

**Contribution  
à l'évaluation de la vulnérabilité sismique des bâtiments  
par modélisation physique en macrogravité  
des interactions sol-structure**

**Jean-Louis CHAZELAS\***, Kazuma Nishida\*\*, Sandra Escoffier\*

*\*Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Centre de Nantes*

*\*\* Université de Kyoto DPRI*

**Plan de présentation**

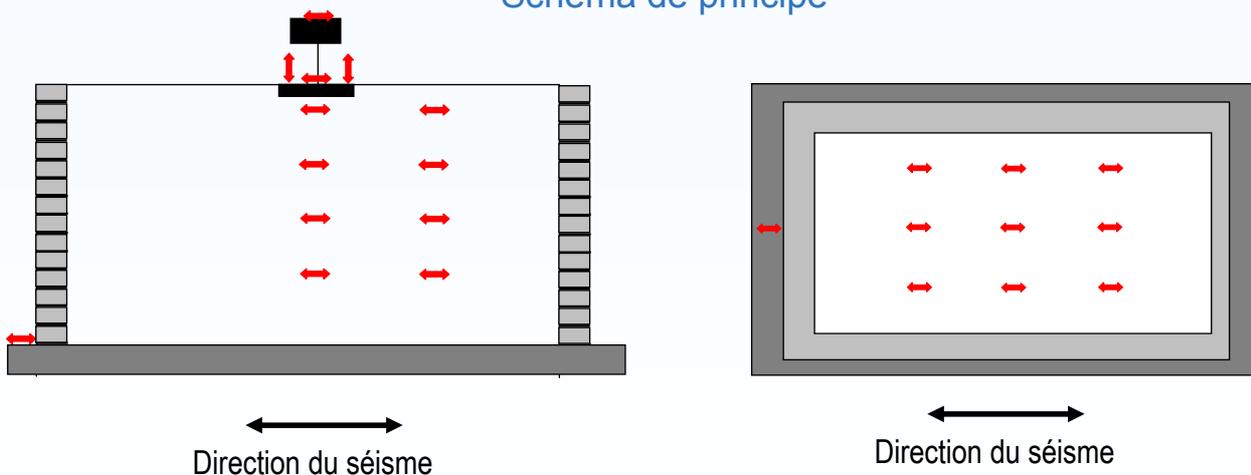
- ➡ Objectifs
- ➡ Dimensionnement, programme et protocoles expérimentaux
- ➡ Comportement de la colonne de sol
- ➡ Interaction sol-structure pour la structure
- ➡ Interaction structure-sol-structure

## Objectifs de la modélisation physique dans ARVISE

- ◆ Mettre en évidence des phénomènes
  - La réponse vibratoire d'une structure sur base rigide et sur sol
  - L'influence du mode de fondation sur cette réponse
  - L'influence du dommage des fondations sur la réponse vibratoire
  - L'influence de l'ISS sur des modes multiples
  - L'influence de la présence d'un second bâtiment
  
- ◆ Quantifier les paramètres d'ISS pour alimenter la modélisation numérique
  - Effet de la présence de la structure sur le champ d'ondes autour du bâtiment
  - Transferts sol-structure

## Dimensionnement, protocoles et programme expérimentaux

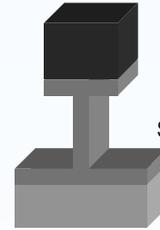
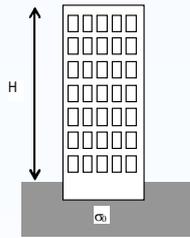
### Schéma de principe



- Sable de Fontainebleau sec (NE34)
- $D_r=57\%$
- Couche homogène de 41,6cm modèle soit 24,9 m (60g)

## Dimensionnement, protocoles et programme expérimentaux

Bâtiment réel  
 $F_0 = \text{Fréquence de basculement} = H/0,013$   
 $\sigma_0 = M^*/g/\text{Surface au sol}$   
 $H = \text{hauteur du centre de gravité}$



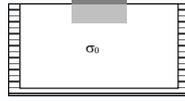
Volume concentrant la masse de la superstructure au centre de gravité

Structure en I aussi légère que possible

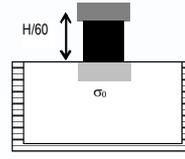
Semelle enfouie (étage enterré)



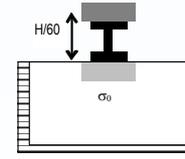
« Champ libre »



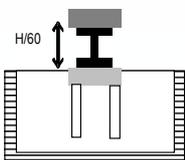
Masse basse = fondation + masse superstructure



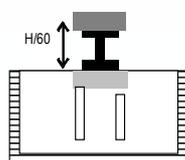
Bâtiment rigide = fondation superficielle + structure rigide + masse superstructure



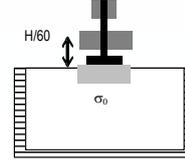
Bâtiment 1 ddl = fondation superficielle + structure souple + masse superstructure



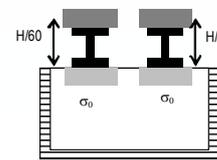
Bâtiment 1 ddl = fondation profonde + structure souple + masse superstructure



Bâtiment 1 ddl = fondation profonde endommagée + structure souple + masse superstructure

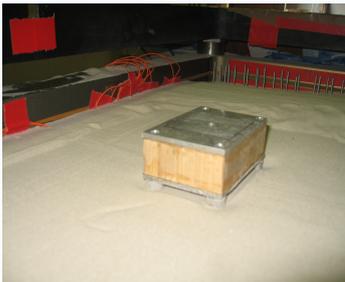


Bâtiment 2 ddl = fondation superficielle + structure souple + masse superstructure



2 Bâtiment 1 ddl = fondation superficielle + structure souple + masse superstructure

## Dimensionnement, protocoles et programme expérimentaux



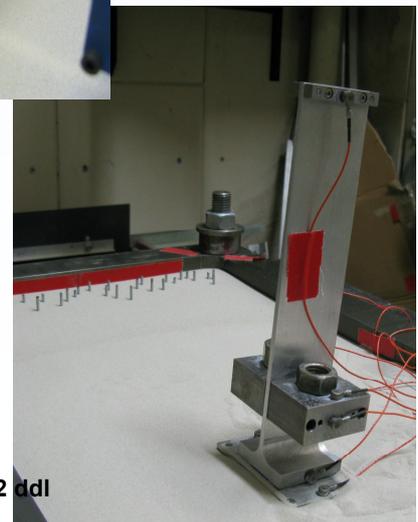
Fondation superficielle commune  
 5,40 m x 3,6 x 1,80 m densité 500 kg/m<sup>3</sup>



Le bâtiment rigide



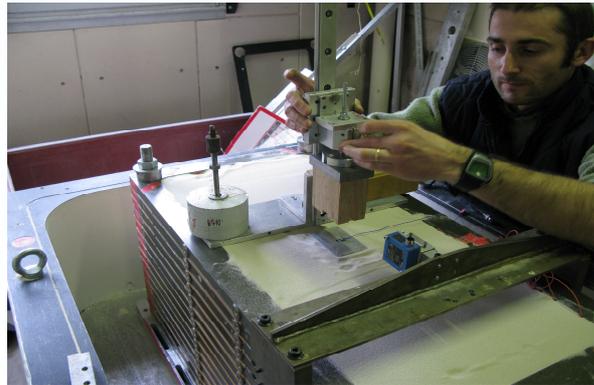
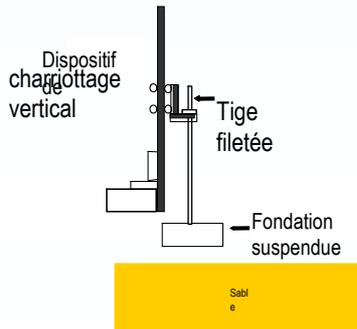
Le bâtiment à 1 ddl



Le bâtiment à 2 ddl

## Dimensionnement, protocoles et programme expérimentaux

- ◆ Préparation du sol par pluviation
  - Sable de Fontainebleau sec
  - Densité contrôlée par boîtes de densité  $I_d = 55\%$  -  $gd = 15,7 \text{ daN/m}^3$
- ◆ Enfouissement de la semelle pendant la pluviation
- ◆ Mise en place de la semelle et du bâtiment par suspension
- ◆ Collage du bâtiment sur la fondation – Boulonnage après stabilisation



- ◆ Pieux battus à 1 g avec la fondation

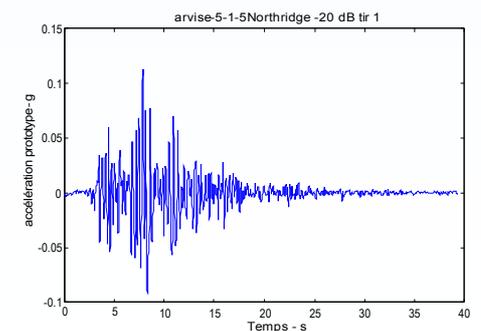
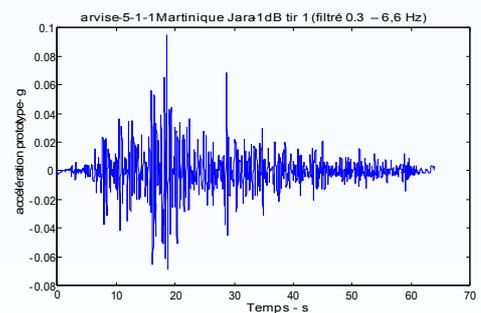
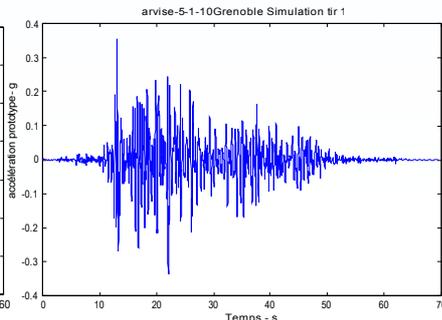
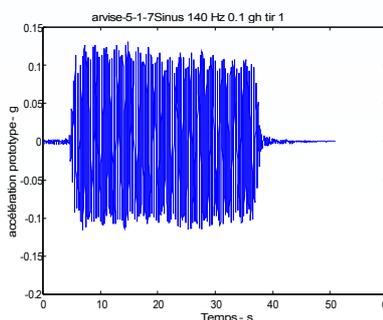
## Dimensionnement, protocoles et programme expérimentaux

### ◆ Signaux utilisés

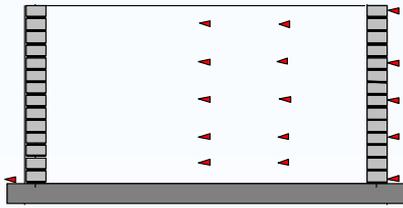
- Martinique Jara composante EW -5 dB
- Martinique Jara composante EW -1 dB
- Northridge Station Tarzana -20 dB
- Sinus 140 Hz 6 gh (~2,3 Hz – 0.1 gh)
- Grenoble Simulation - pga = 0.3 gh

### ◆ Séquences de chargement progressif

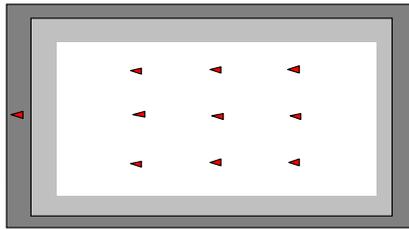
- 3 séismes Martinique Jara, 3 séismes Northridge
- 3 séismes sinus 140 Hz – 6 gh, 6 séismes Grenoble



## Comportement de la colonne de sol



  
 Vue en coupe verticale



  
 Vue de dessus

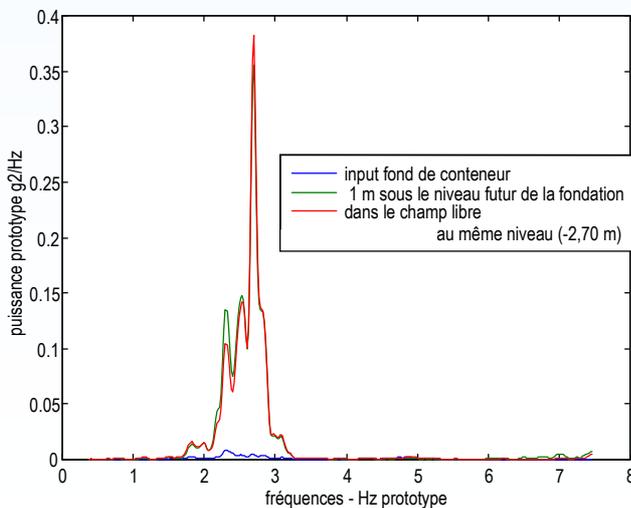
### Caractérisation:

- de la fréquence de réponse de la colonne de sol,
- des profils d'accélération dans le conteneur ESB,
- des effets de bord.

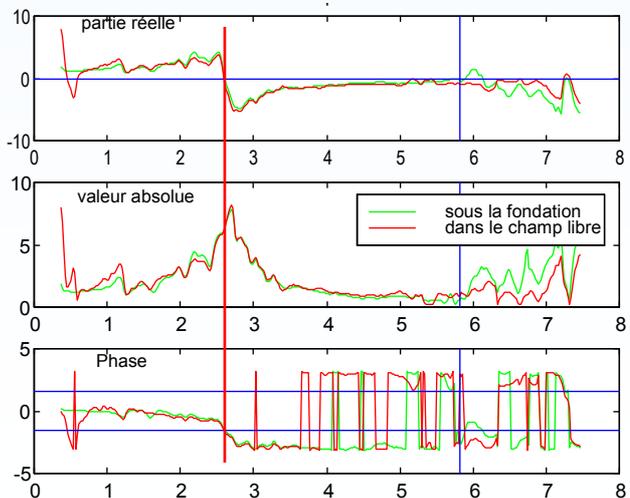
## Comportement de la colonne de sol

Martinique JARA -5db champs libre ARVISE\_0\_1\_3

### Densité spectrale



### Fonction de transfert

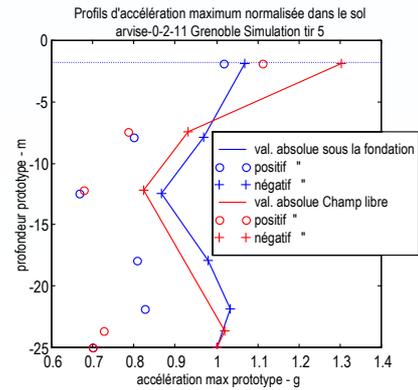
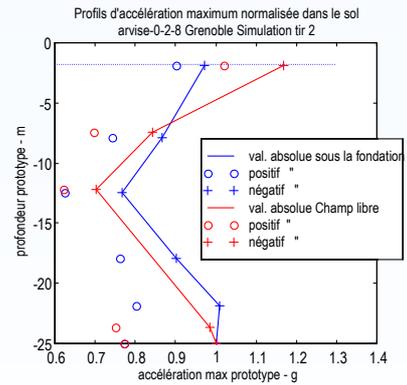
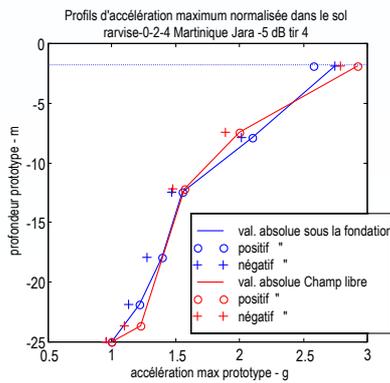
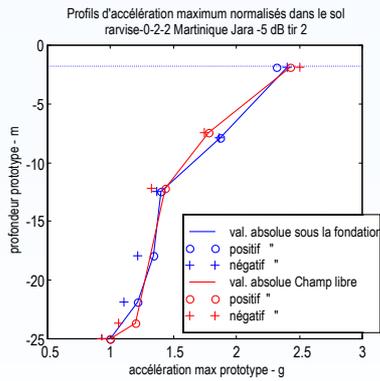


**Fréquence de réponse : 2,59Hz (2,33Hz)**

**Grenoble simulation (+fort) → 2,3Hz**

# Comportement de la colonne de sol

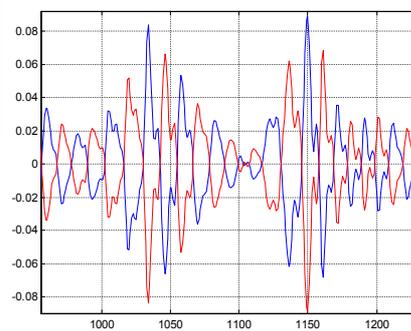
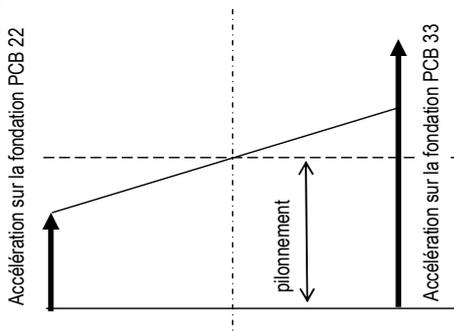
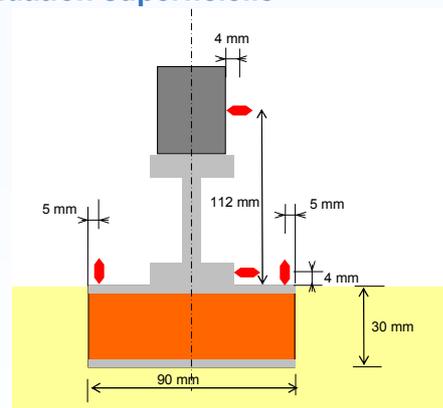
## Profil d'accélération normalisé dans le sol



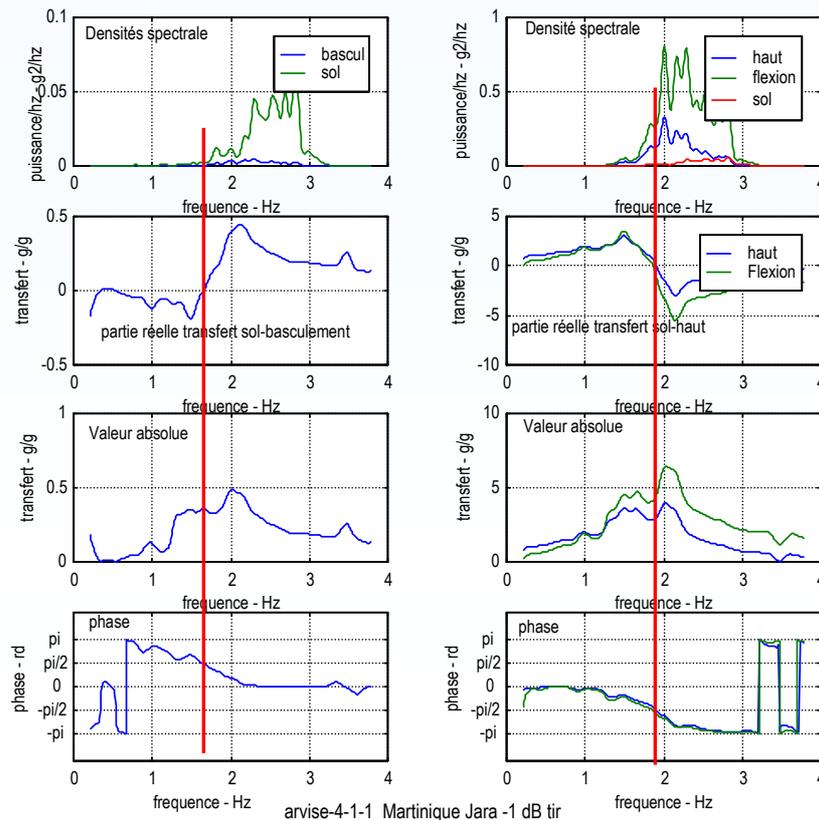
# Interaction sol-structure pour les structures

## Bâtiment flexible à 1DDL sur fondation superficielle

- mouvement de pilonnage
- mouvement de basculement
- mouvement de tamis
- mouvement de flexion



## Interaction sol-structure pour les structures



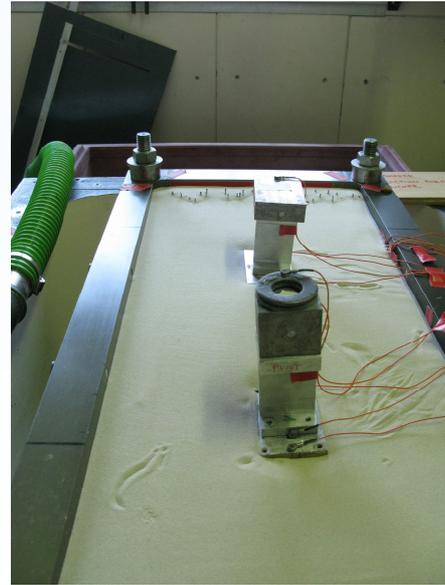
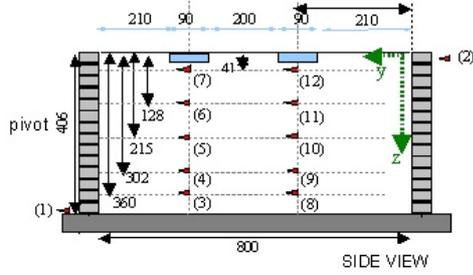
## Interaction sol-structure pour les structure

Structure 1DLL  
Fondation radier

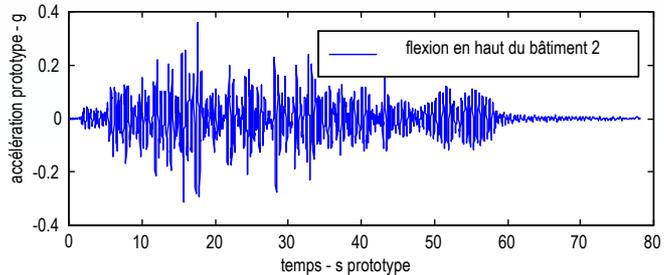
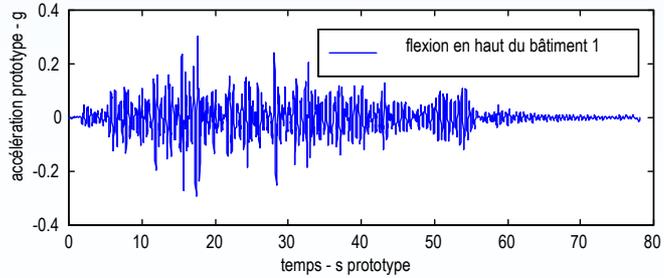
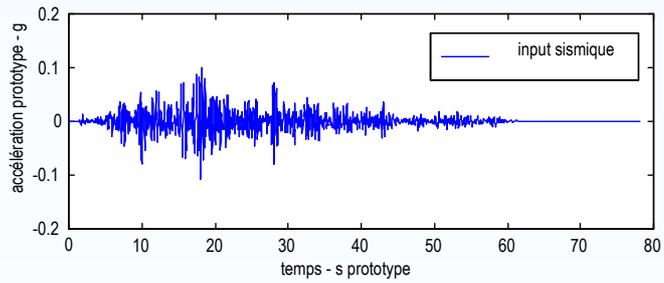
Montage arvise_4_1 Id = 57 %	Basculement sur la semelle	Flexion de la superstructure	Pilonnement	Translation horizontale
Sur base rigide		2,66 Hz		
Martinique Jara 1 <sup>er</sup> tir	1,65 Hz	1,87 Hz	?	?
Martinique Jara 3 <sup>er</sup> tir	1,61 Hz	1,84 Hz	?	5,30 Hz
Northridge	1,51 Hz	1,60 Hz	Idem	4,94 Hz
Grenoble Simulation	0,88 Hz	1,18 Hz	idem	4,30 Hz

Structure 1DLL  
Fondation  
radier+4 pieux

	Basculement	Flexion	Pilonnement	Tamis
Sur fondation rigide		2,62 Hz		
Martinique JARA tir 1	1,65 Hz	1,66 Hz	( ? )	1,74 Hz
Martinique JARA tir 3	1,65 Hz	1,63 Hz	( ? )	1,74 Hz
Northridge tir 2	1,56 Hz	1,37 Hz	( ? )	1,8 Hz

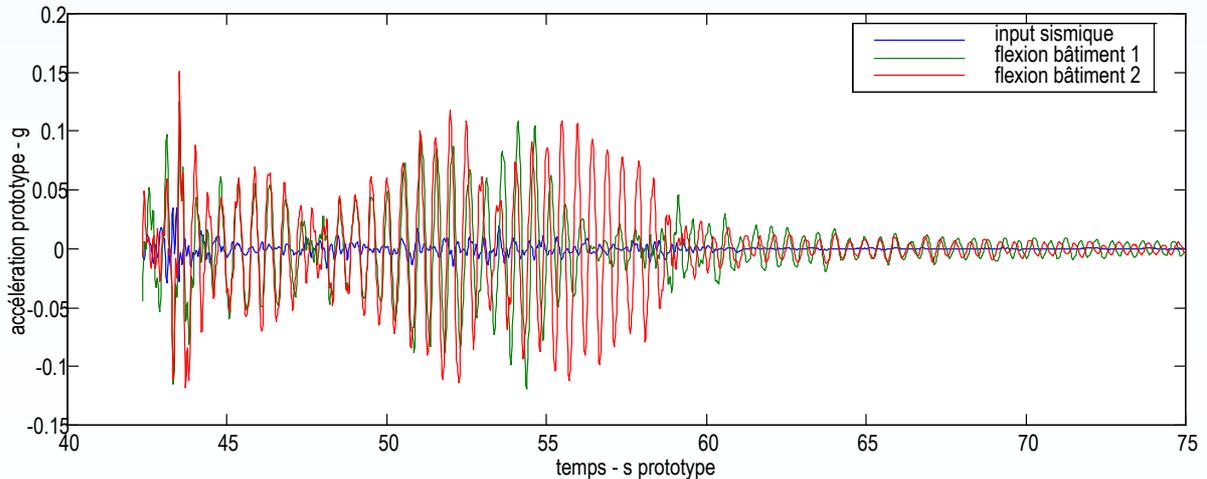


Martinique Jara -1db  
 Tir 1



Martinique Jara -1db

Tir 1



## Conclusions

- ◆ Modéliser = simplifier
  - ◆ Bâtiment remplacé par structure 1ddl ou 2 ddl – 1 direction pour pas de torsion
  - ◆ Similitude sur paramètres fondamentaux pour comportement vibratoire
    - ◆ Fréquence
    - ◆ Contrainte au sol
    - ◆ Elancement
- ◆ Démonstration et quantification de l'effet de l'ISS sur la fréquence de flexion
- ◆ Différence d'impact de l'ISS sur les modes dans le cas 2 ddl
- ◆ L'ISS se manifesta aussi par l'apparition de nouveaux modes :
  - ◆ basculement, pilonnement, tamis
- ◆ Influence du système de fondation : sur pieux le mode de flexion est aussi abaissé
  - ◆ Hypothèse sur la structure élancée pieux-structure
- ◆ L'ISSS a montré le couplage des bâtiments proches et de même fréquence : modulation, allongement de réponse oscillatoire