
- Outils Matlab RCT

ONERA

THE FRENCH AEROSPACE LAB


cnes
CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES SPATIALES


isae
Institut Supérieur de l'Aéronautique et de l'Espace

Introduction

- Introduction

- Modélisation

- Co – Design

- Exemple

Besoins:

- **Modélisation: satellite flexible** avec lft, simple, paramétrable, enchaînable.
- **Contrôle/Optimisation: H_{∞} structurée /Systune**

ONERA

THE FRENCH AEROSPACE LAB


cnes
CENTRE NATIONAL D'ETUDES SPATIALES


isae
Institut Supérieur de l'Aéronautique et de l'Espace

Modélisation

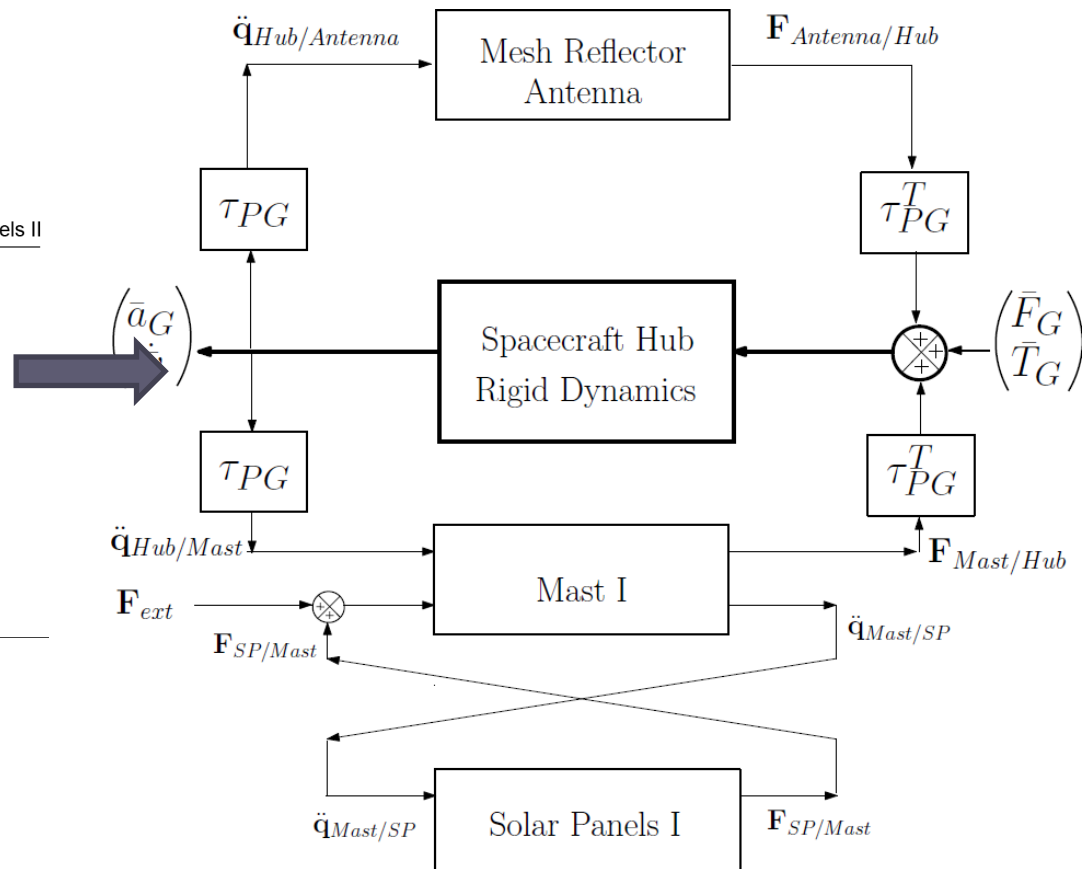
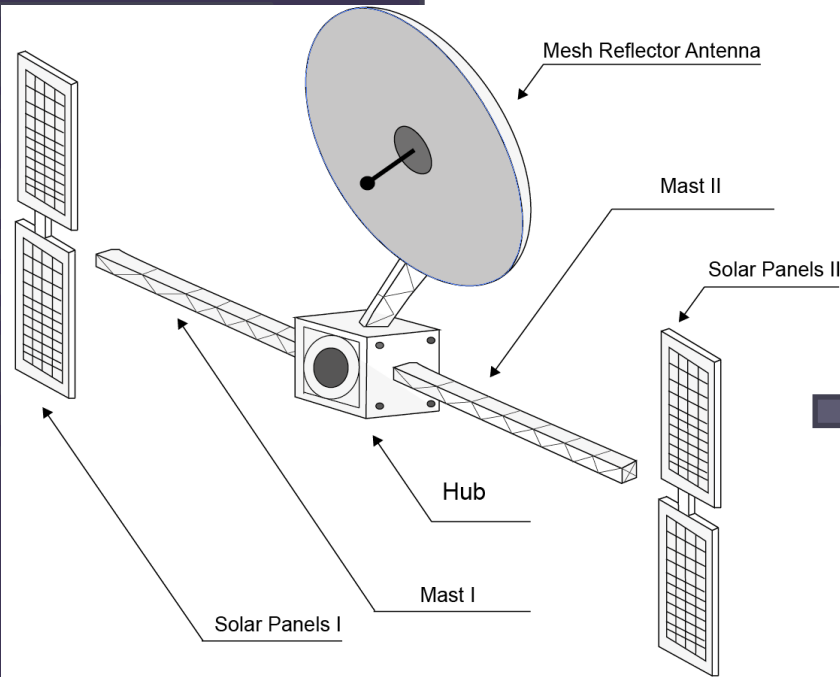
Notre méthode: assemblage de satellite flexible multi-corps

Introduction

Modélisation

Co – Design

Exemple



ONERA

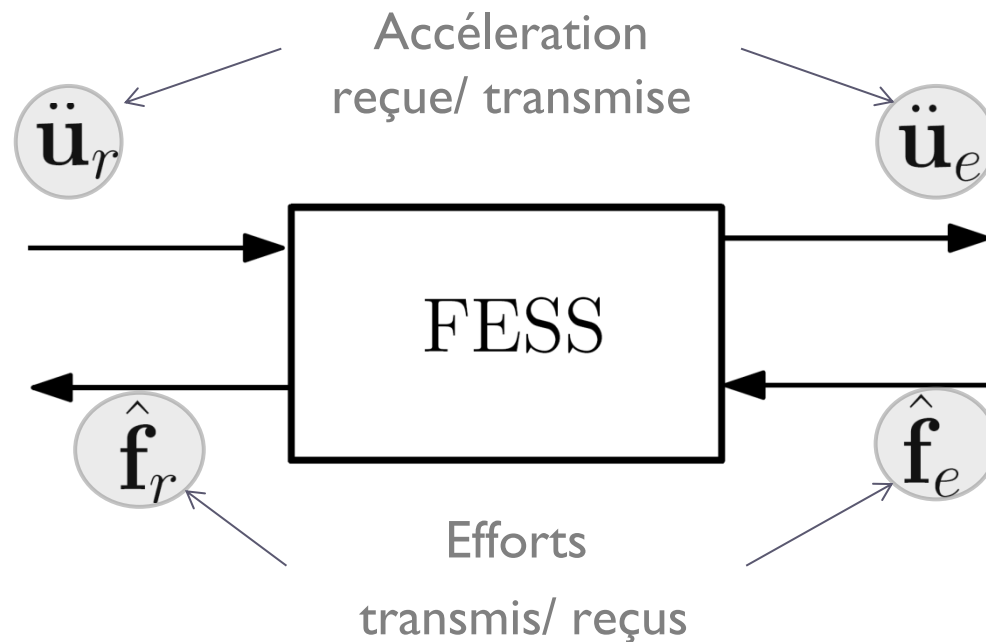
THE FRENCH AEROSPACE LAB



Modélisation

Chaque Substructure/Appendice:

- Modèle d'états à partir de MEF
- Paramétrable
- Facile à interconnecter



ONERA

THE FRENCH AEROSPACE LAB

cnes
CENTRE NATIONAL D'ETUDES SPATIALES

isae
Institut Supérieur de l'Aéronautique et de l'Espace

Modélisation

A l'intérieur des modèles:

- Equations de 2nd ordre avec **CMS** (*Component Modes Synthesis*)
- Dynamique rigide et flexible

$$\begin{bmatrix} \hat{M}_{ii} & \hat{M}_{ie} & \hat{M}_{ir} \\ \hat{M}_{ei} & \hat{M}_{ee} & \hat{M}_{er} \\ \hat{M}_{ri} & \hat{M}_{re} & \hat{M}_{rr} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{\eta}_i \\ \ddot{\eta}_e \\ \ddot{\eta}_r \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} \hat{K}_{ii} & 0 & 0 \\ 0 & \hat{K}_{ee} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \eta_i \\ \eta_e \\ \eta_r \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ \hat{f}_e \\ \hat{f}_r + \Psi_{er}^T \hat{f}_e \end{Bmatrix}$$

ONERA

THE FRENCH AEROSPACE LAB



CENTRE NATIONAL D'ETUDES SPATIALES



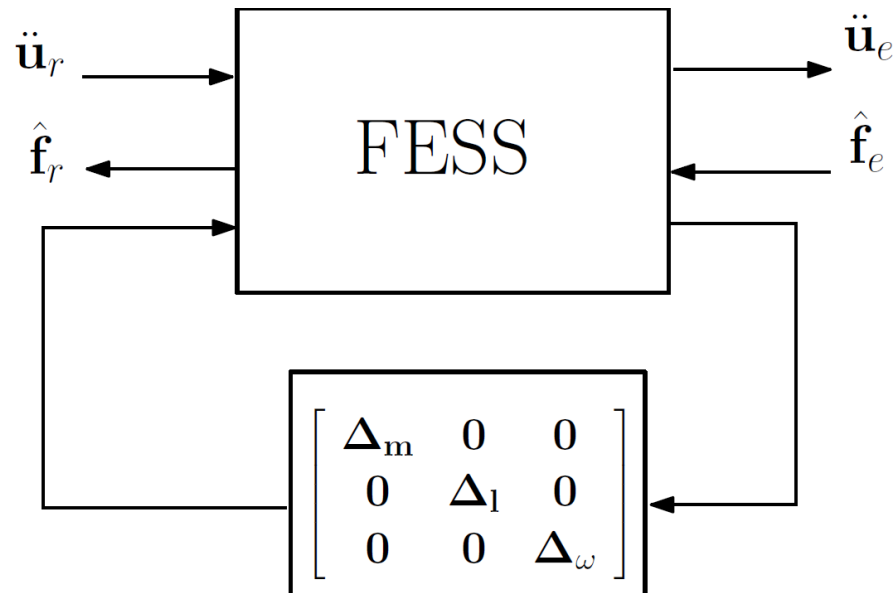
isae

Institut Supérieur de l'Aéronautique et de l'Espace

Modélisation

Paramétrable:

- Obtention du bloc Δ , paramètres à optimiser de chaque substructure
- Influence de la variation des paramètres sur la dynamique



ONERA

THE FRENCH AEROSPACE LAB

cnes
CENTRE NATIONAL D'ETUDES SPATIALES

isae
Institut Supérieur de l'Aéronautique et de l'Espace

Modélisation

Donc:

- **Modélisation Structurelle « Automaticien »**
- **Paramétrisation pour CSID**
- **Facile et intuitive: positionnement des actionneurs/senseurs, localisation des substructures...**

ONERA

THE FRENCH AEROSPACE LAB



Co-Design

Notre Approche:

- Δ reflet l' influence des variations paramétriques sur la dynamique

Incertitudes:

**Analyse
Robustesse**

Paramètres de
synthèse:

Optimisation

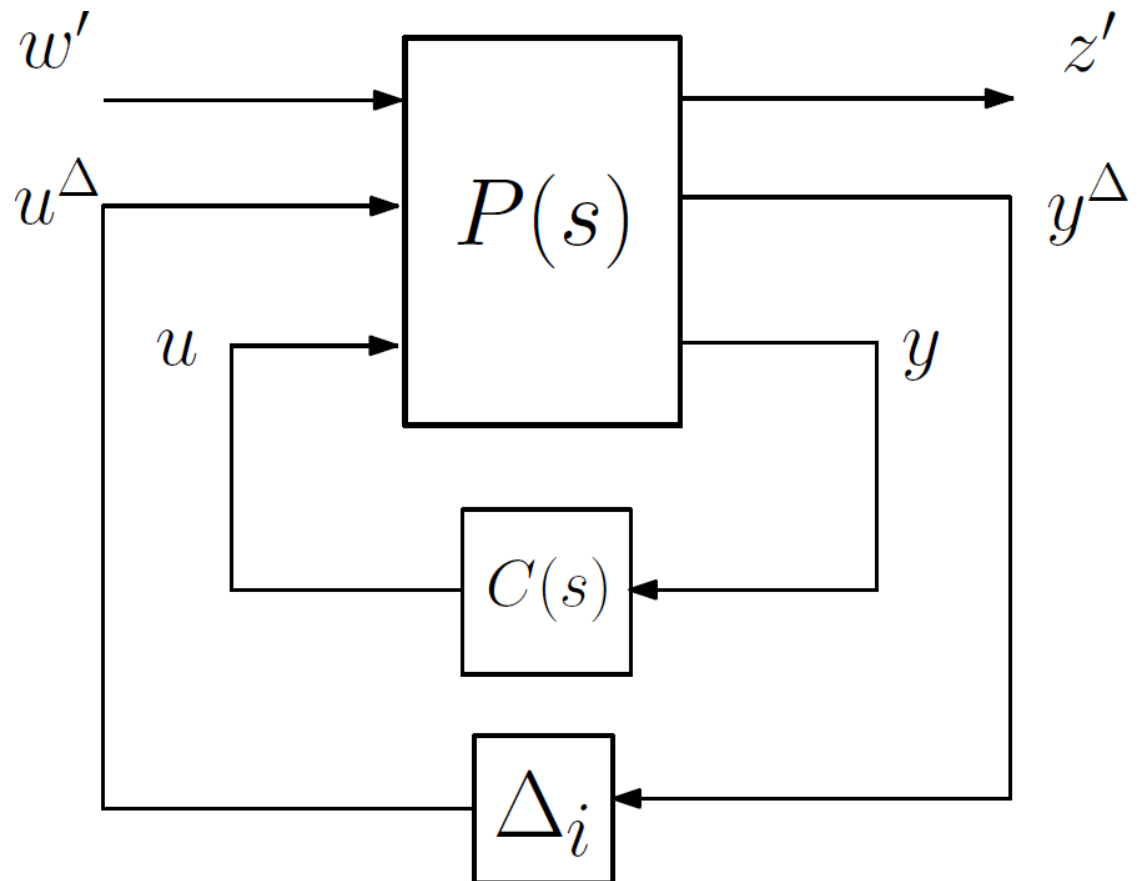
ONERA

THE FRENCH AEROSPACE LAB



Co-Design

La « variabilité » peut être optimisée:



ONERA

THE FRENCH AEROSPACE LAB

cnes
CENTRE NATIONAL D'ETUDES SPATIALES

isae
Institut Supérieur de l'Aéronautique et de l'Espace

Co-Design

Variations considérées comme un contrôleur à optimiser:

– Contrôleur *Augmenté* $K(s)$

$$K(s) = \begin{pmatrix} C(s) & 0 \\ 0 & \Delta_i \end{pmatrix}$$



Contrôleur Structuré à optimiser

Introduction

Modélisation

Co – Design

Exemple

ONERA

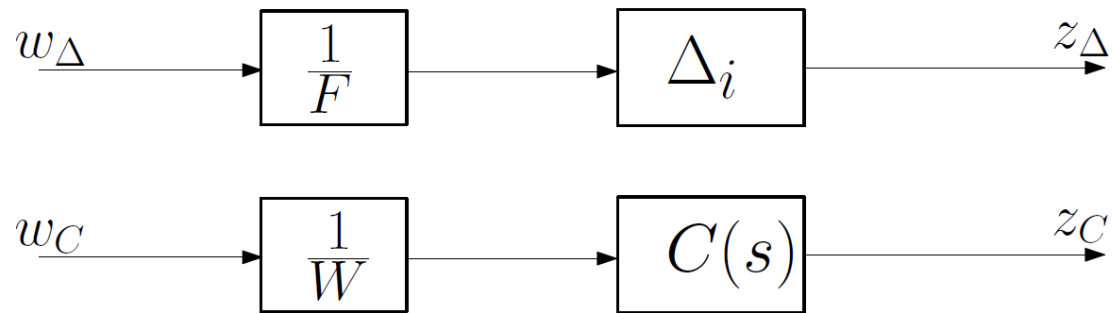
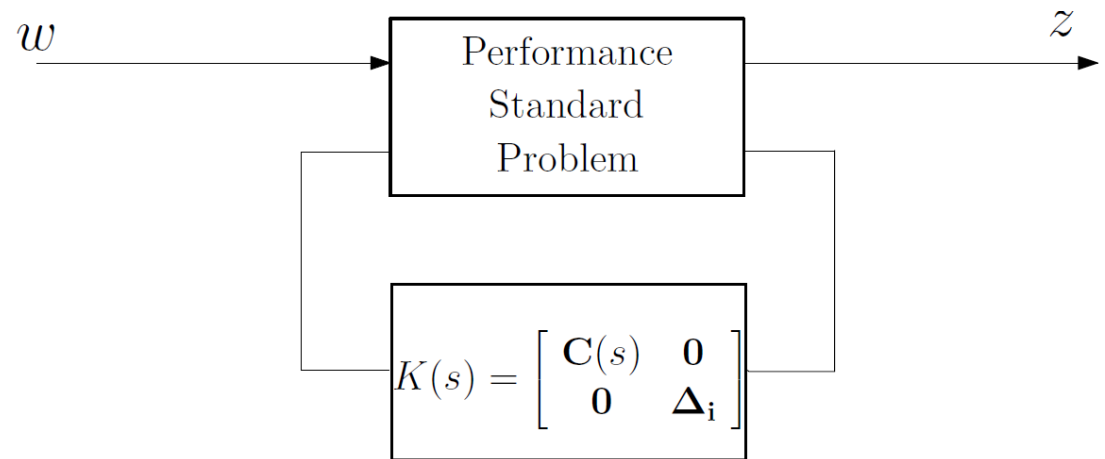
THE FRENCH AEROSPACE LAB

cnes
CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES SPATIALES

isae
Institut Supérieur de l'Aéronautique et de l'Espace

Co-Design

Synthèse multimodèle H_∞ structurée avec contraintes:



ONERA

THE FRENCH AEROSPACE LAB



Co-Design

Conditions:

$$\min_k \left\| T_{w_\Delta \rightarrow z_\Delta} \right\|_\infty$$

$$\min_k \left\| T_{w_C \rightarrow z_C} \right\|_\infty$$

SOUS:

$$\left\| T_{w \rightarrow z} \right\|_\infty \leq \gamma_{lim}$$

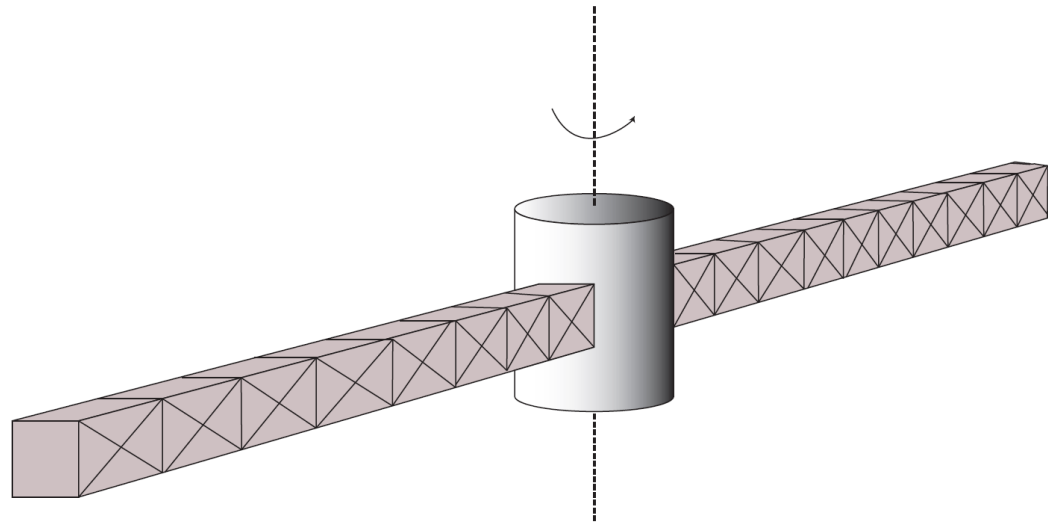
ONERA

THE FRENCH AEROSPACE LAB



Exemple Satellite Flexible

Application Satellite Flexible:



- Corps principal rigide
- Deux mâts flexibles attachés
- Objectifs: minimiser la masse avec la même performance de contrôle

ONERA

THE FRENCH AEROSPACE LAB



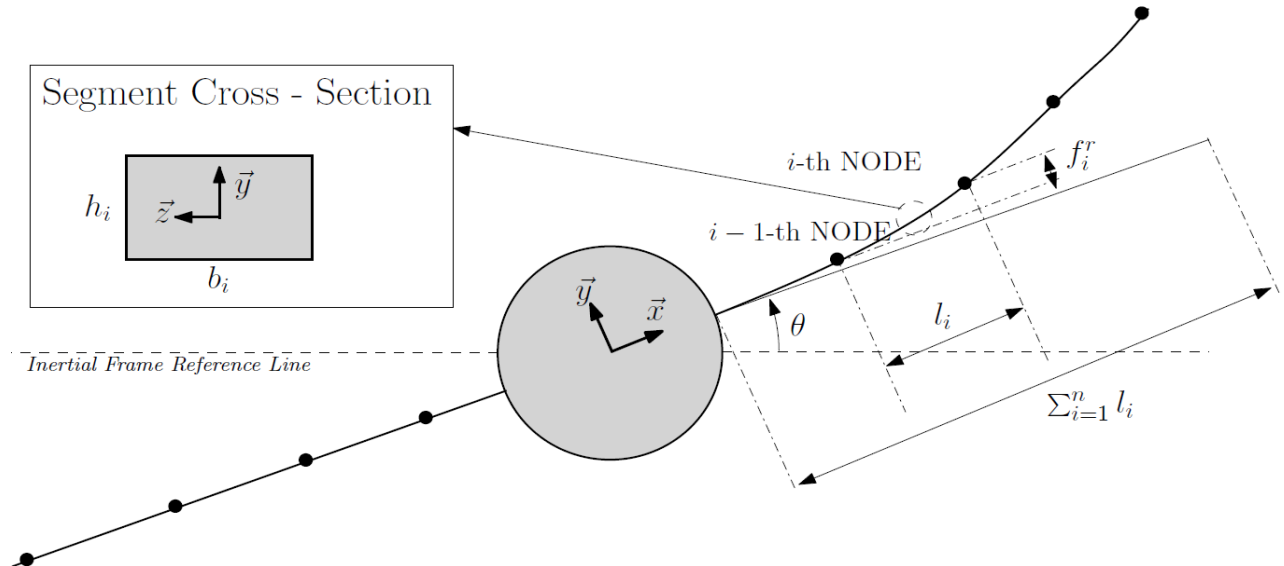
CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES SPATIALES



Institut Supérieur de l'Aéronautique et de l'Espace

Exemple Satellite Flexible

Modélisation:



- Éléments variables: largeur, longueur, hauteur
- Obtention des matrices de masse et raideur

ONERA

THE FRENCH AEROSPACE LAB



CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES SPATIALES

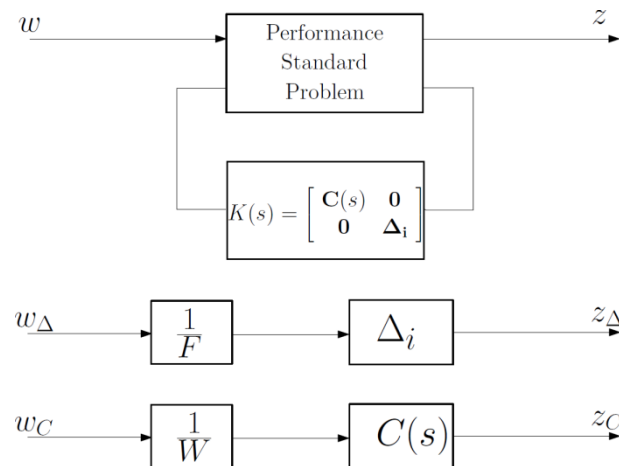


Institut Supérieur de l'Aéronautique et de l'Espace

Exemple Satellite Flexible

Optimisation avec Systune

- Minimiser la masse totale
 - Maximiser masse au bout
 - Maximiser longueur
 - Garder performance de pointage
 - Robustesse
- Soft
- Hard

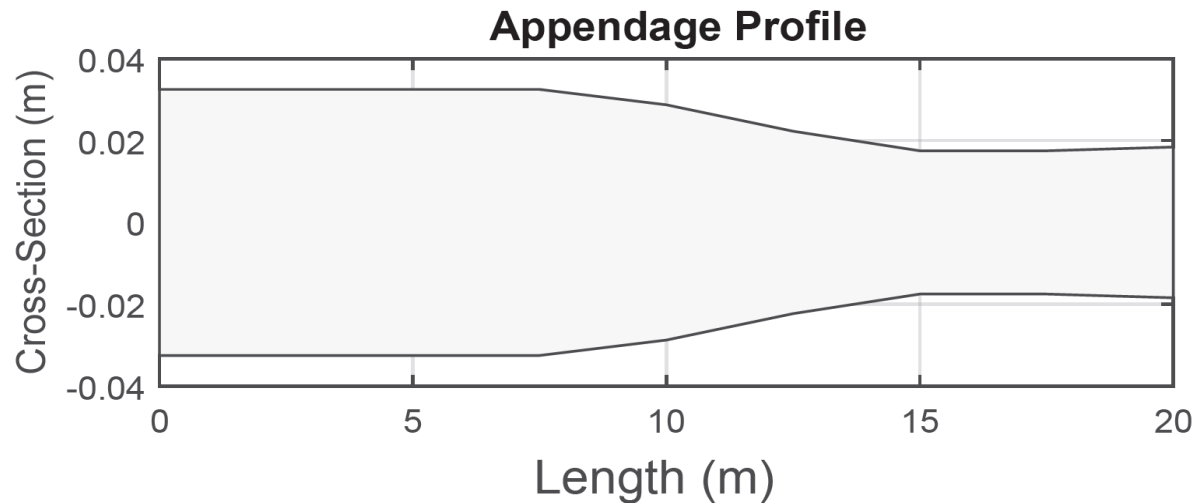


- Introduction
- Modélisation
- Co – Design
- Exemple

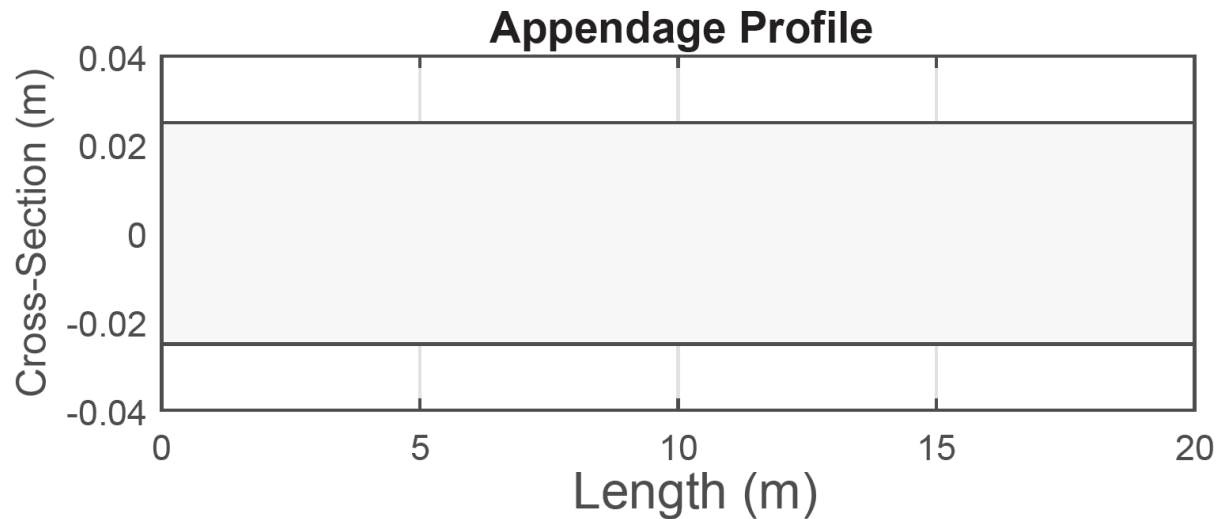


Exemple Satellite Flexible

Profil de l'appendice:



Opt



23

- Introduction
- Modélisation
- Co - Design
- Exemple**

ONERA

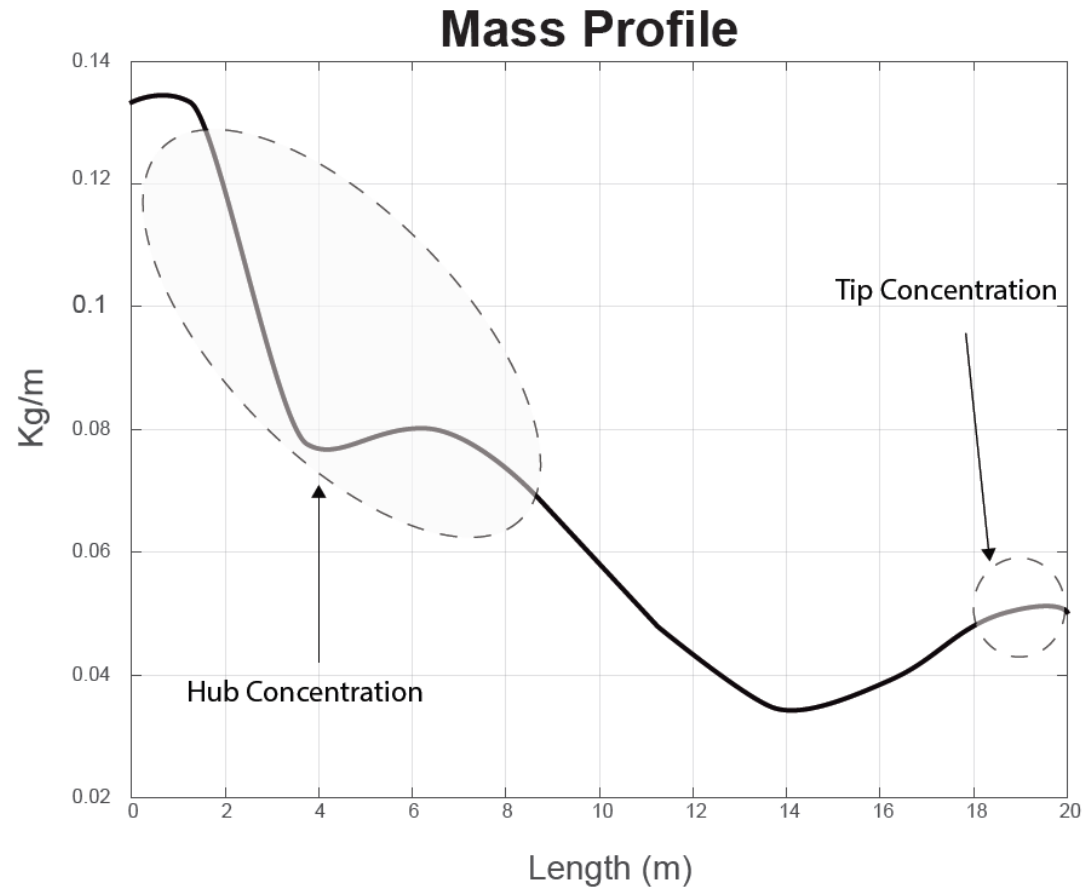
THE FRENCH AEROSPACE LAB

cnes
CENTRE NATIONAL D'ETUDES SPATIALES

isae
Institut Supérieur de l'Aéronautique et de l'Espace

Exemple Satellite Flexible

Profil de masse de l'appendice:



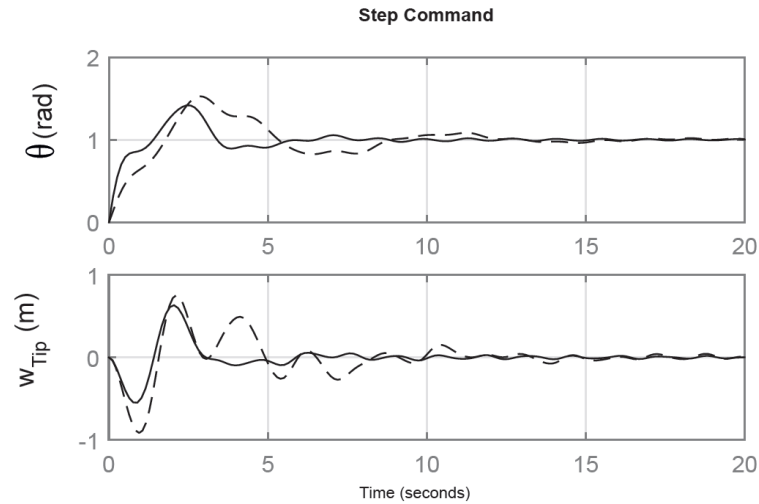
ONERA

THE FRENCH AEROSPACE LAB

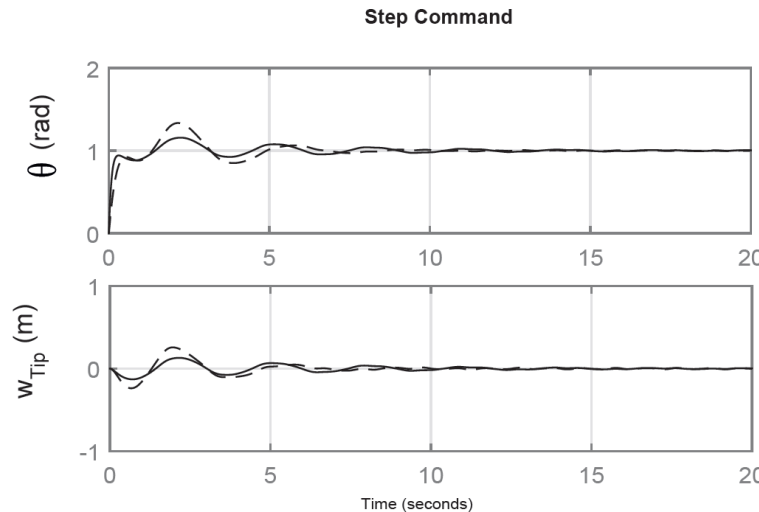


Exemple Satellite Flexible

Réponse échelon:



Opt



- Introduction
- Modélisation
- Co – Design
- Exemple



- Introduction
- Modélisation
- Co – Design
- Exemple

Exemple Satellite Flexible

Même performance avec structure optimisé pour la mission:

Case	I	II
Appendage Mass (Kg)	12.0	10.6
Appendage Length (m)	20.0	22.6
Tip Mass (Kg)	1.5	1
Total Inertia J_t (Kg/m ²)	8389.0	7637.6
f_1 (symmetric bending) (Hz)	0.34	0.35
f_2 (asymmetric bending) (Hz)	0.49	0.46

ONERA

THE FRENCH AEROSPACE LAB



- Introduction
- Modélisation
- Co – Design
- Exemple

Exemple Satellite Flexible

Résumé Avantages:

- Même contrôle, structure optimisé.
- Synthèse Multimodèle

Résumé Inconvénients:

- Bloc Δ de grande taille (800x800)

ONERA

THE FRENCH AEROSPACE LAB



Conclusion

Résultats :

- CSID possible avec H_∞ structuré ou systune.
- Approche plus général et accessible
- Modèles de substructures préconçus pour CSID

Perspectives :

- Relaxer approche structurelle pour étudier colocation actionneurs/senseurs.
- Cas 3D

ONERA

THE FRENCH AEROSPACE LAB


cnes
CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES SPATIALES


isae
Institut Supérieur de l'Aéronautique et de l'Espace

Questions?



ONERA

THE FRENCH AEROSPACE LAB



Avril 2015, GT MOSAR