

# Modélisation du comportement sismique non-linéaire de structures en béton armé : qualification expérimentale

G. Heinfliing

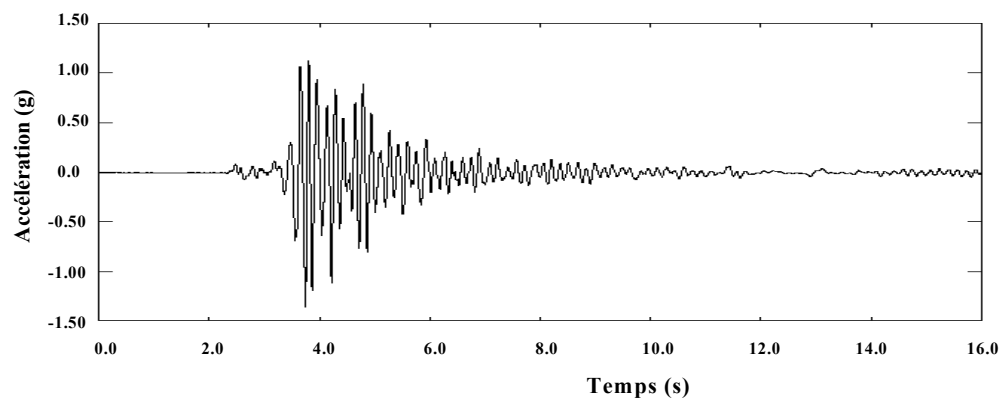
EDF/DIN/SEPTEN

S. Moulin


EDF/R&D/AMA

N. Ile

INSA de Lyon/URGC



## Développement de modèles non linéaires : objectifs dans le domaine du séisme

- Objectifs
    - évaluer sans marges excessives les conséquences d'une sollicitation sismique sur les ouvrages de GC
    - disposer d'une base de référence pour le développement de modèles simplifiés dédiés à des structures particulières
    - disposer d'une base de référence pour l'évaluation de codifications réglementaires de dimensionnement
-  programme de R&D conduit depuis plusieurs années pour la modélisation de structures en béton armé jusqu'à la ruine



## Modèles disponibles dans Code\_ASTER(R) pour des **chargements alternés cyclés**

- **Modèle Nadaï\_B (non qualifié en V6 – version locale INSA)**
  - REX important de qualification sur des structures soumises au séisme via ses applications dans son environnement initial de développement (CASTEM2000) à l'INSA
  - premier modèle de comportement du béton développé dans Code\_ASTER en 1995
  - modèle anisotrope mais limité aux sollicitations planes, discontinuité des contraintes en fissuration
  - *à la fois modèle phénoménologique de formulation non standard et algorithme (fissuration)*
  - *maintenance difficile dans un code industriel*
- **Modèle Endo\_Isot\_Béton (qualifié en V6)**
  - modèle en cours de développement dans MECEN (applications statiques)
  - modèle isotrope mais de formulation générale 3D, continuité des contraintes en fissuration
  - modèle standard présentant une algorithmie locale plus homogène avec l'environnement de Code\_ASTER
  - REX de qualification pour des structures soumises au séisme à construire
- **Modèle PMF Laborderie (qualifié en V6)**
  - structures filaires (N – M)

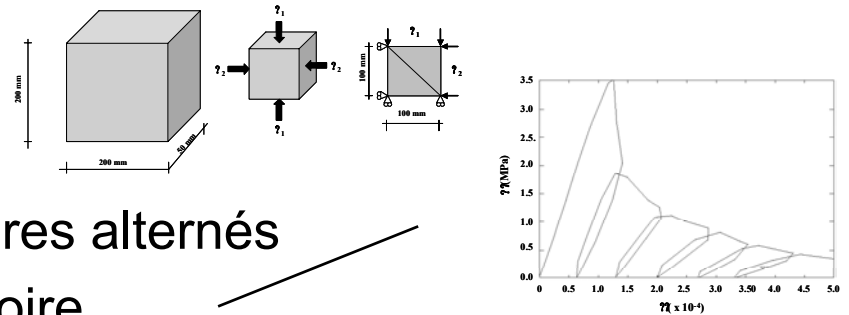
## Qualification expérimentale et simulation

- Objectifs des essais
  - Répondre à des besoins de l'ingénierie en terme de caractérisation du comportement en séisme des structures en béton armé
  - fournir une base pour qualifier les modèles dans l'environnement de Code\_ASTER sur une gamme complète de structures à échelle industrielle
  - établir les règles de bonne pratique pour la mise en œuvre de ces modèles (guide)
  
- Objectifs de la simulation des essais
  - Qualifier le modèle Nadaï\_B pour des besoins Court Terme du Septen
  - passer le relais de Nadaï\_B vers Endo\_Isot\_Béton

# Qualification expérimentale

- Programme

- trajets de chargements élémentaires alternés cyclés sur éprouvettes en laboratoire



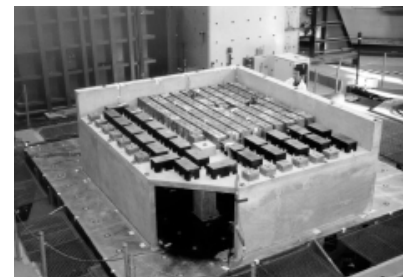
- voiles de cisaillement du programme SAFE



- voiles en flexion du programme CAMUS

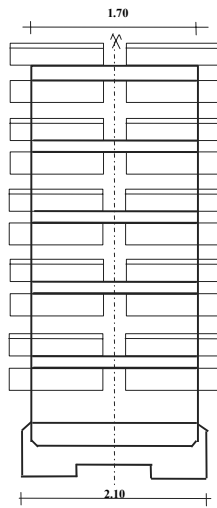


- essais de dalles de plancher

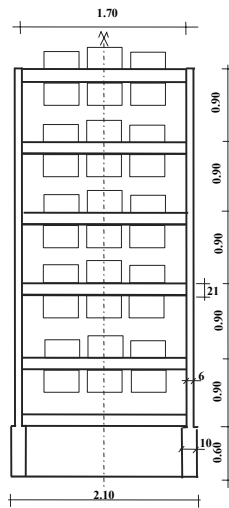


# Modélisation de l'essai CAMUS 3 à l'aide du modèle Nadai\_B

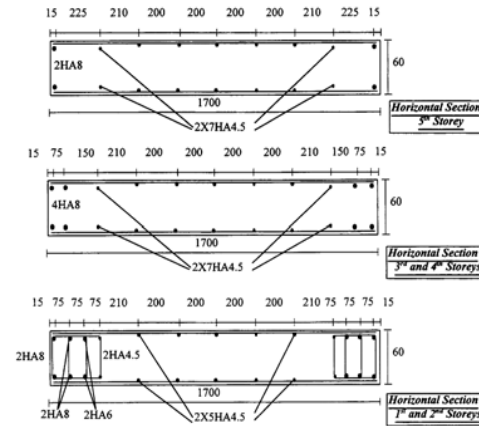
- Description de l'essai



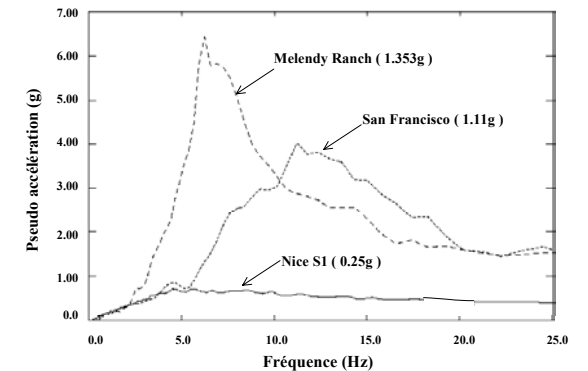
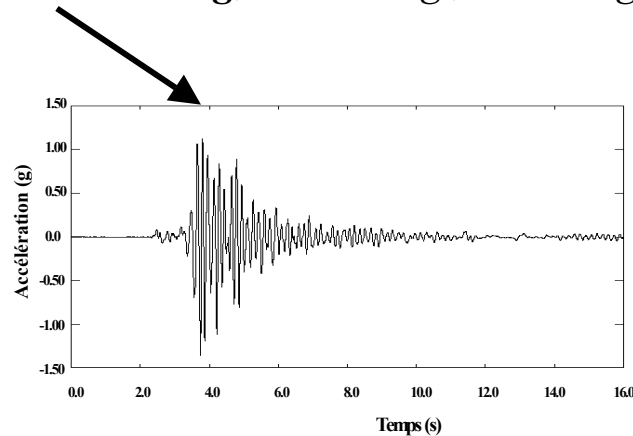
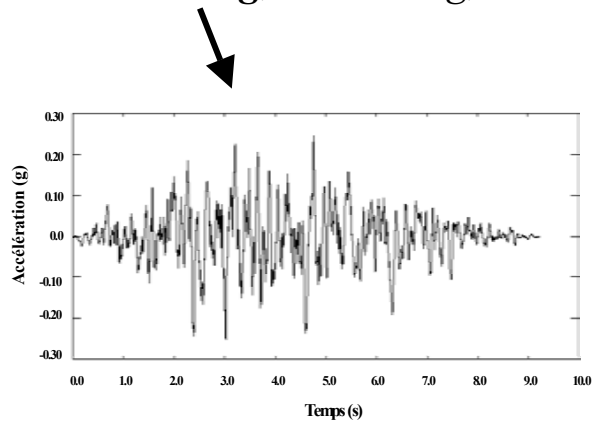
Vue frontale



Vue latérale

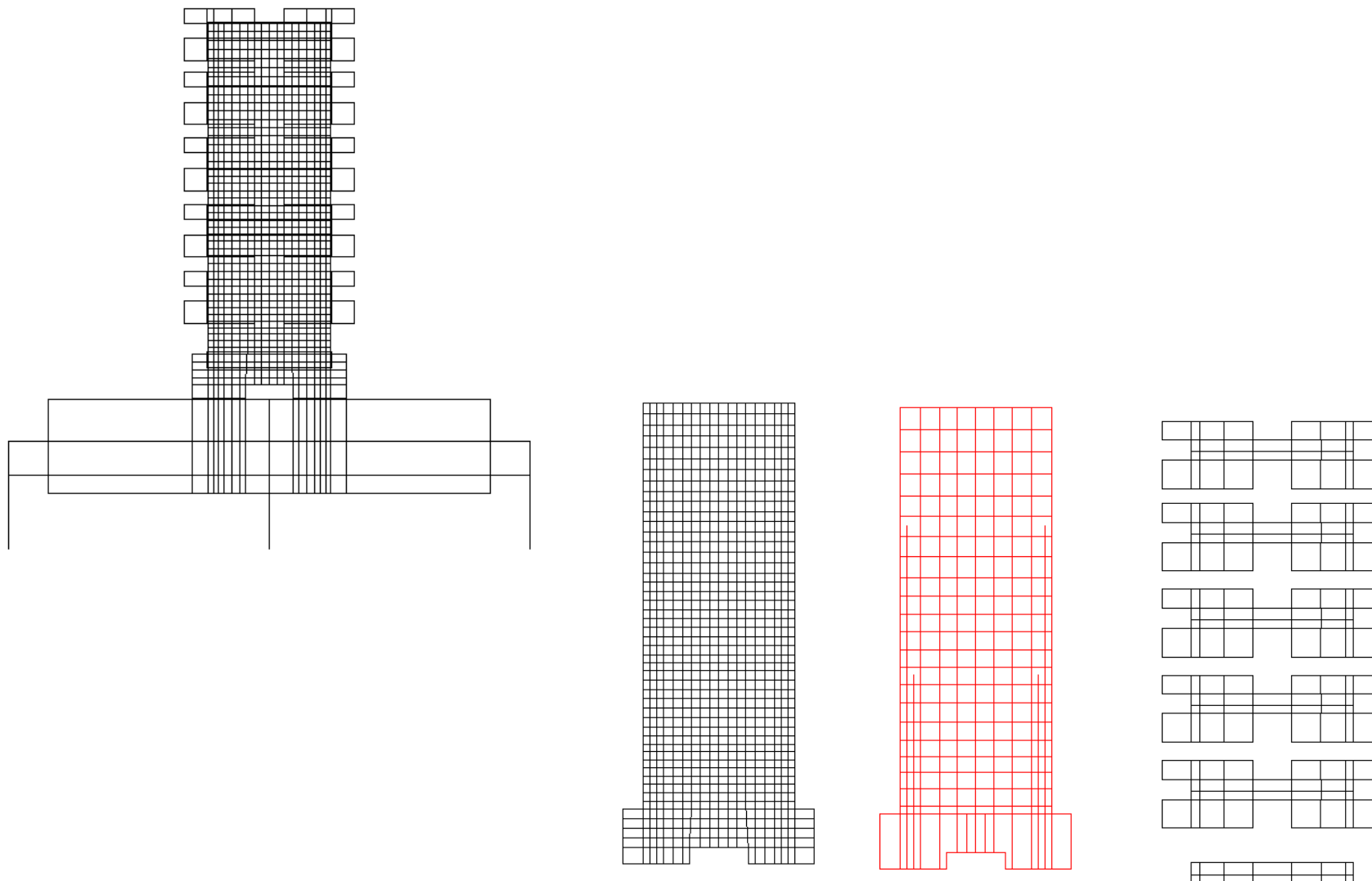


*Nice 0.42g, Nice 0.22g, Melendy Ranch 1.35g, Nice 0.64g, Nice 1.0g.*



## Modélisation de l'essai CAMUS 3 à l'aide du modèle Nadai\_B

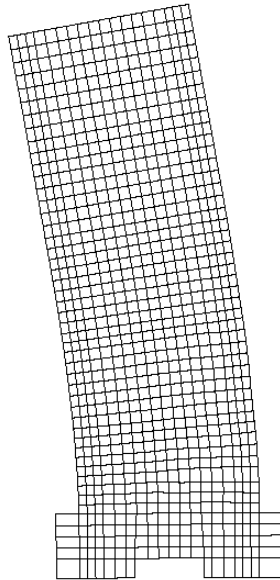
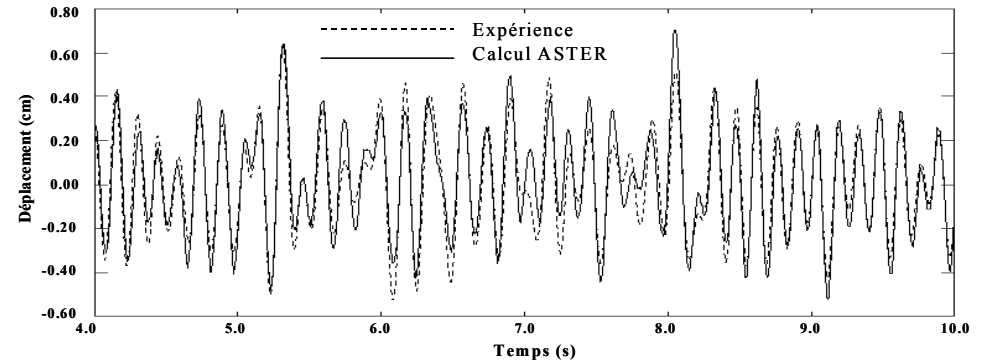
- Modélisation de la maquette



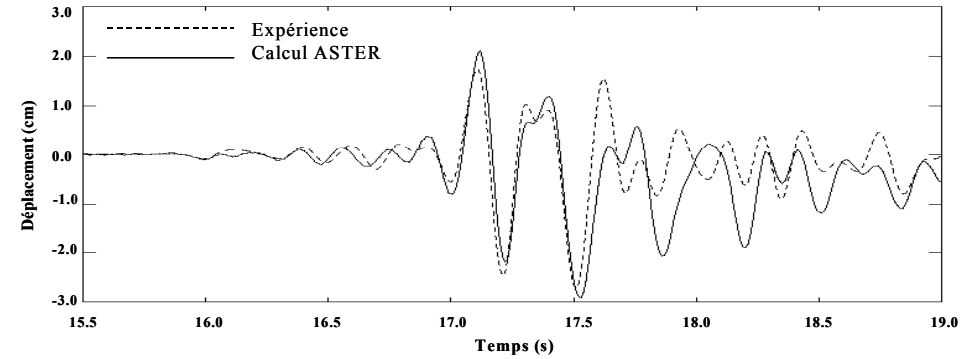
# Modélisation de l'essai CAMUS 3 à l'aide du modèle Nadai\_B

- Principaux résultats

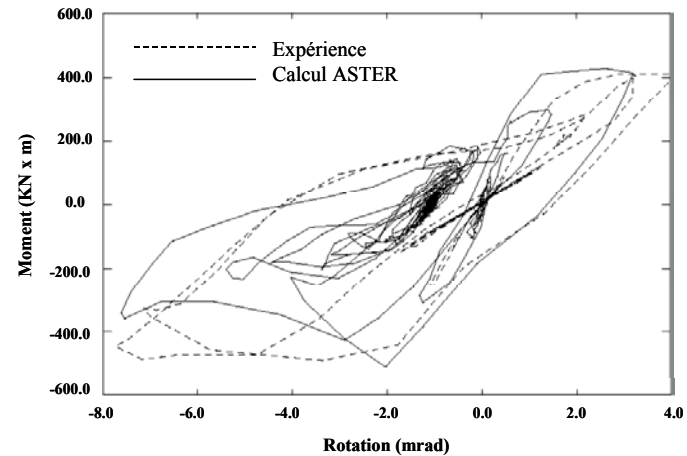
*Déplacement  
Nice 0.42g*



*Déplacement  
MR 1.35g*

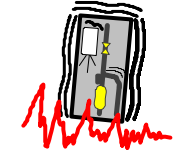


*Moment –rotation  
MR1.35g*

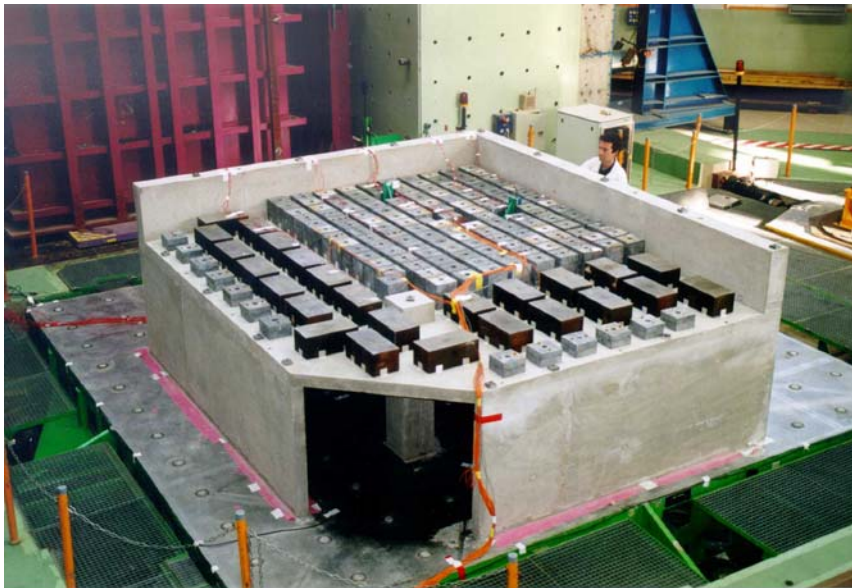




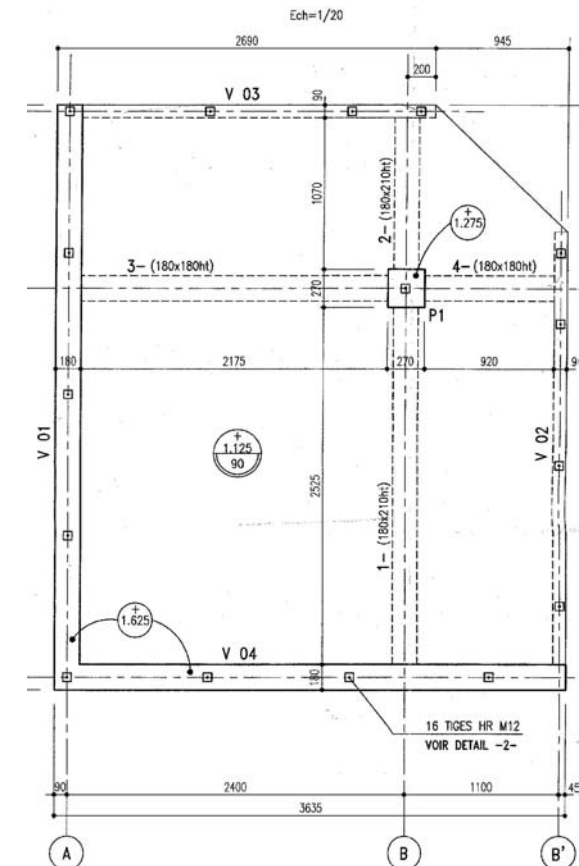
## Modélisation d'essais de dalles de plancher à l'aide du modèle Endo\_Isot\_Béton



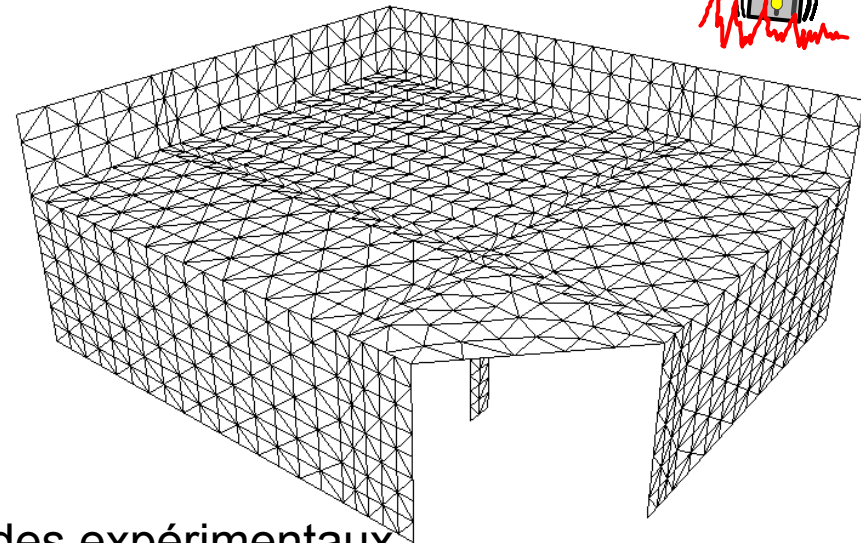
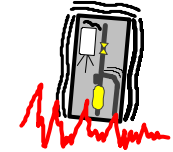
- Description de l'essai
  - Maquette représentative d'une dalle en béton armé de plancher BAS-BL 1300MWe (échelle 1/2,5)
  - Éléments structuraux principaux: dalle, voiles, poteau, poutres
  - Caractérisation du comportement fissurant de la dalle sous séisme vertical (9 RUNS de niveaux d'accélération croissants)



Maquette CEA /SEMT /EMSI – Vues générales



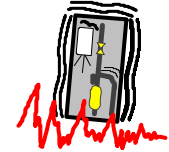
## Modélisation d'essais de dalles de plancher à l'aide du modèle Endo\_Isot\_Béton



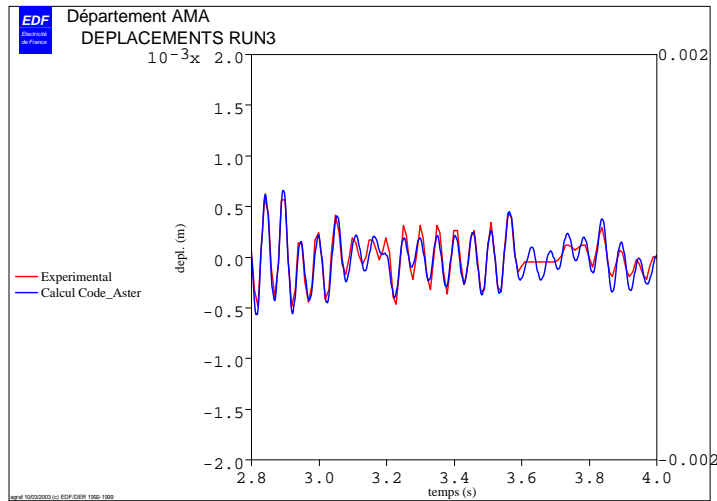
- **Méthodologie de calcul (Aster V6)**

- Type d'éléments finis
  - Béton: DKT (2500 éléments)
  - Acier : GRILLE (1900 éléments)
- Étude linéaire
  - Calage du module d'Young / modes expérimentaux
- Étude transitoire (DYNA\_NON\_LINE)
  - Intégration temporelle: méthode de NEWMARK, d'ordre 2
  - Amortissement de Rayleigh  $C = \alpha M + \beta K$
  - Critères de convergence (résidu), pas de temps utilisé
- Modèles de comportement non linéaire
  - Béton: modèle ENDO\_ISOT\_BETON (utilisation plaque via DE BORST, permettant  $\sigma_{zz}=0$ )
  - Acier : modèle GRILLE\_CINE\_LINE

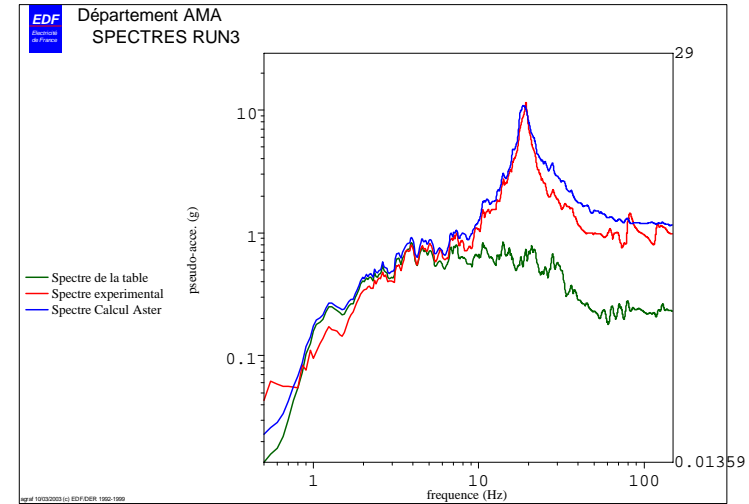
# Modélisation d'essais de dalles de plancher à l'aide du modèle Endo\_Isot\_Béton



- Résultats linéaires

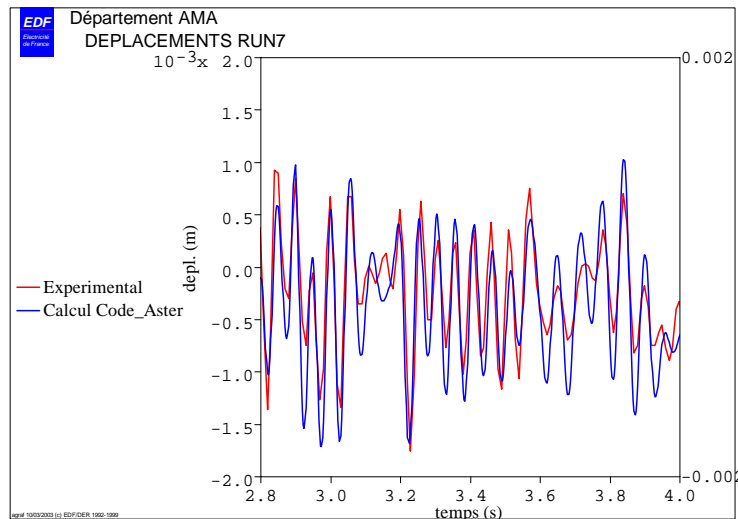


Déplacements verticaux (Niveau maxi du signal: 0,23g)

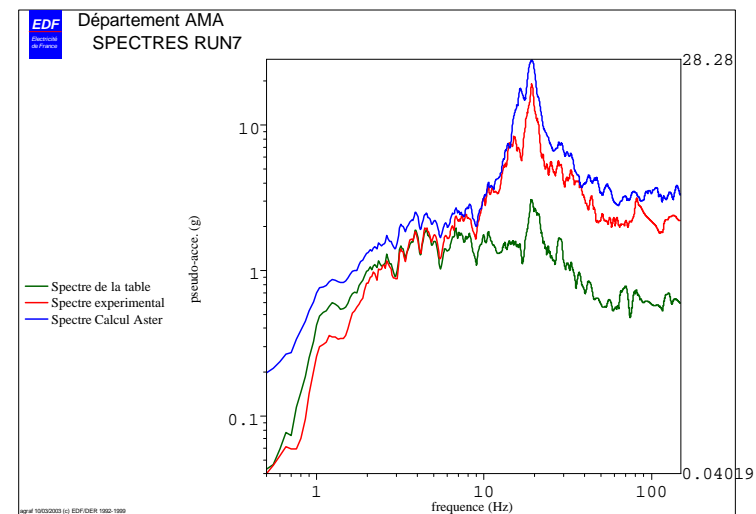


Spectre de plancher (Niveau maxi du signal 0,23g)

- Résultats non linéaires



Déplacements verticaux (Niveau maxi du signal: 0,79g)



Spectre de plancher (Niveau maxi du signal 0,79g)

## Conclusions et perspectives

- Conclusions
  - Résultats satisfaisants des deux modèles sur différentes structures à échelle industrielle
  - Méthodologie de simulation en dynamique non linéaire des structures en béton armé en bonne voie de qualification
  - Base de données en construction pour l'établissement de règles de bonnes pratiques de mise en oeuvre
- Perspectives
  - Poursuite du programme de qualification: amélioration du modèle Endo\_Isot\_Béton (thèse V. Godard)
  - Participation au Benchmark international de l'AIEA (Base : essais CAMUS I)
  - Participation au Benchmark de l'ENS Cachan (Base : essais CAMUS 2000)
  - Passage du relais de Nadaï\_B vers Endo\_Isot\_Béton