

**CO**uplage de co**N**cepts pour la **S**urveillance de  
**STRUC**Tures mécaniques **InF**ormatisées

*Action Concertée Incitative*  
*SÉCURITÉ & INFORMATIQUE*

**CONSTRUCTIF**

Laurent MEVEL

22 Novembre 2005

## Plan

- **Objectif : la surveillance des structures civiles instrumentées**
- **Problématique : l'influence de la température**
- **Les apports des différentes équipes**
- **Les résultats obtenus**

## LISTE DES PARTICIPANTS

- INRIA Rocquencourt
  - Projet METALAU
  - Projet MACS
  
- IRISA Rennes : projet SIGMA2
  
- LCPC Paris, service MI
  
- ECP Chatenay-Malabry, MSSMAT

## LISTE DES PARTICIPANTS

- INRIA Rocquencourt : projet **MACS**
- IRISA Rennes : projet **SISTHEM**
- LCPC Paris, service **MI**
- ECP Chatenay-Malabry, **MSSMAT**

## Problématique

- Vieillessement des structures civiles
- Inspection de plus en plus nécessaire : compliquée, empirique
- Surveiller de grosses structures avec peu de capteurs
- Capteurs de plus en plus précis et perfectionnés
- Surveillance automatisée, embarquée et robuste
- Des structures en activité à l'extérieur (trafic, climat)

## Du Modèle mécanique à la statistique

- Capteurs mesurent  $\mathcal{Z}(s)$ ,  $\dot{\mathcal{Z}}(s)$ ,  $\ddot{\mathcal{Z}}(s)$  (position, vitesse, accélération)
- Loi fondamentale de la mécanique (masse, amortissement, raideur)

$$\mathbf{M} \ddot{\mathcal{Z}}(s) + \mathbf{C} \dot{\mathcal{Z}}(s) + \mathbf{K} \mathcal{Z}(s) = \nu(s)$$

- 2 paramétrisations caractérisent la structure mécanique
  - Éléments Finis: Les matrices  $\mathbf{M}$ ,  $\mathbf{C}$ ,  $\mathbf{K}$
  - Statistique : Les fréquences, amortissements et déformées
- Surveiller le vieillissement de la structure revient à surveiller l'évolution de ces paramètres

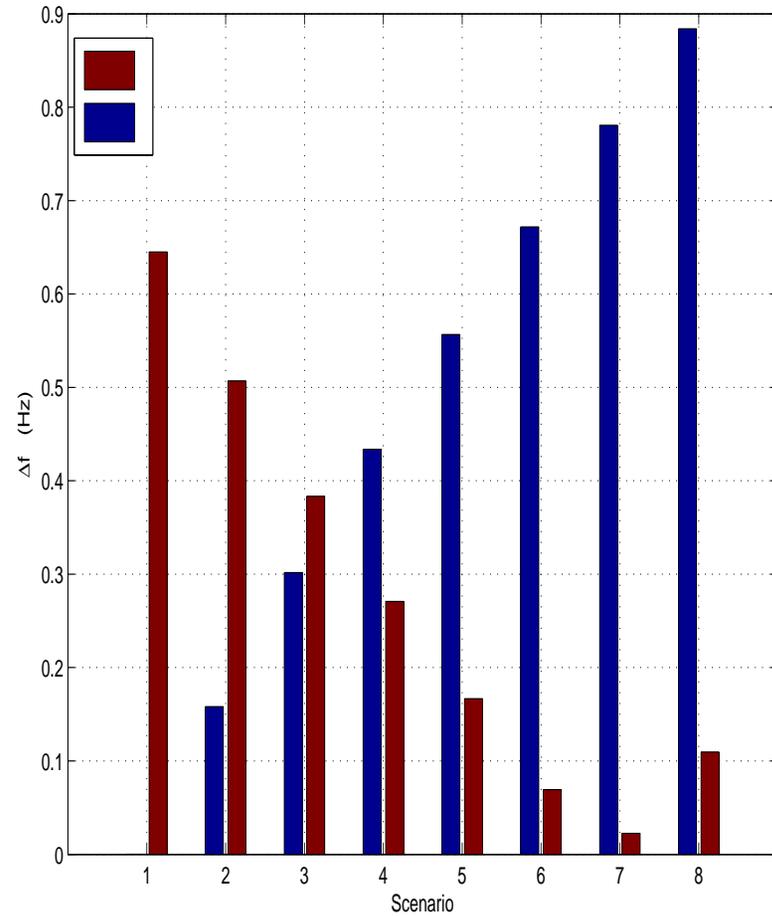
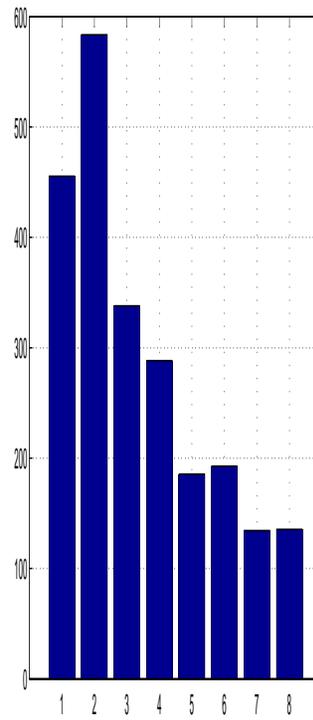
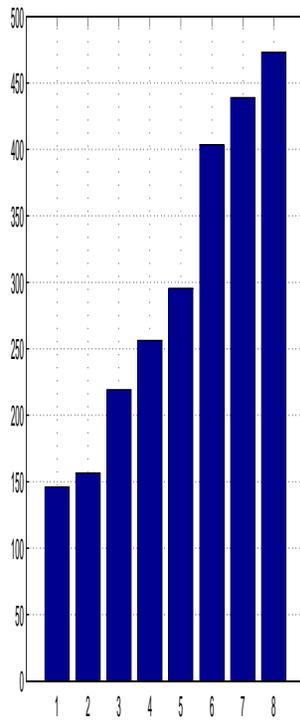
## Problématique de la surveillance : test embarqué

- Excitation ambiante : turbulence (vent, eau, trafic, ...)
- Surveillance non intrusive : surveillance embarqué
- Suivre les paramètres critiques (lesquels ?)
- Travailler avec peu de capteurs simultanément
- Robustesse aux perturbations par l'environnement extérieur

## Influence de la température sur les structures civiles

- La température ambiante peut perturber les structures
- La température ambiante peut influencer sur le vieillissement
- La température peut avoir un effet amplificateur ou opposé à l'endommagement
- Discriminer entre les effets dus à la température et ceux dus à l'endommagement

# Le problème de la température dans une approche détection



## Objectif : corriger l'effet de la température

- Nécessité de rectifier les mesures
- Faire le lien entre température et modèle
- Considérer la température comme une nuisance ??
- Développer les algorithmes

## Background scientifique

- **SISTHEM** : Algorithmes de détection
- **MACS** : Calcul aux éléments finis et méthodes numériques
- **LCPC** : Étude des contraintes thermiques, tests et validation
- **ECP** : Recalage de modèle, expérimentation modale
- **Logiciels** (OpenFEM, ModuleF, COSMAD, SDT)

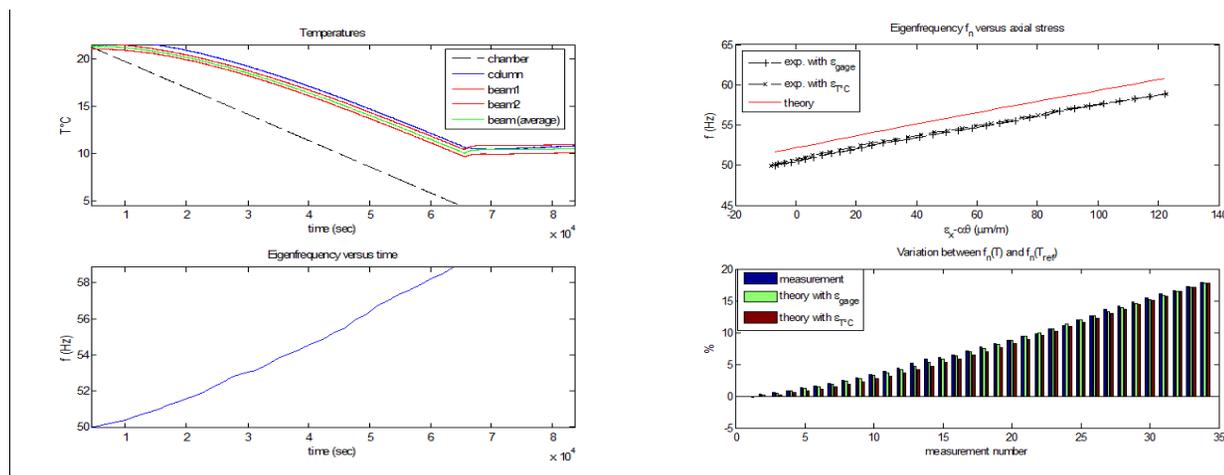
1. Positionnement optimal de capteurs
  - ECP, SISTHEM
2. Modèle de température
  - LCPC, MACS
3. Calcul aux éléments finis
  - LCPC, MACS, ECP
4. algorithmes de nuisance et integration
  - SISTHEM, ECP
5. Validation experimentale et simulations
  - LCPC, ECP, SISTHEM

## 1- Positionnement optimal des capteurs

- Trop de capteurs nuit à l'efficacité de la surveillance
- Trop de capteurs augmente les coûts
- Nécessité de placer les capteurs au mieux
- → Des critères de selection de capteurs optimums
  - ECP : Maximiser la visibilité d'un mode sur chaque capteur (calcul aux éléments finis)
  - SISTHEM : Critères statistiques pour optimiser l'observabilité des fautes

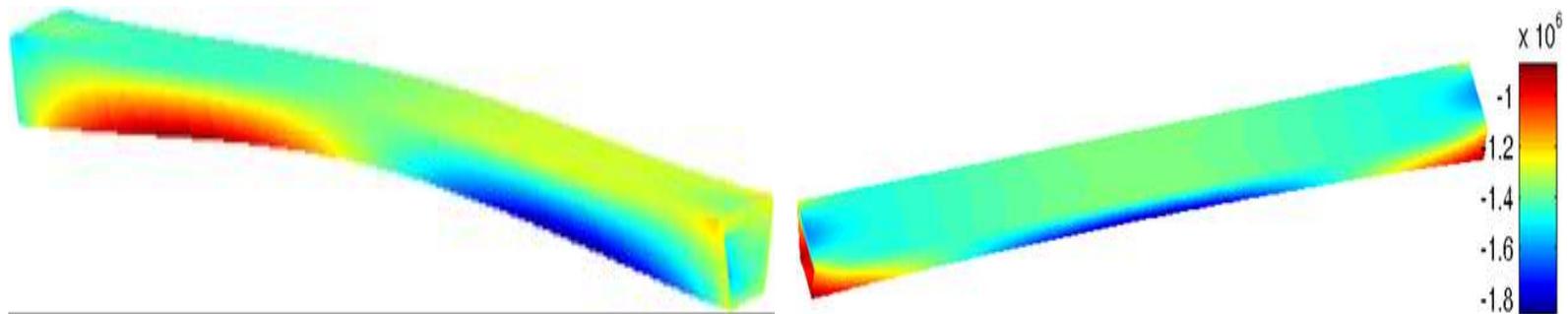
## 2- Modèle de température

- Modèles liant température et raideur (MACS, LCPC)
- Modèles de prédictions à base de jauges de déformations (LCPC)
- Reconstruction du champ 3D à partir de quelques capteurs (LCPC)



### 3- Calcul aux éléments finis

- Mise en oeuvre des modèles de température (MACS, LCPC, ECP)
- Calcul de sensibilités (MACS, SISTHEM, ECP)
- benchmarks réalistes (ECP)



## 4- Méthodes de détection robustes à la température (SISTHEM)

$$H_0(T_0) \quad : \quad K = K_0$$

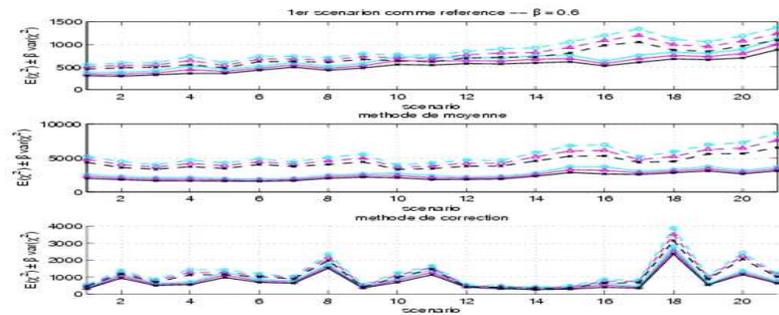
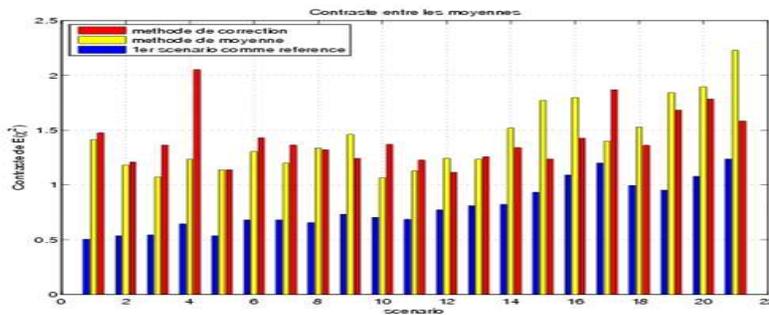
$$H_1(T_0 + \delta T) \quad : \quad K = K_0 + K_T + \delta K$$

Rejeter l'effet de la température tout en surveillant l'apparition d'endommagement

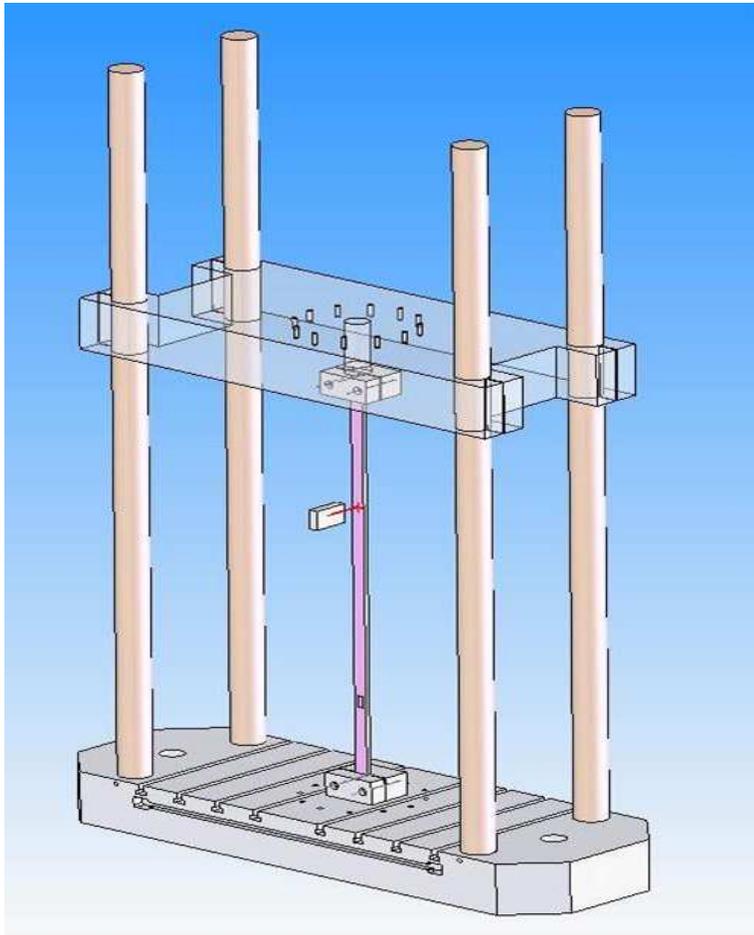
- utilisation des modèles de température (recentrage analytique)
- utilisation d'un grand nombre de jeux de données à différentes températures (profil moyen)
- utilisation des sensibilités du modèle par rapport à la température (rejet de nuisance)

## 4- Méthodes de détection robustes à la température (SISTHEM)

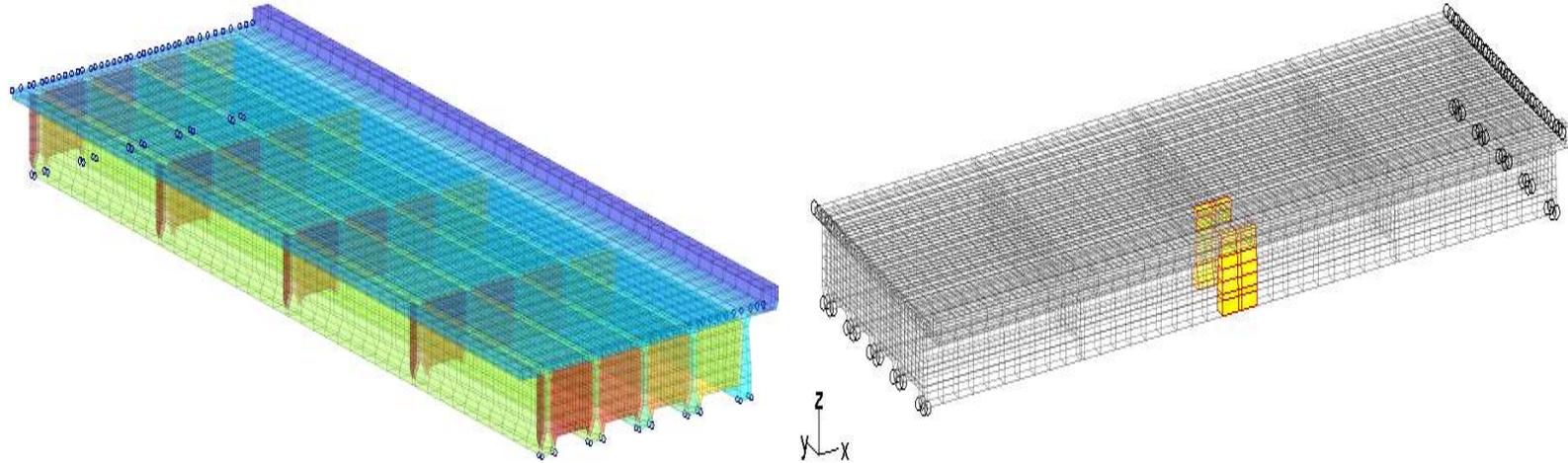
- Thèse financée par l'ACI *S&I*
- Se base sur les modèles développés dans l'ACI
- Utilise les benchmarks de l'ACI



## 5- Benchmarks experimentaux (LCPC)



## 5- Benchmarks numériques (ECP)



## Résultats scientifiques

- Paramétrisation optimale
- Critères de positionnement des capteurs
- Modélisation de l'effet de température
- Amélioration des calculs aux éléments finis
- Développement d'algorithmes de test avec réjection
- Mise en œuvre et intégration logicielle

## Conclusion

- Une collaboration inter disciplinaire
- Une méthodologie de test de A à Z
- Une collaboration amenée à se poursuivre