

8^{èmes} Journées
Fiabilité des
MATÉRIAUX & DES STRUCTURES
Aix-en-Provence,
9 et 10 avril 2014



ECOSYSTEMES CONTINENTaux
ECCOREV
DES RISQUES ENVIRONNEMENTaux



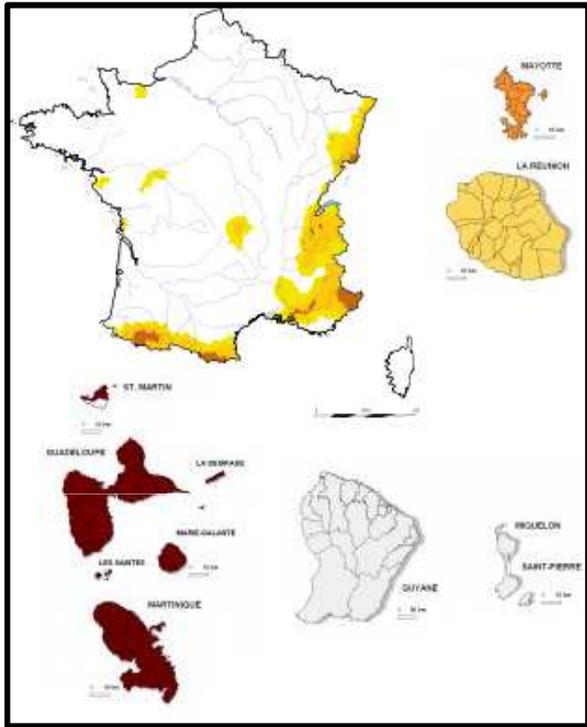
Analyse probabiliste de structures en dimension stochastique élevée : application aux toitures bois sous sollicitation sismique

H. Riahi – Ph. Bressolette – A. Chateauneuf

Clermont Université, Université Blaise Pascal
Institut Pascal, BP 10448, 63000 Clermont-Ferrand, France
CNRS, UMR 6602, Institut Pascal, 63171 Aubière, France



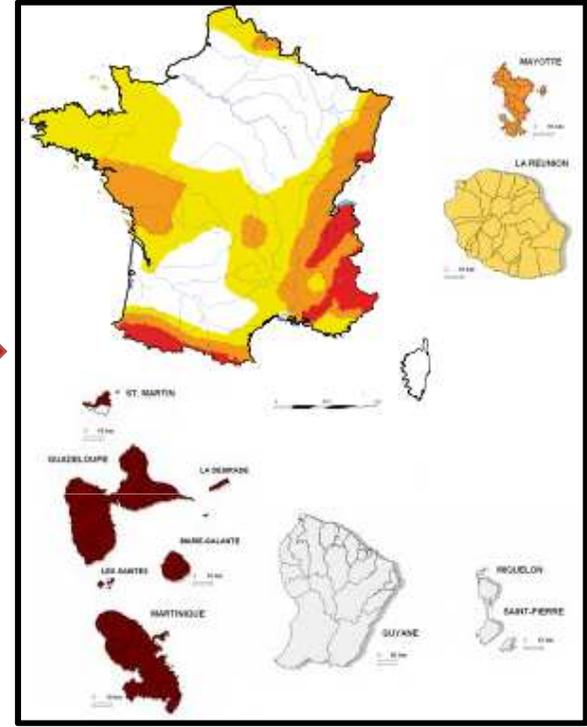
Accroissement du risque sismique de 20% à 60%



Zonage sismique 1991

Zone	Niveau d'aléa
1	Très faible
2	Faible
3	Modéré
4	Moyen
5	Fort

Conséquences/Enjeux



Zonage sismique 2011



humains

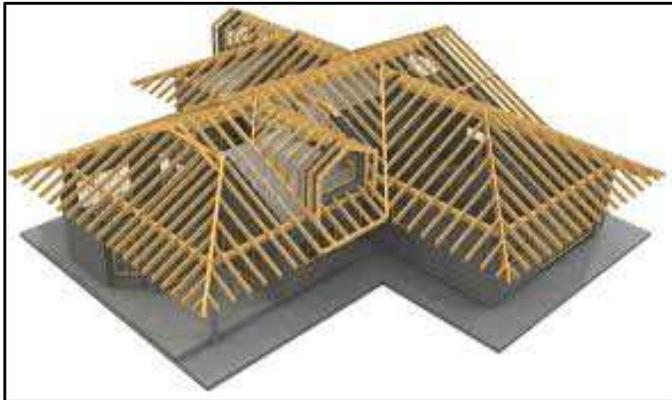
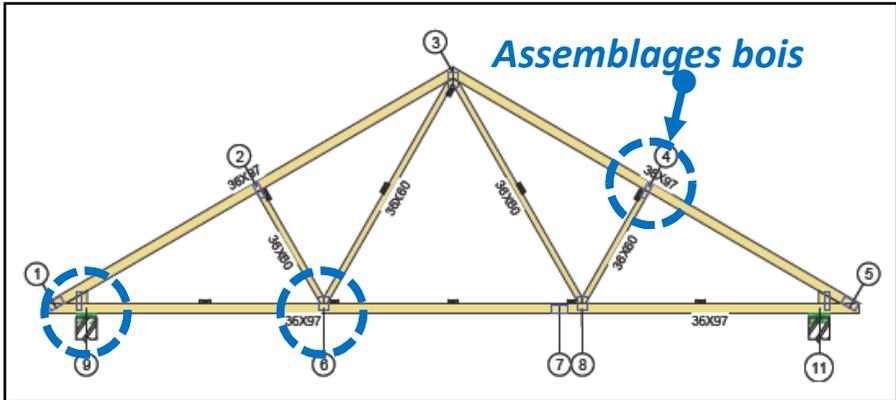


économiques



environnementaux

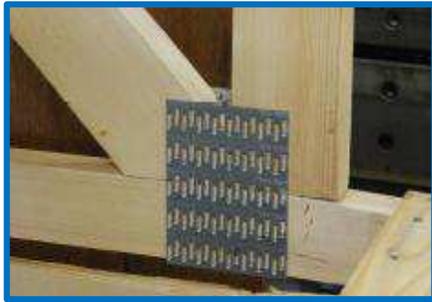
Accroissement de l'utilisation des structures en bois



Conception



Boulons



Plaque à dents



Clous



Equerre

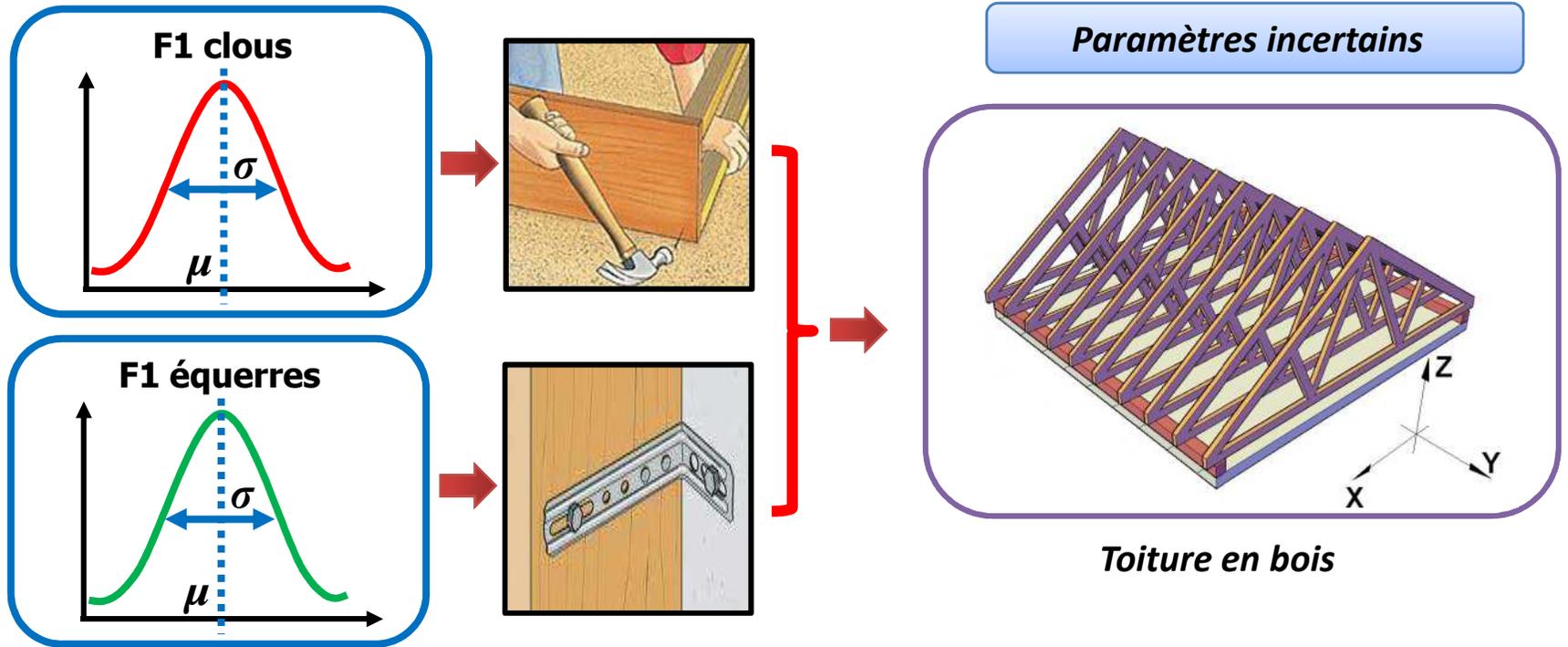
Avantages

- Ressource naturelle
- Qualités esthétiques
- Construction facile
- Dissipation d'énergie
- Comportement mécanique

Difficultés

- Modélisation complexe
 - plastification
 - anisotropie
- Forte dispersion

Problématique

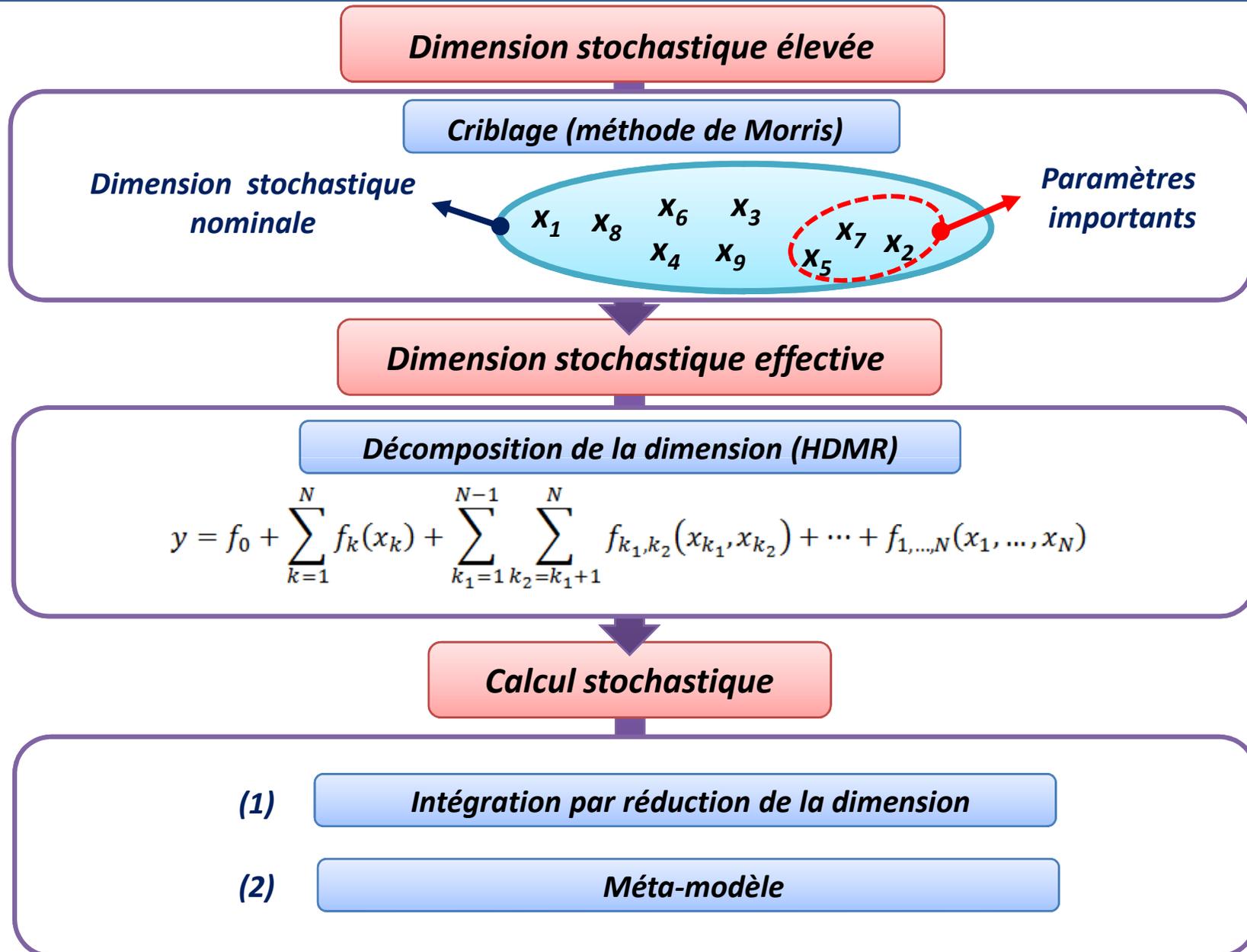


<i>Organe de liaison</i>	<i>Type liaison</i>	<i>Nombre</i>	<i>Modélisation</i>
Clous 31/90	AFA	38	1 liaison ← 1 v.a.
	ADA	6	1 liaison ← 1 v.a.
	CVS	48	1 liaison ← 1 v.a.
Clous 28/70	Liteau	680	680 liaisons ← 1 v.a.
	Lisses	268	268 liaisons ← 1 v.a.
<i>Equerres</i>	-	40	1 liaison ← 1 v.a.

Dimension stochastique élevée

Total VA = 134

Méthodologie



Sommaire

Introduction

I. Problème de la dimension stochastique élevée

1. *Identification de la dimension effective*
2. *Décomposition de la dimension*

II. Application aux structures à ossature bois

1. *Calcul du PGA de défaillance*
2. *Evaluation de l'intégrité d'une toiture*

Conclusions et perspectives

I.1

Identification de la dimension effective

Méthode de Morris

Effet Élémentaire

$$EE_i = \frac{f(\mathbf{x} + \epsilon \Delta \mathbf{e}_i) - f(\mathbf{x})}{\epsilon \Delta}$$

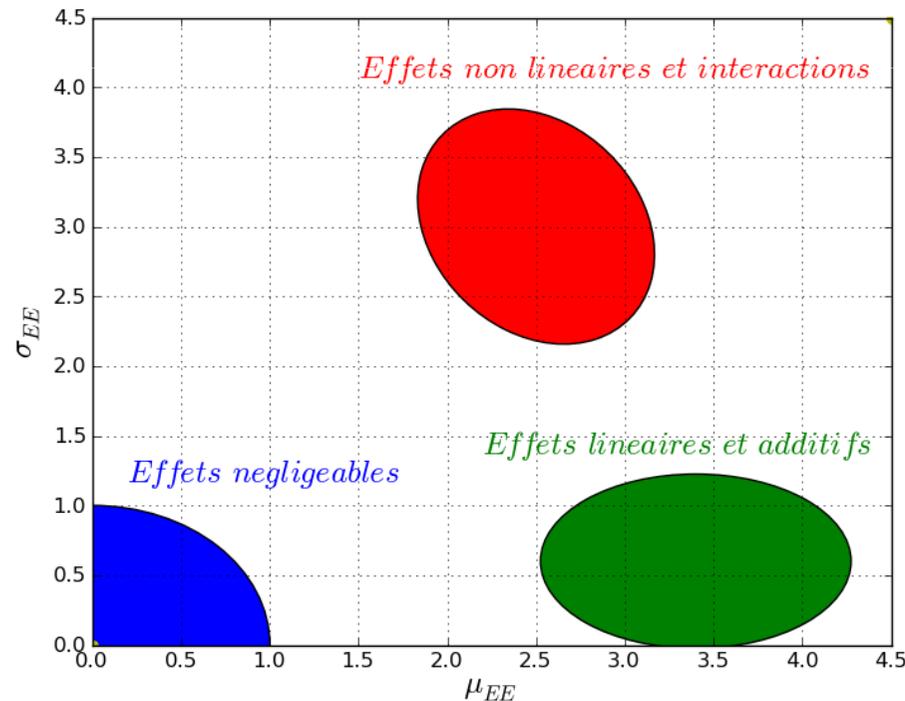
Moyenne de EE

$$\mu_i = \frac{1}{N_d} \sum_{j=1}^{N_d} EE_i^j$$

Ecart-type de EE

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{1}{N_d} \sum_{j=1}^{N_d} (EE_i^j - \mu_i)^2}$$

Hiérarchisation des paramètres



Coût du calcul

- Nombre de trajectoires : N_d
- Nombre de calculs : $N_d \times (N+1)$

Interprétation

- $\mu_i \simeq 0$ \Rightarrow pas d'effet
- $\sigma_i \simeq 0$ \Rightarrow pas d'effet d'interaction
- $\sigma_i \gg 0$ \Rightarrow effet d'interaction ou non linéarité

1.2

Décomposition de la dimension

• Modèle mathématique

$$\Omega = [0,1]^N \rightarrow \mathbb{R}$$

$$\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_N) \mapsto y = f(\mathbf{x})$$

• Représentation de $f(\mathbf{x})$ par décomposition de la dimension (HDMR)

$$\tilde{y} = f_0 + \sum_{k=1}^N f_k(x_k) + \sum_{k_1=1}^{N-1} \sum_{k_2=k_1+1}^N f_{k_1, k_2}(x_{k_1}, x_{k_2}) + \dots + f_{1, \dots, N}(x_1, \dots, x_N)$$

constante *fonction unidimensionnelle* *fonction bidimensionnelle*

• Construction des termes de la décomposition

-Point de référence : $\mathbf{x}^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_N^*) \rightarrow f_0 = f(\mathbf{x}^*)$

-fonction unidimensionnelle : $f_k(x_k) = f(x_k, \mathbf{x}_{\sim k}^*) - f_0$

-Approximation unidimensionnelle : $\tilde{y}_1 = \sum_{k=1}^N f_k(x_k^*, x_k) - (N-1)f(\mathbf{x}^*)$

fonction de forme

I.2

Décomposition de la dimension

• Calcul des moments statistiques

$$m_Y^l = \mathbb{E}[Y^l(\mathbf{X})] = \int_{\mathbb{R}^N} y^l p_X(\mathbf{x}) d\mathbf{x}$$

Densité jointe de X

Approximation s-dimensionnelle

$$\tilde{y}_s = \sum_{i=0}^s (-1)^i C_{N-s+i-1}^i \sum_{k_1=1}^{N-s+i+1} \dots \sum_{k_{s-i}=k_{s-i-1}+1}^N f_{k_1, \dots, k_{s-i}}(x_{k_1}, x_{k_2}, \dots, x_{k_{s-i}})$$

Intégration par réduction d'ordre s

$$m_Y^l \cong \sum_{i=0}^s (-1)^i C_{N-s+i-1}^i \sum_{k_1=1}^{N-s+i+1} \dots \sum_{k_{s-i}=k_{s-i-1}+1}^N \mathbb{E}[\tilde{f}^l(\mathbf{u}_{k_1, k_2, \dots, k_{s-i}})]$$

Intégrale d'ordre (s-i)

$$\mathbb{E}[\tilde{f}^l(\mathbf{u}_{k_1, k_2, \dots, k_{s-i}})] = \int_{\mathbb{R}^{s-i}} \tilde{f}^l(\mathbf{u}_{k_1, k_2, \dots, k_{s-i}}) \phi(\mathbf{u}_{k_1, k_2, \dots, k_{s-i}}) du_{k_1} \dots du_{k_{s-i}}$$

Densité jointe Gaussienne

Sommaire

Introduction

I. Problème de la dimension stochastique élevée

1. *Identification de la dimension effective*
2. *Décomposition de la dimension*

II. Application aux structures à ossature bois

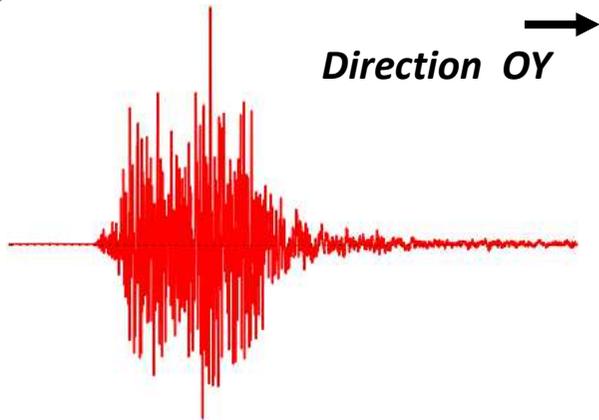
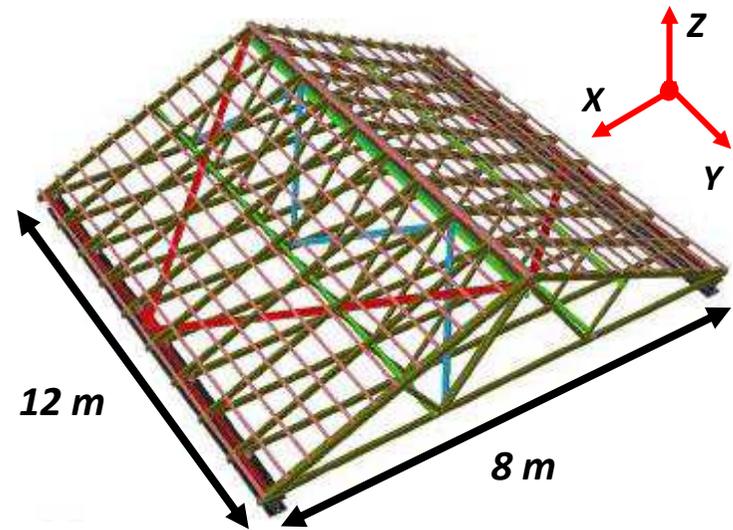
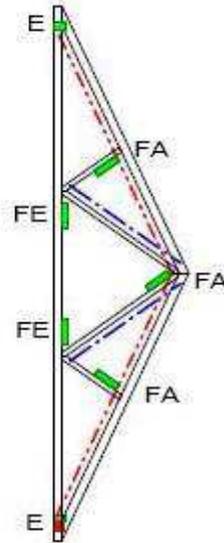
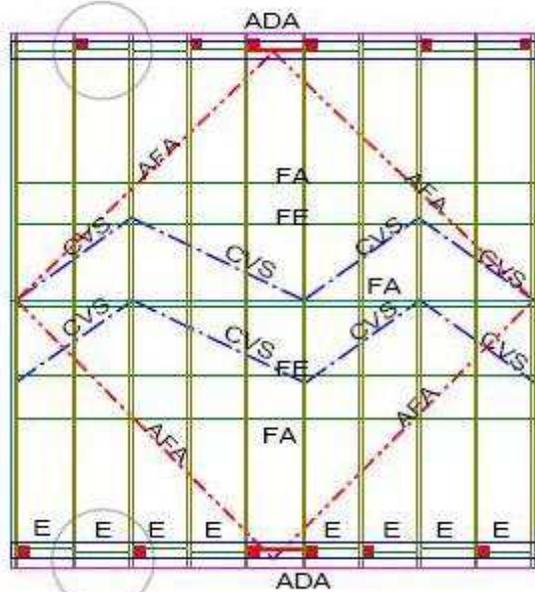
1. *Calcul du PGA de défaillance*
2. *Evaluation de l'intégrité d'une toiture*

Conclusions et perspectives

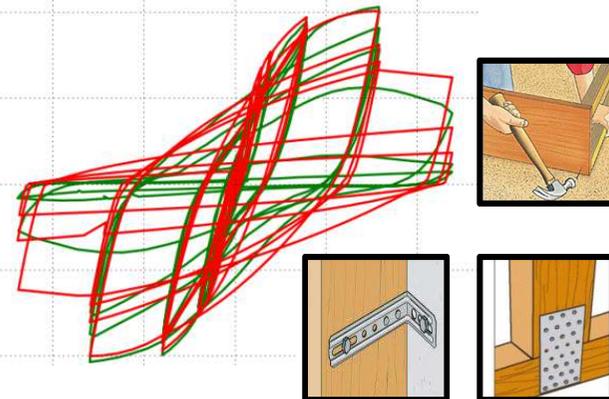
II.1.

Calcul du PGA de défaillance

Géométrie de la toiture



Action sismique



Modèle d'assemblages

II.1.

Calcul du PGA de défaillance

Endommagement assemblage i

$$d_i = 1 + d_c \left[\max \left(\frac{u_{max}^+}{d_u^+}, \frac{u_{max}^-}{d_u^-} \right) - 1 \right]$$

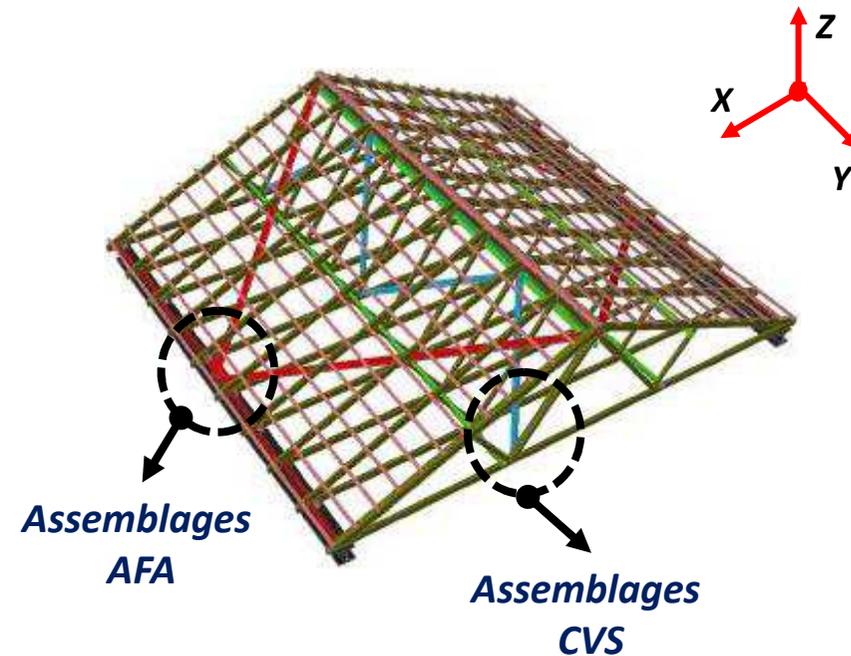
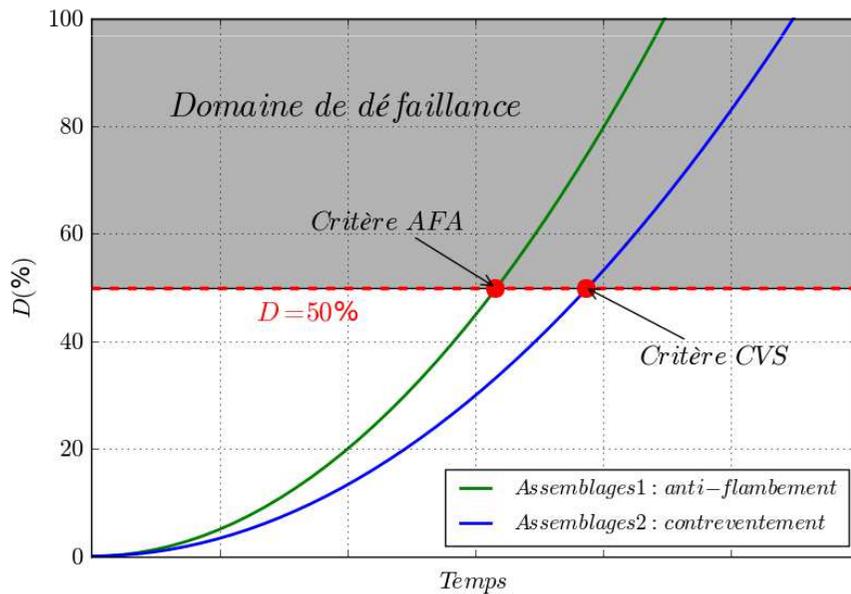
Endommagement cyclique

déplacement

Groupe de n assemblages

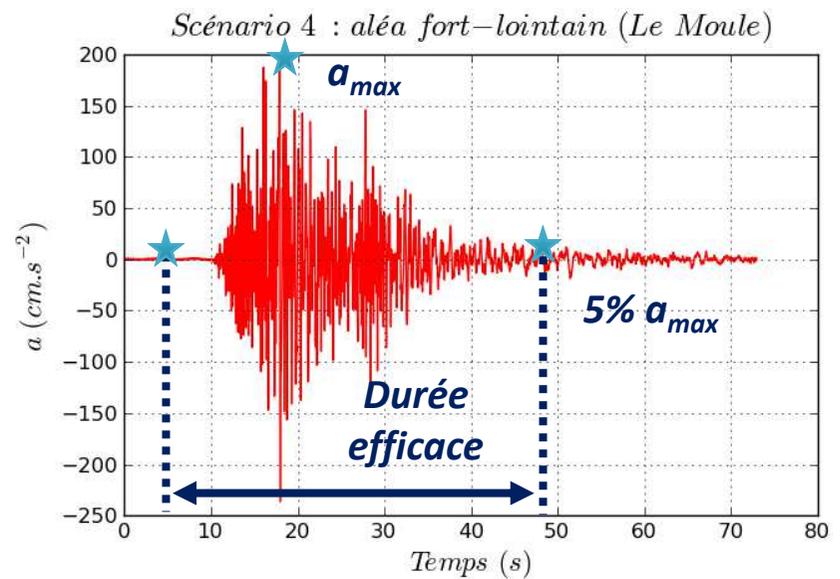
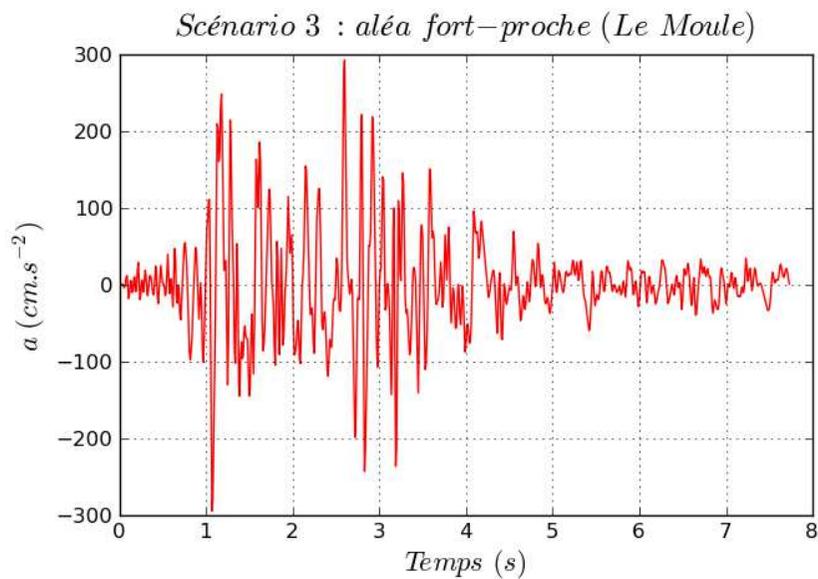
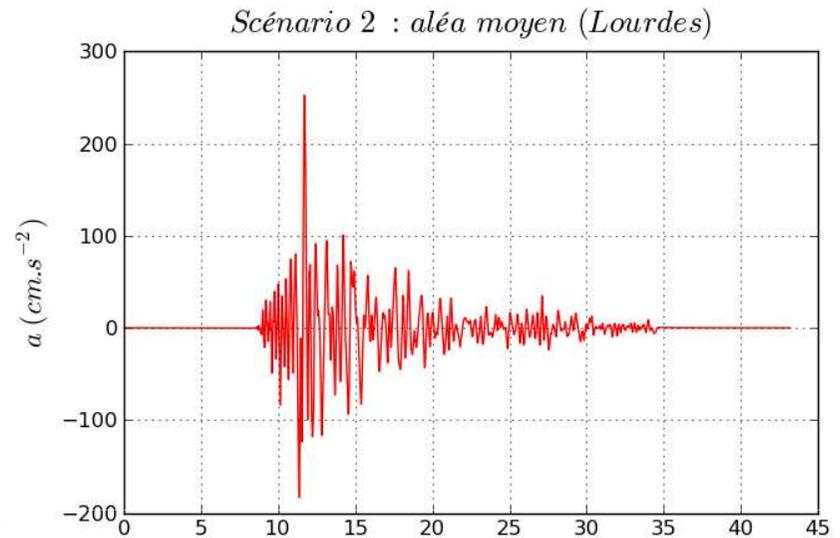
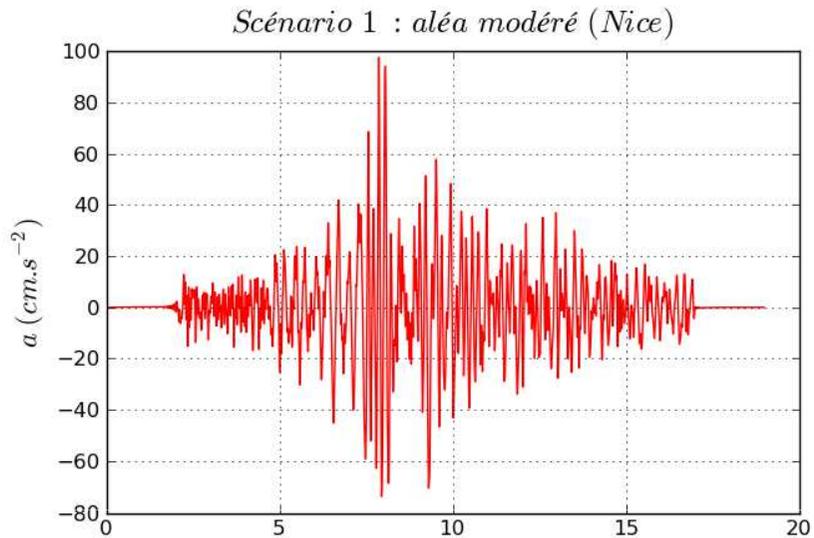
$$D = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i$$

Réponses mécaniques



II.1.

Calcul du PGA de défaillance



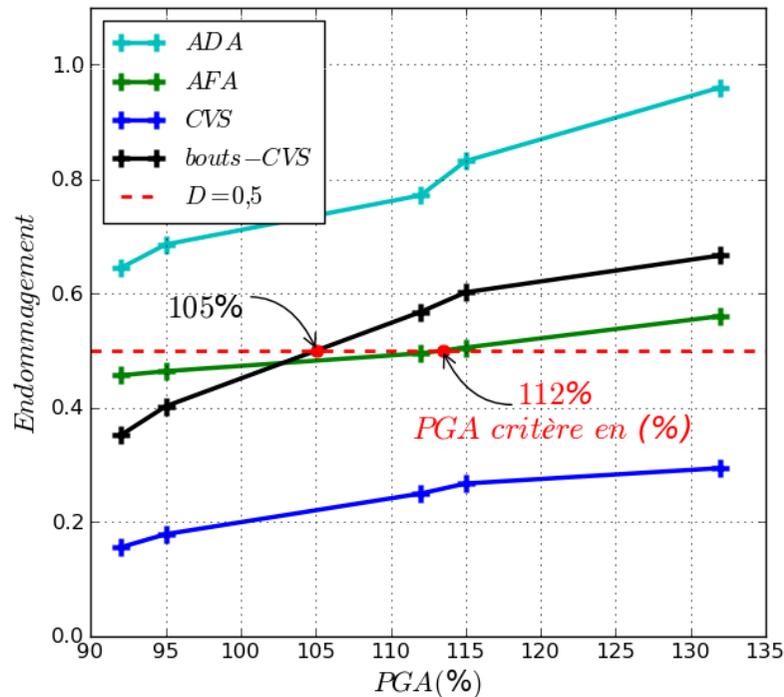
II.1.

Calcul du PGA de défaillance

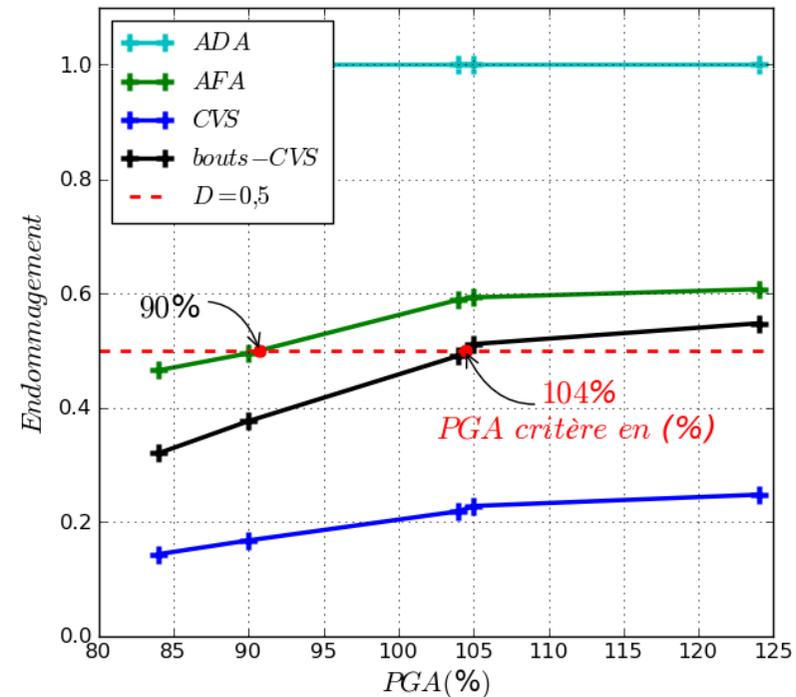
PGA de défaillance

Séisme	1	2	3	4	5	6	7	8
Sol	B	C	C	C	D	A	B	B
Durée efficace (s)	[10,41]	[10,52]	[15,60]	[14,70]	[17,106]	[15,68]	[14,70]	[15,75]
Amplification	106%	111%	166%	147%	135%	220%	112%	104%
PGA critère	6,56	6,82	9,81	9,11	8,14	14,56	8,13	6,74

Séisme 7 (Sol B)



Séisme 8 (Sol B)



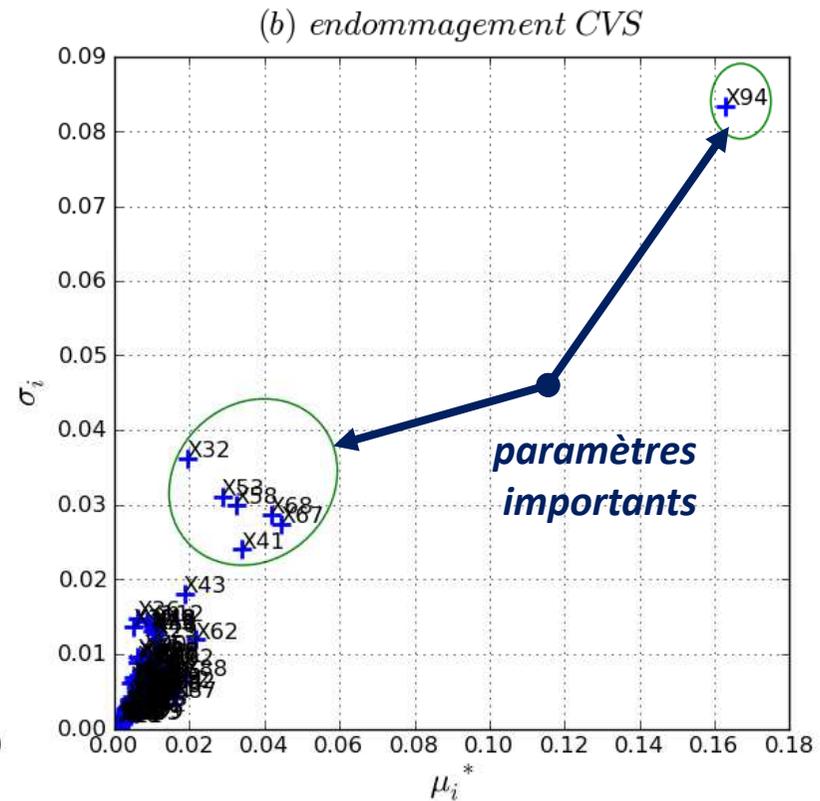
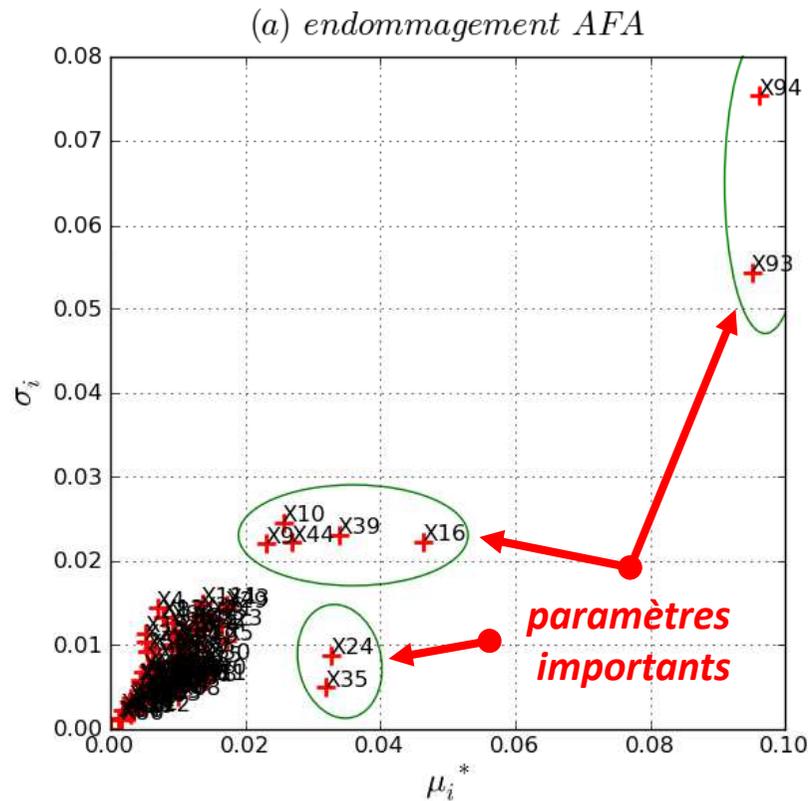
II.2.

Evaluation de l'intégrité d'une toiture

Calcul de la dimension effective

Nombre de trajectoires : $R = 6$
Nombre de v.a. : $N = 134$
Nombre d'appels au MEF : $M = 6 \times (134 + 1) = 810$

← **Méthode de Morris**



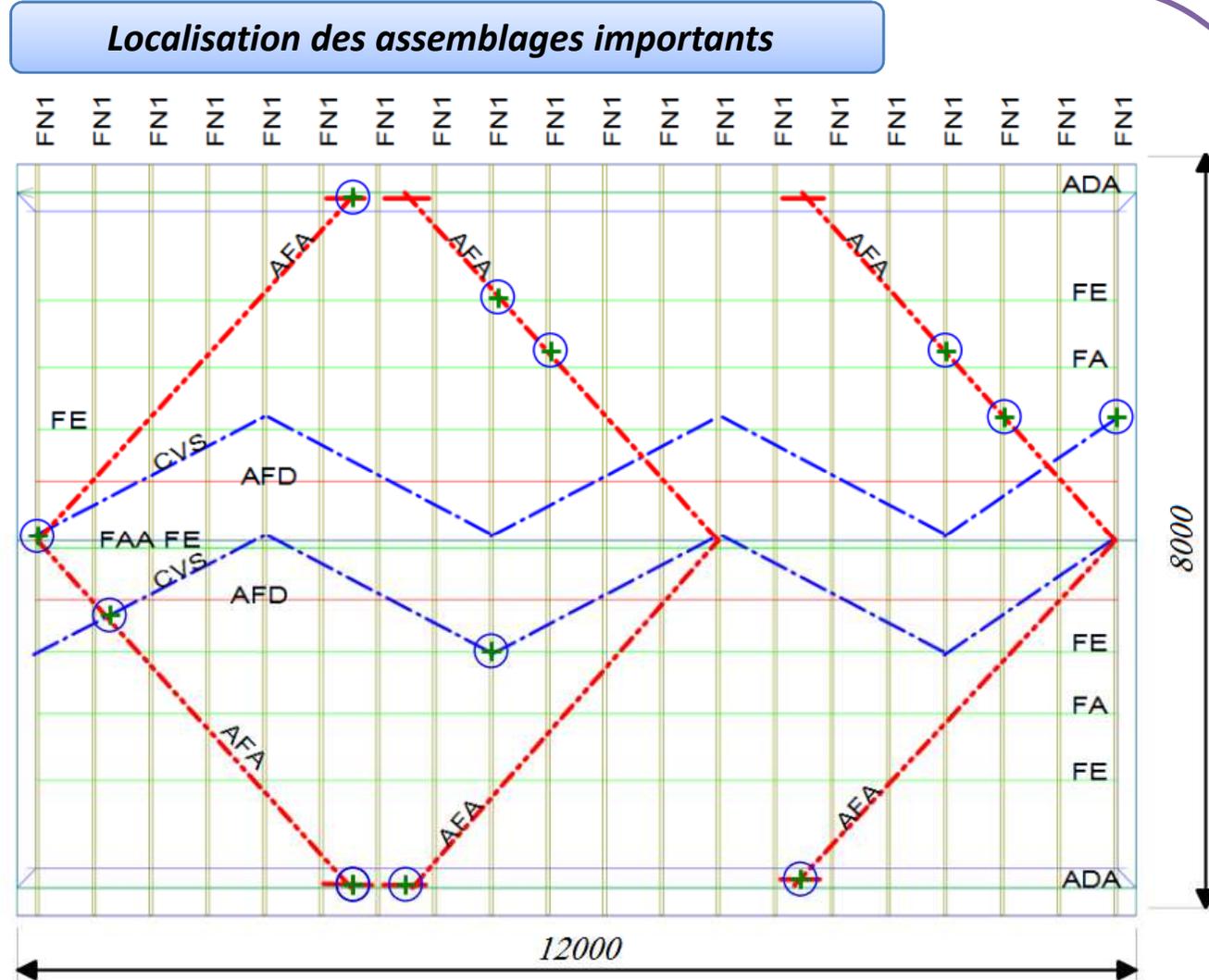
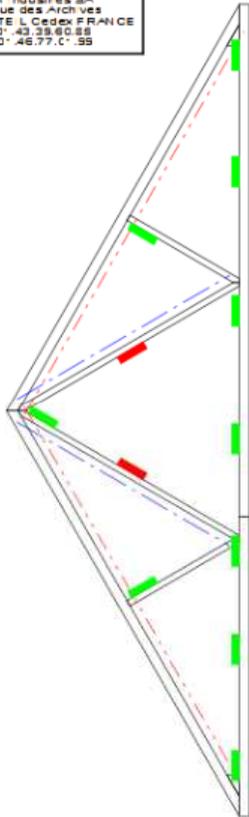
134 v.a.



15 v.a.

II.2.

Evaluation de l'intégrité d'une toiture



134 v.a.



15 v.a.

II.2.

Evaluation de l'intégrité d'une toiture

Méthode de décomposition

Ordre de la décomposition : $s = 1$
Ordre de la quadrature de Gauss-Hermite : $n = 5$
Nombre de v.a. : $N = 15$
Nombre d'appels au MEF : $M = 76$

Moments statistiques

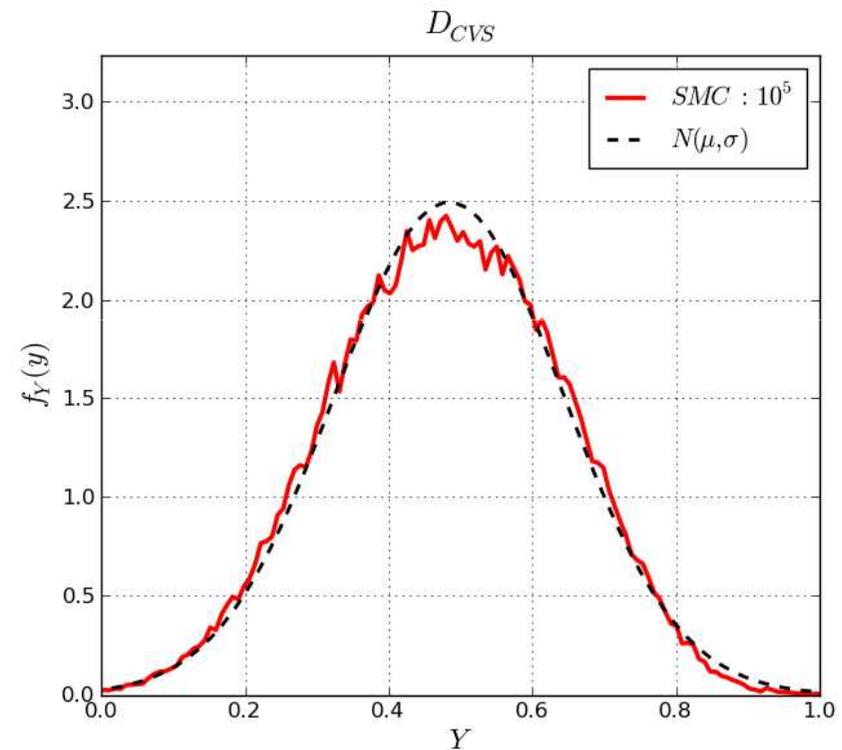
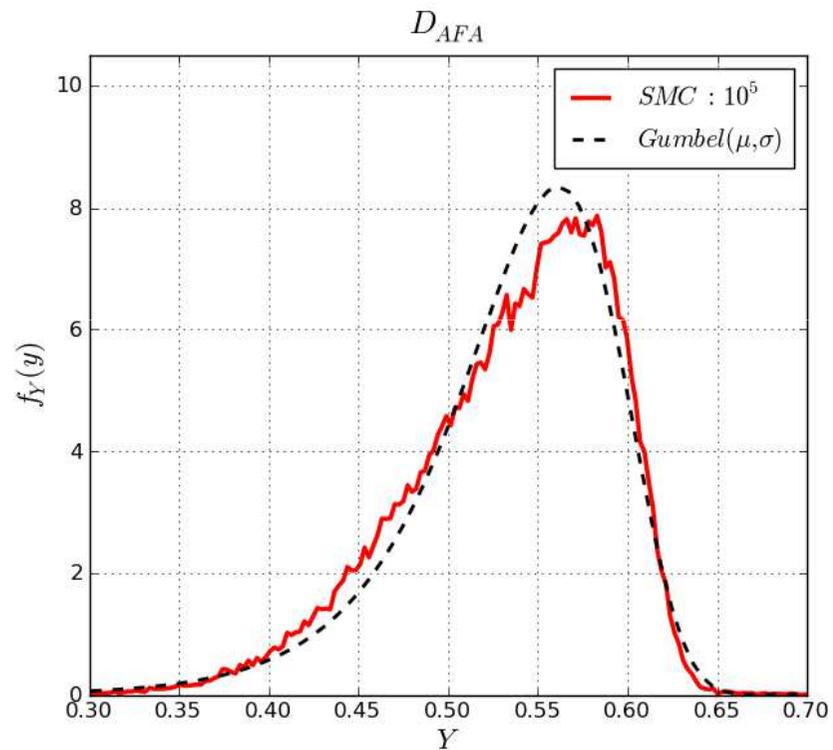
<i>Séisme</i>	<i>1</i>		<i>2</i>		<i>3</i>		<i>4</i>	
<i>Critère</i>	<i>AFA</i>	<i>b-CVS</i>	<i>AFA</i>	<i>b-CVS</i>	<i>AFA</i>	<i>b-CVS</i>	<i>AFA</i>	<i>b-CVS</i>
μ_Y	0,525	0,477	0,474	0,381	0,674	0,478	0,542	0,498
σ_Y	0,044	0,191	0,020	0,053	0,023	0,091	0,022	0,097
<i>CV (%)</i>	8,4	40	4,2	14	3,4	19	4	19,5
<i>Séisme</i>	<i>5</i>		<i>6</i>		<i>7</i>		<i>8</i>	
<i>Critère</i>	<i>AFA</i>	<i>b-CVS</i>	<i>AFA</i>	<i>b-CVS</i>	<i>AFA</i>	<i>b-CVS</i>	<i>AFA</i>	<i>b-CVS</i>
μ_Y	0,556	0,585	0,495	0,709	0,501	0,597	0,536	0,484
σ_Y	0,033	0,129	0,030	0,106	0,016	0,084	0,056	0,159
<i>CV (%)</i>	6	22	6	15	2,7	14,1	10,5	32,8

II.2.

Evaluation de l'intégrité d'une toiture

Densité de probabilité des indicateurs d'endommagement

Séisme 8

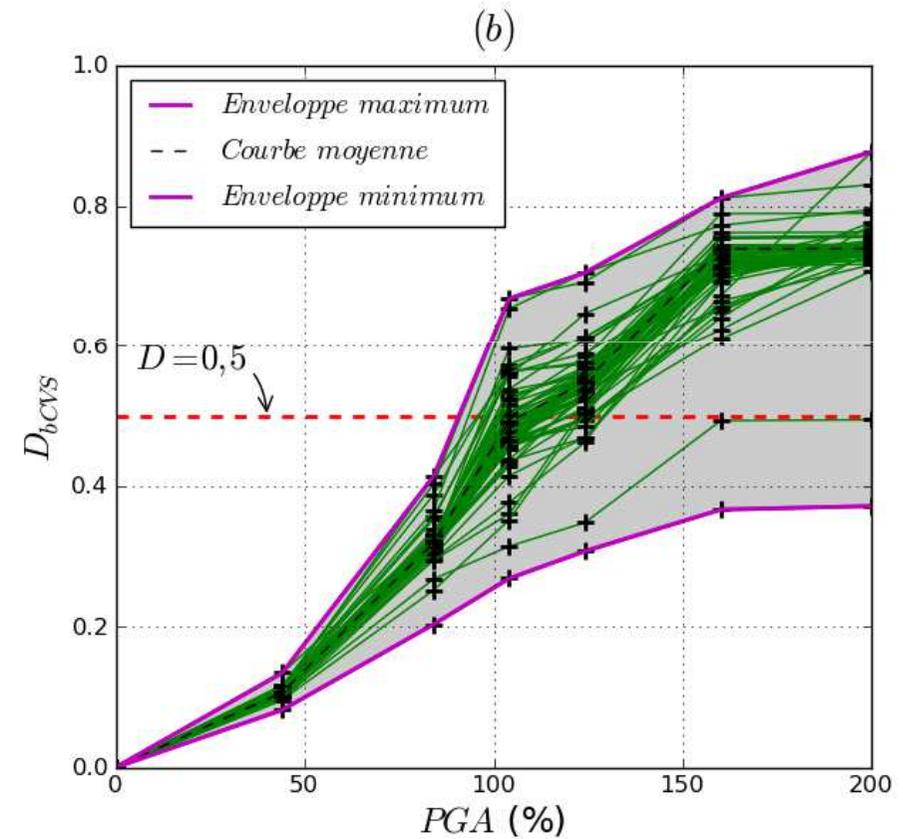
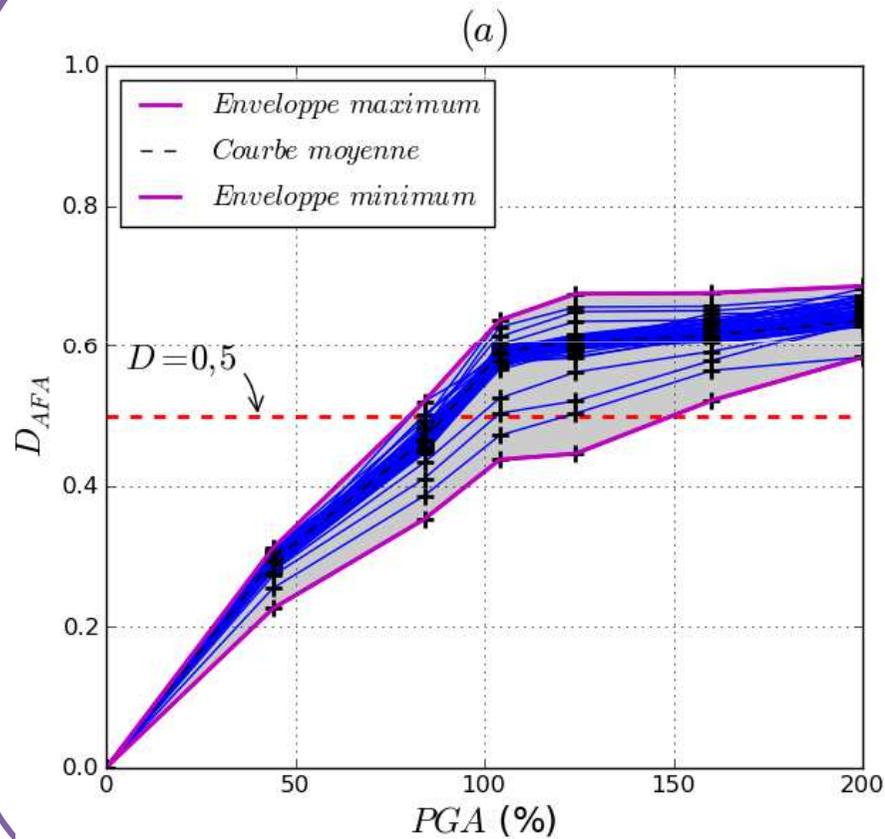


II.2.

Evaluation de l'intégrité d'une toiture

Courbes probabilistes d'endommagement

Séisme 8



Conclusions et perspectives

1. Identification des paramètres les plus significatifs

134 v.a.  **15 v.a.**

2. Caractérisation de l'aléa de l'endommagement

3. Aléa significatif pour les signaux les plus nocifs

4. Informations supplémentaires pour la conception

1. Amélioration de l'approche

2. Projet SISBAT

- *Etude d'autres scénarios sismiques*

- *Toitures à combles habitables*

8^{èmes} Journées
Fiabilité des
MATÉRIAUX & DES STRUCTURES
Aix-en-Provence,
9 et 10 avril 2014



ECOSYSTEMES CONTINENTaux
ECCOREV
DES RISQUES ENVIRONNEMENTaux



Analyse probabiliste de structures en dimension stochastique élevée : application aux toitures bois sous sollicitation sismique

H. Riahi – Ph. Bressolette – A. Chateauneuf

Clermont Université, Université Blaise Pascal
Institut Pascal, BP 10448, 63000 Clermont-Ferrand, France
CNRS, UMR 6602, Institut Pascal, 63171 Aubière, France

