



Regards croisés sur l'histoire de l'archéosismologie en France

Georgia POURSOULIS¹, **Cédric GIRY**²

1. La mémoire des lieux.
2. Université Paris-Saclay, ENS Paris-Saclay, CNRS, LMT - Laboratoire de Mécanique et Technologie, 91190, Gif-sur-Yvette, France.

Aperçu de l'Histoire de l'archéosismologie en France



Création CUEBC (1983)



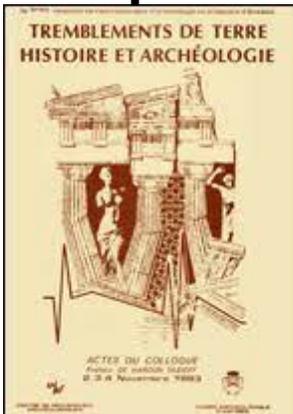
Création APS (1999)
Archéologie, Pathologies, Sismicité
R. Marichal, B. Helly, A. Levret, B. Grellet,...



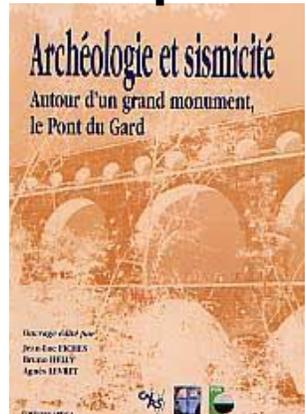
Implication AFPS
(2002-2005)



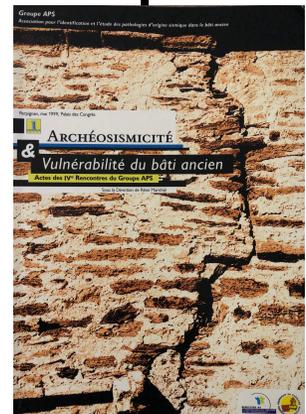
Vogt et al. (1979)



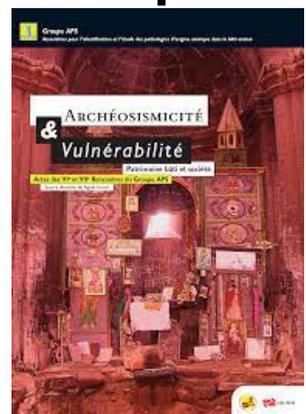
Antibes (1983)



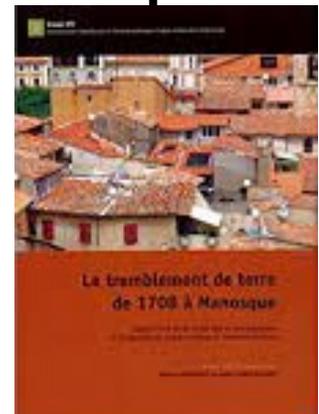
Nîmes (1995)



Rencontres APS (1999, 2002, 2005,...)



Poursoulis et Levret (2014)



5^{ème} Rencontres Scientifiques et Techniques Résif – centenaire du BSCF – 15 au 18 novembre 2021 - Obernai



Regards croisés

I. Recherche des traces de séismes anciens

II. Archéosismologie quantitative

Regards croisés

I. Recherche des traces de séismes anciens

II. Archéosismologie quantitative

Les marqueurs de séismes anciens

- Cassures et décalages dans les sols et couches archéologiques
- Traces directes (dommages sismiques)
- Traces indirectes (réparations post-sismiques)
- Traces de techniques de confortement (culture sismique)
- Styles architecturaux et histoire du bâtiment (Unités Stratigraphiques)

Les Unités Stratigraphiques

Chapelle Ste Agathe (cas d'étude de Manosque)



Poursoulis (2003)

UNITE STRATIGRAPHIQUE (US)

(*archeologie.yvelines.fr*)

Trace d'un acte anthropique ou d'une construction qui se distingue d'une autre unité par sa couleur, sa composition, sa texture, sa forme, sa position... → unité de temps



Histoire de la structure

Classification chronologique des modifications de la structure

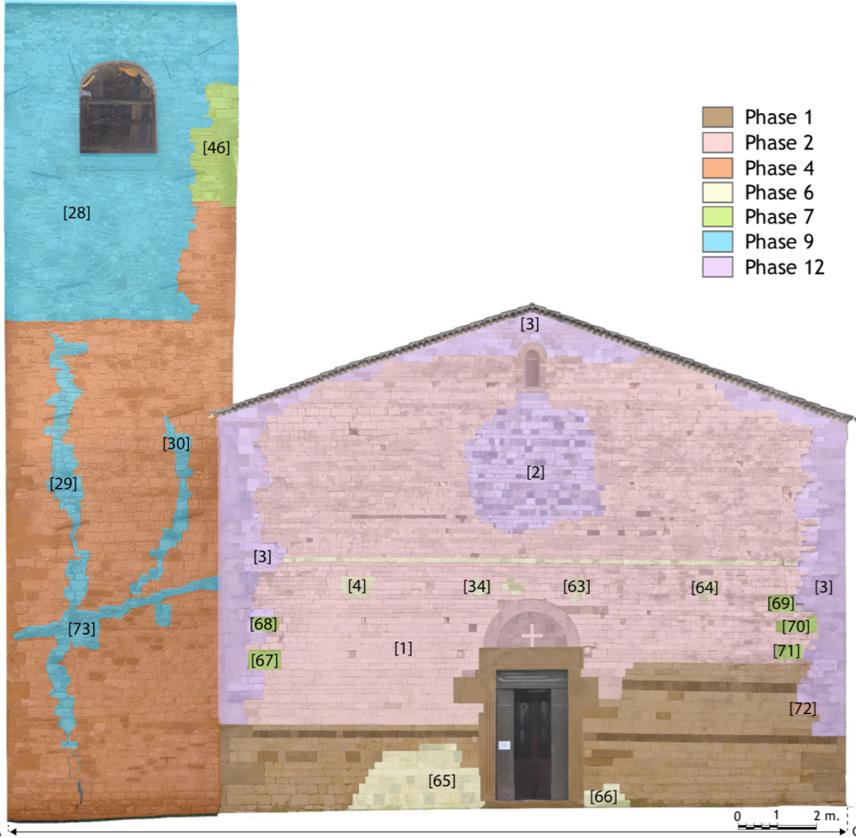


Evènements marquant l'évolution

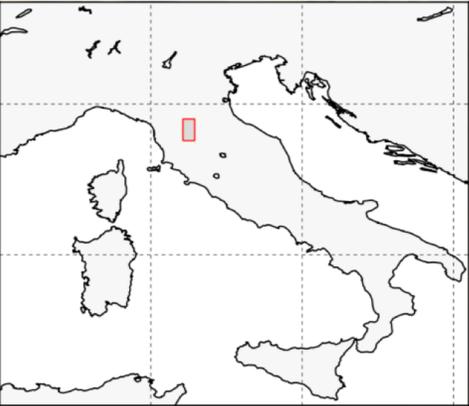
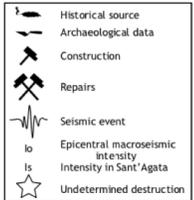
Identification et chronologie de séismes

Histoire d'une structure

Sant'Agata del Mugello
 Montabert et al (2020)



Source	Date	Origine	Seismic intensity	Phases	Type of operation
	2008				
	1980				
	1969		Io = 4-5, Is = ?		
	1963-1967				
	1960		Io = 7, Is = ?	13	
	1939		Io = 7, Is = ?		
	1931		Io = 6, Is = ?		
	1929		Io = 6-7, Is = ?		
	1919		Io = 10, Is = ?		
	1914				
	1912		Io = 5, Is = ?		
	1905				
	1875			12	
	1864		Io = 7, Is = ?		
	1843		Io = 6-7, Is = ?		
	1835		Io = 6, Is = ?		
	1833-1834			11	
	1819				
	1802				
	1762/04/15		Io = 7, Is = ?		
	1748				✂
	1727		Io = 6-7, Is = ?		✂
	1659			10	✂
	1611-1630			9	✂
	1611		Io = 7, Is = ?	8	✂
	1608-1611				
	1597		Io = 7-8, Is = ?	7	✂
	1553				
	1548				
	1546				
	1544				
	1542		Io = 9, Is = 9		✂
	1536				✂
	1528				✂
	1525-1526			6	✂
	1512-1513				✂
	1500				✂
	1497			5	✂
	15 th			4	✂
	15 th			3	✂
	12 th - 13 th	☆		2	✂
	1175			1	✂
	948				✂
	<984 A.D.			0	✂



→ Séismes et réparations

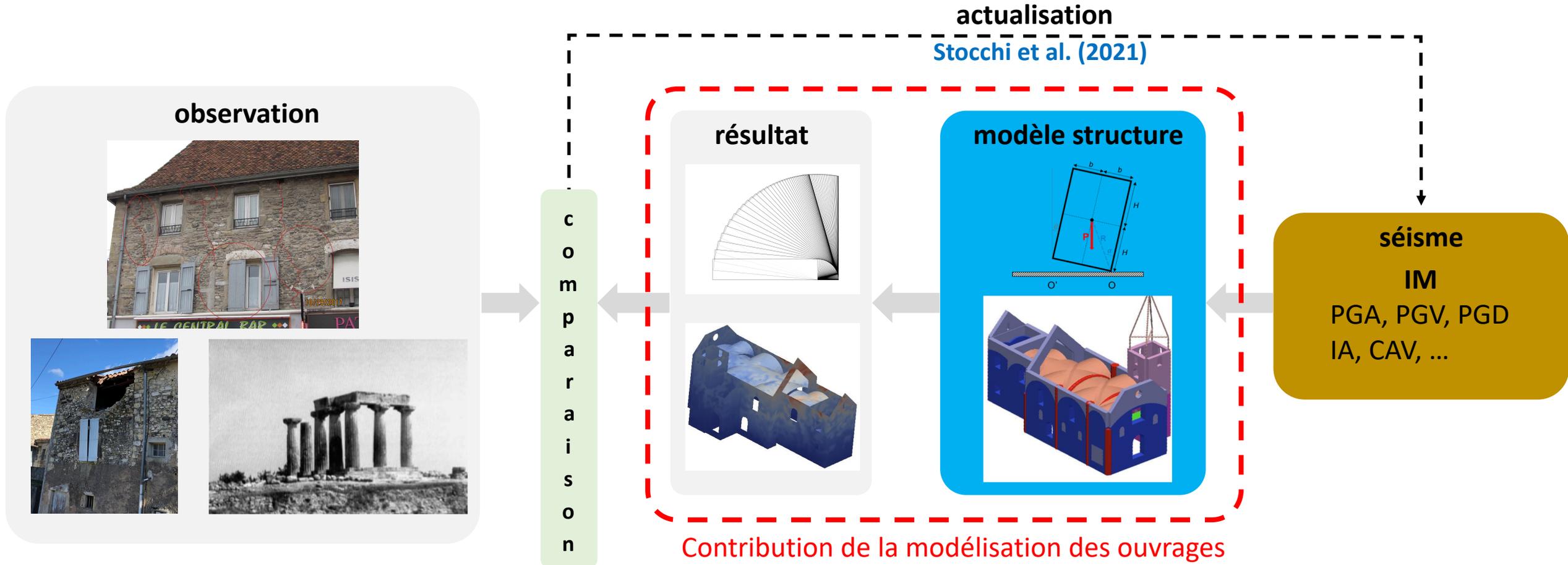
↓ Archéosismologie quantitative

Regards croisés

I. Recherche des traces de séismes anciens

II. Archéosismologie quantitative

Archéosismologie quantitative



Archéosismologie quantitative

1. Balancement / basculement de bloc
2. Système de solides
3. Milieu continu

Archéosismologie quantitative

1. Balancement / basculement de bloc

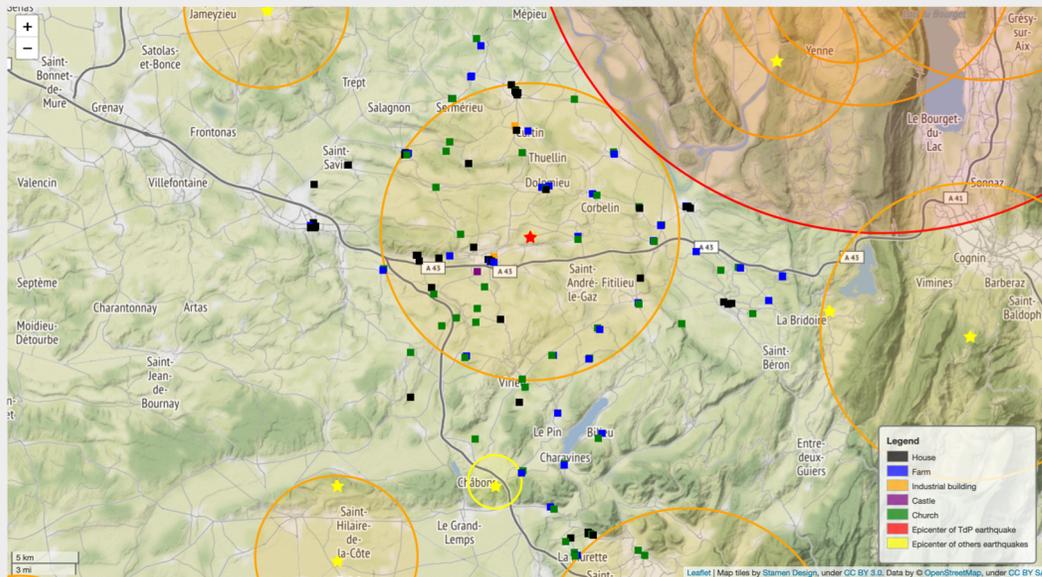
2. Système de solides

3. Milieu continu

Marqueurs de séismes

Séisme de La-Tour-du-Pin : 18 février 1889

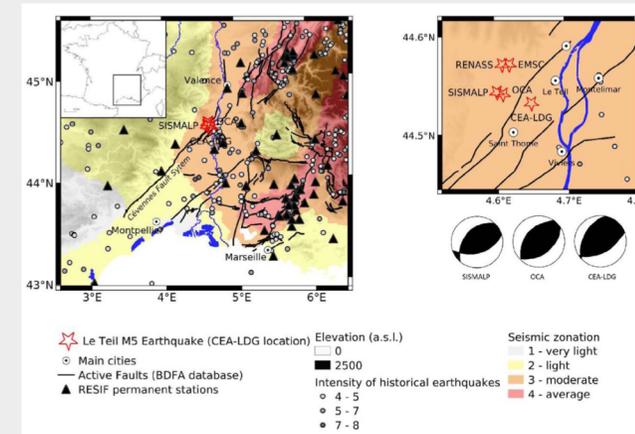
Poursoulis (2017)



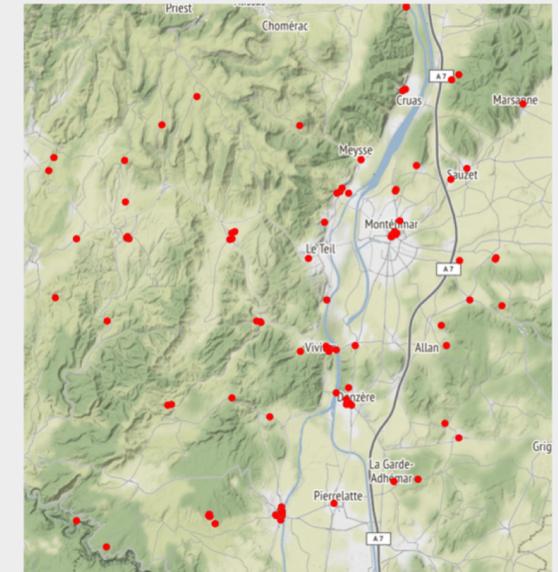
Ouvrages anciens région La Tour-du-Pin et séismes historiques

Stocchi et al. (2021)

Séisme du Teil : 11 novembre 2019



Cornou et al. (2021)



Monuments historiques région Le Teil

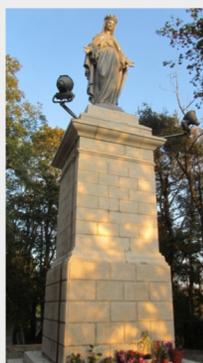
Taillefer et al. (2020)

Balancement / basculement de bloc

Séisme de La-Tour-du-Pin : 18 février 1889



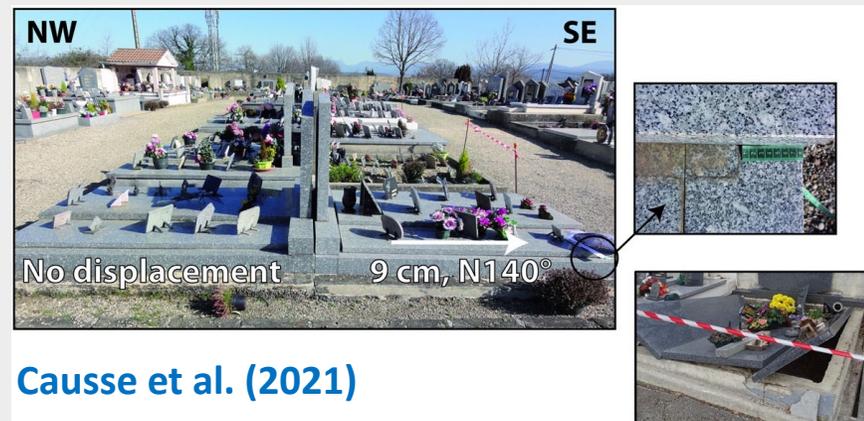
Poursoulis (2017)



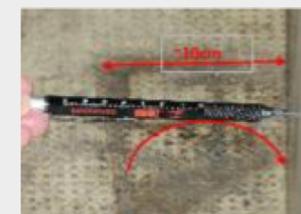
Giry et al. (2018)



Séisme du Teil : 11 novembre 2019

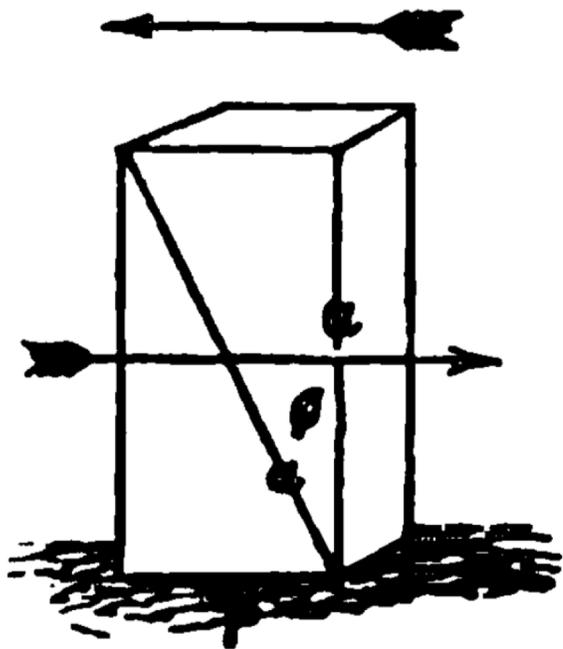


Causse et al. (2021)

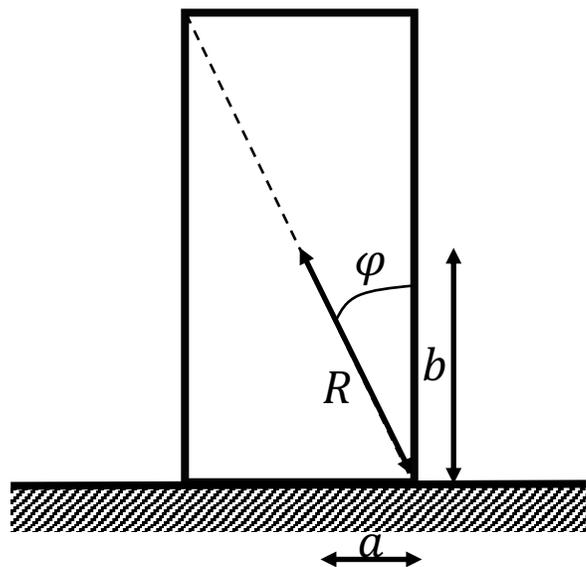


Taillefer et al. (2020)

Balancement / basculement de bloc



Mallet (1860)



Liens avec des mesures d'intensité sismique ?

Mallet (1860)

Condition en vitesse

$$V \geq \sqrt{\frac{8}{3} g R \frac{1 - \cos \varphi}{\cos^2 \varphi}}$$

Milne et Omori (1893)

Condition en accélération

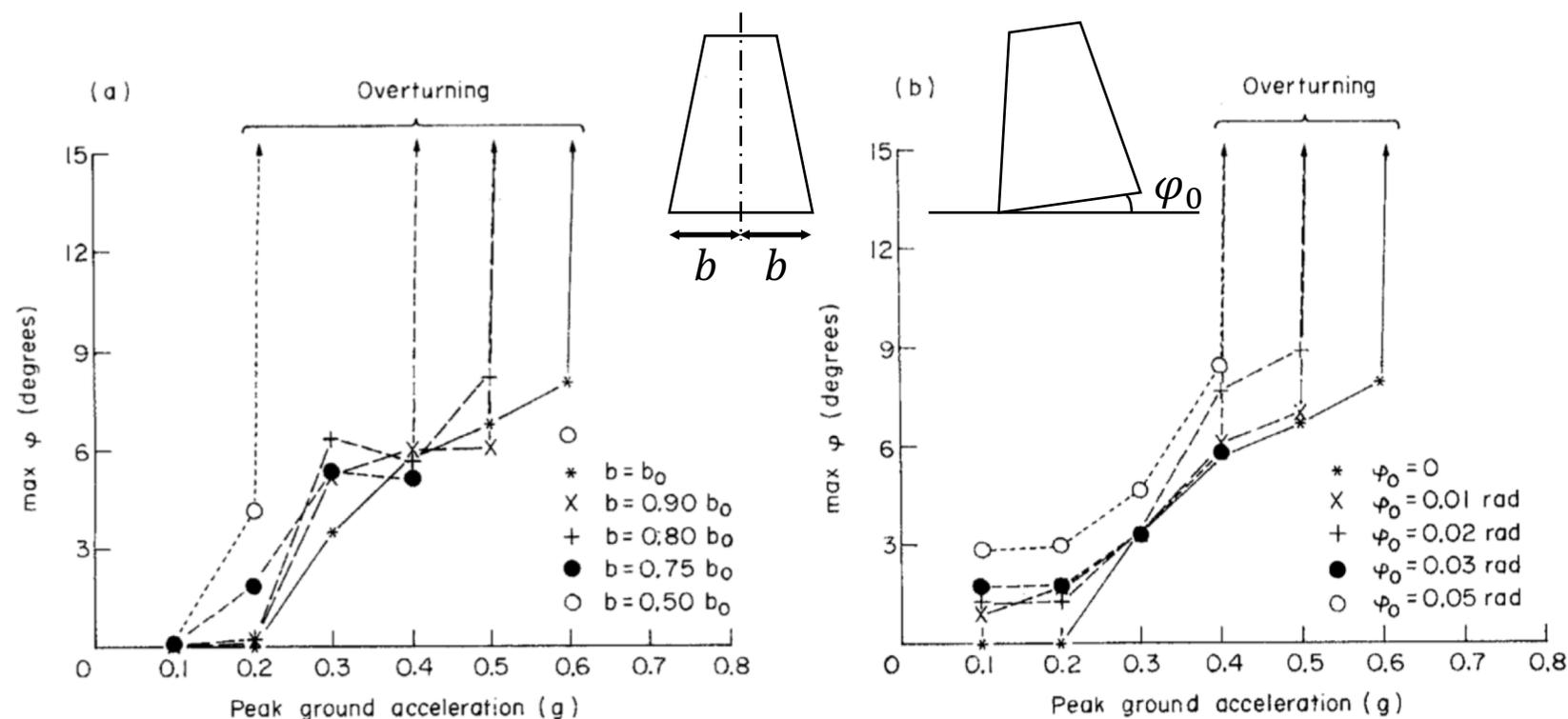
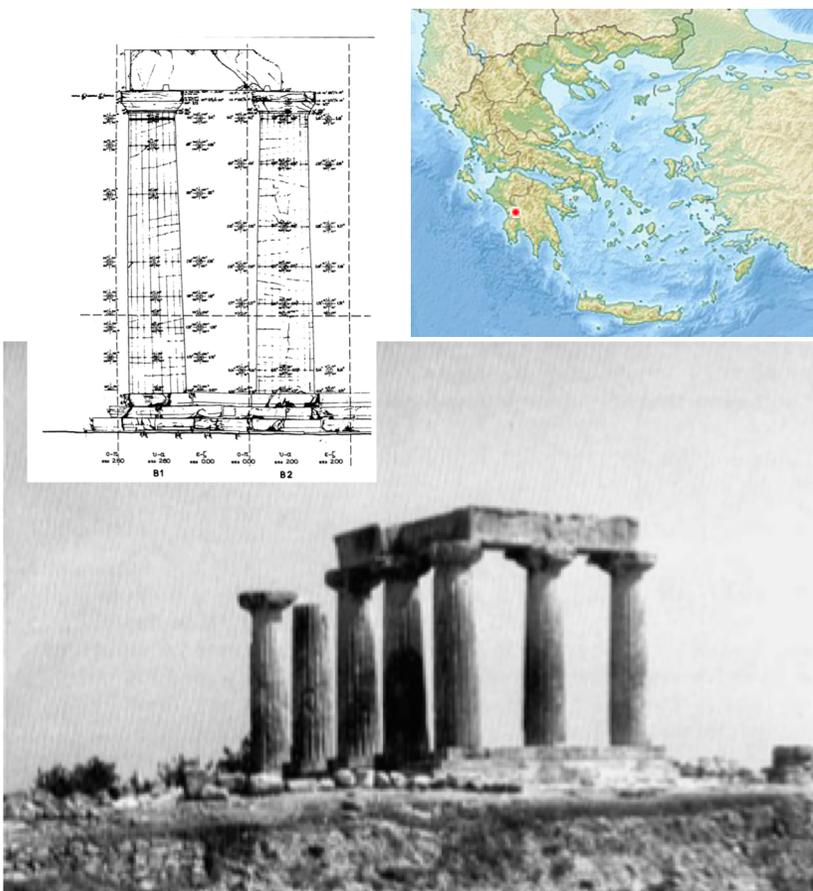
$$A \geq g \frac{a}{b}$$

■ caractéristiques séisme

■ paramètres modèle

Balancement / basculement de bloc

Temple d'Apollon à Bassae



Papastamatiou et Psycharis (1993)

Balancement / basculement de bloc

✓ observations sur terrain simples

✓ calcul rapide

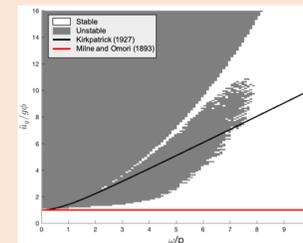
✓ définition du modèle

✗ système très chaotique

✗ définition mesures d'intensité sismique

✗ définition du coefficient de restitution

✗ analyse dans le plan



Exemple d'utilisation sur archeosismologie en France : [Giry et al. \(2018\)](#)

Archéosismologie quantitative

1. Balancement / basculement de bloc

2. Système de solides

3. Milieu continu

Systeme de solides

Séisme de La-Tour-du-Pin : 18 février 1889



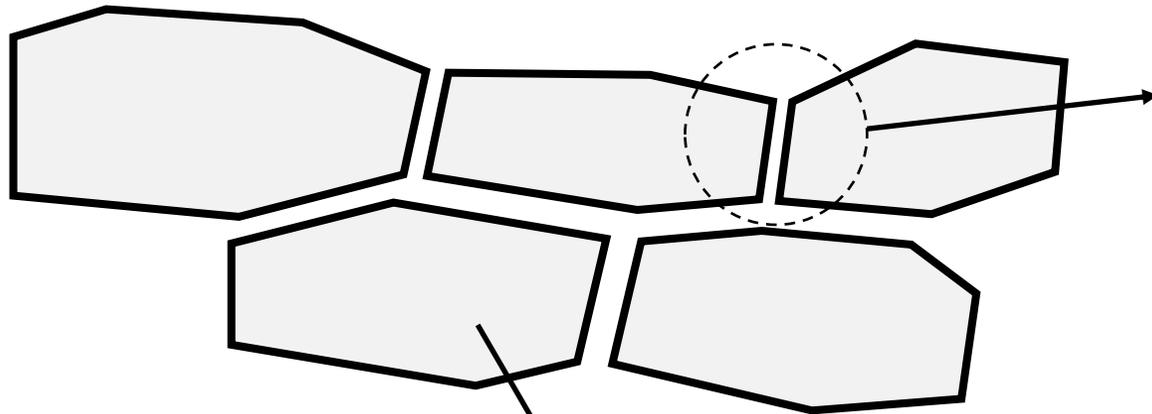
Poursoulis (2017)

Séisme du Teil : 11 novembre 2019



Taillefer et al. (2020)

Systeme de solides



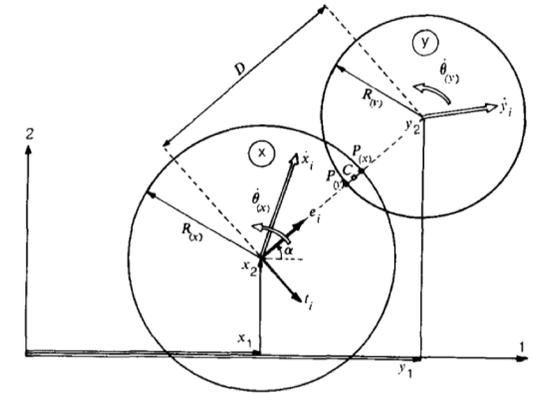
Discontinuité

- contact
- frottement
- cohesion
- ...

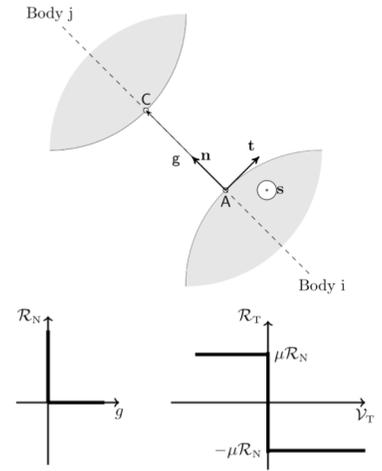
Solide

- rigide
- déformable

Discrete Element Method Cundall et Strack (1979)



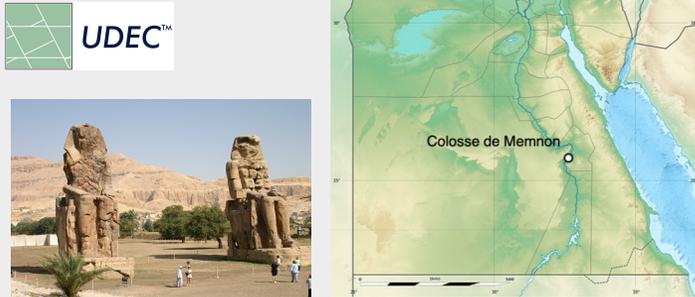
Non Smooth Contact Dynamic Jean et Moreau (1985)



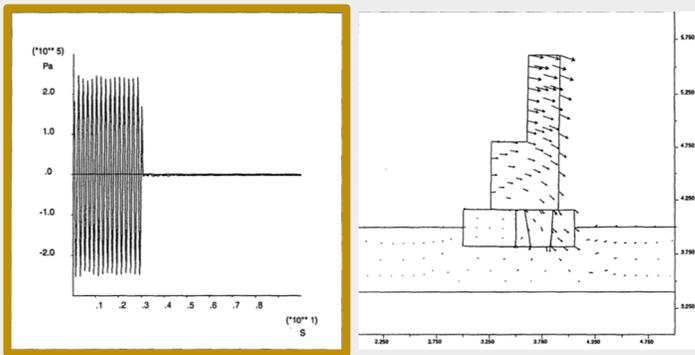
Dubois et al. (2018)

Systeme de solides

Colosses de Memnon
Verdel (1993)



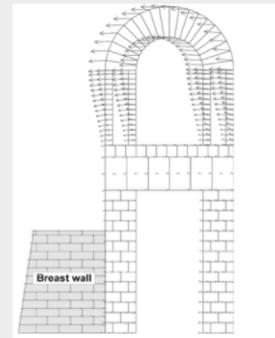
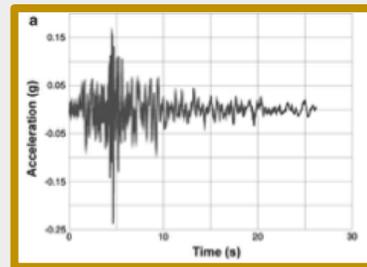
https://fr.wikipedia.org/wiki/Colosses_de_Memnon#/



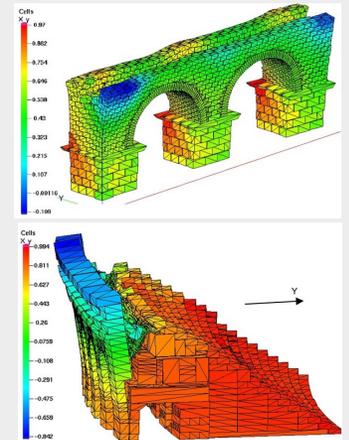
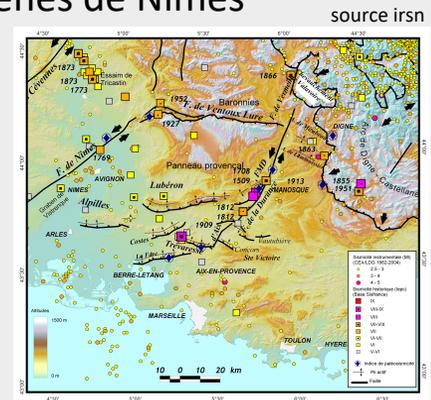
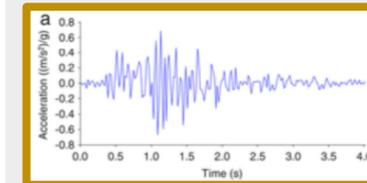
Pont de la Lône
Verdel (2000, 2001), Volant et al. (2009)



<https://www.academie-pontdugard.com/>



Aqueduc d'Arles | Arènes de Nîmes
Rafiee et al. (2008)



Système de solides

- ✓ description de la rupture
- ✓ description de mouvement d'ensemble
- ✓ nombre limité paramètres modèle

- ✗ définition de modes vibration
- ✗ description de la géométrie des blocs

Archéosismologie quantitative

1. Balancement / basculement de bloc

2. Système de solides

3. Milieu continu

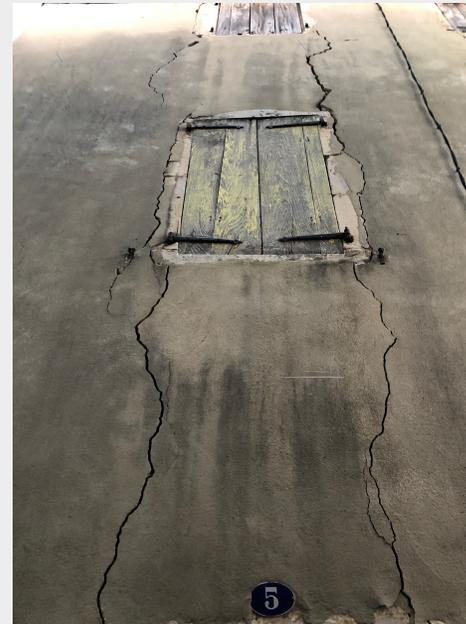
Milieu continu

Séisme de La-Tour-du-Pin : 18 février 1889



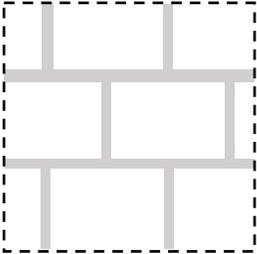
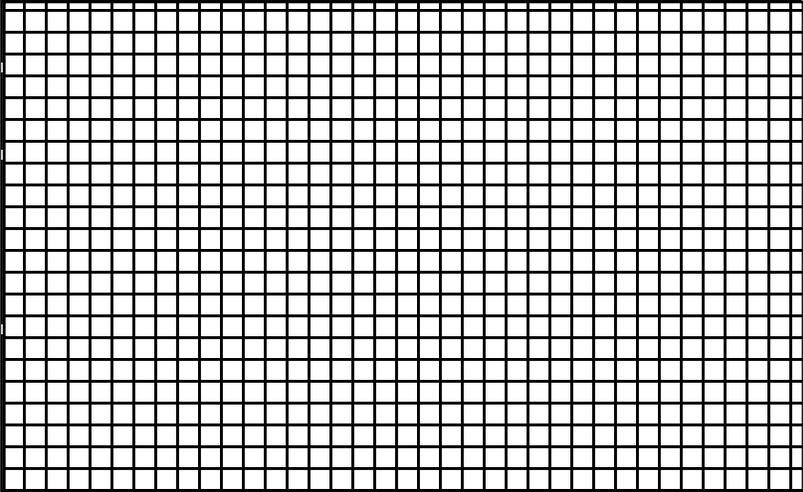
Poursoulis (2017)

Séisme du Teil : 11 novembre 2019

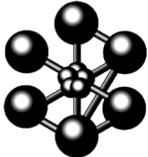


Taillefer et al. (2020)

Milieu continu



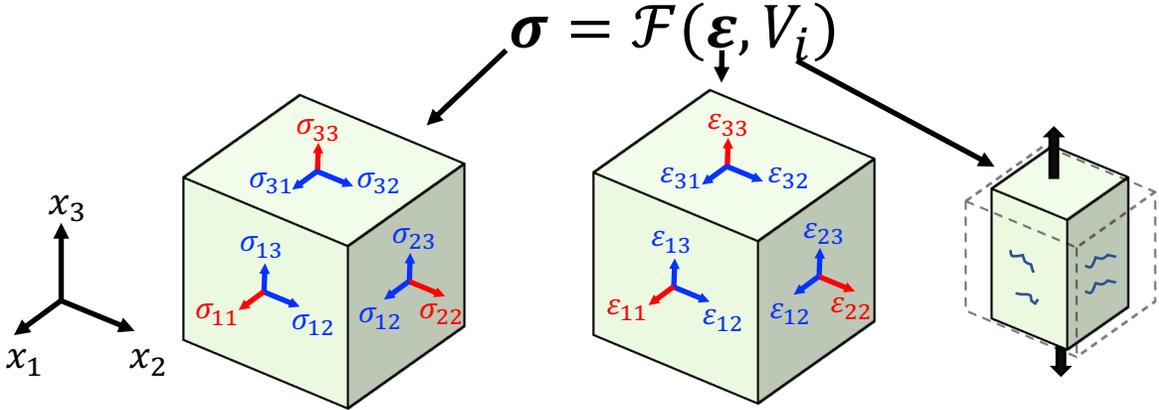
Méthode éléments finis
Turner et al., Clough, Zienkiewicz (années 50)



Cast3M



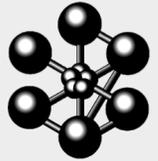
Modèle comportement homogénéisé



Elasticité, endommagement, plasticité, ...

Milieu continu

Pont de la Lône | Pont du Gard
 Sollogoub et al. (1998), Berthelot (2000), Volant et al. (2009)



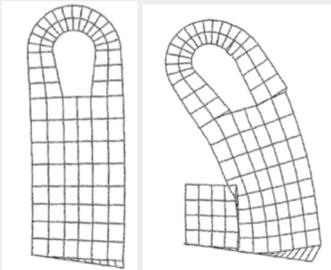
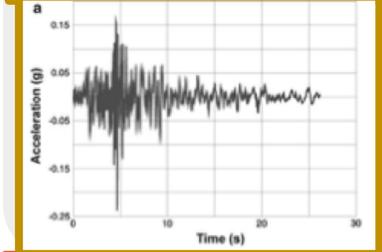
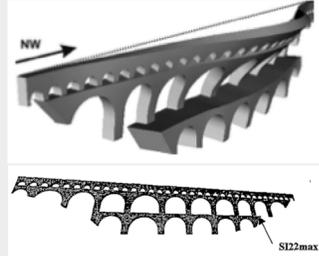
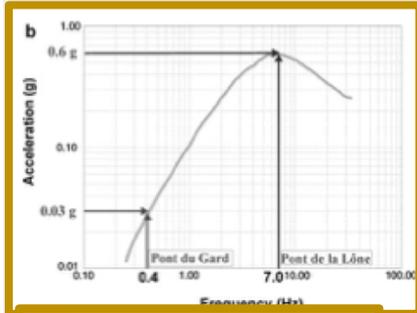
Cast3M



<https://www.academie-pontdugard.com/>



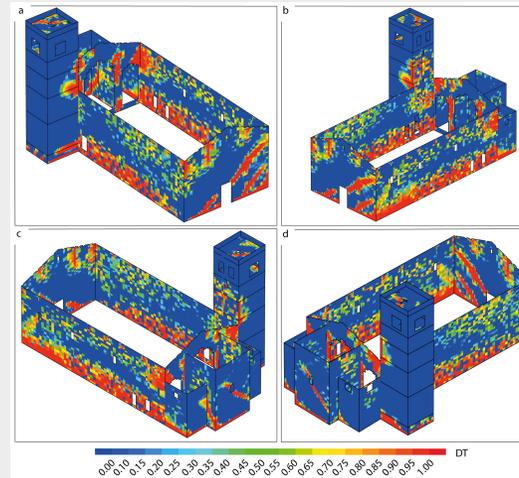
<https://www.pontdugard.fr/>



Eglise Sant'Agata del Mugello
 Montabert (2021)

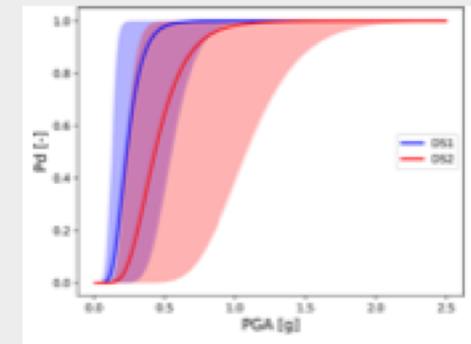
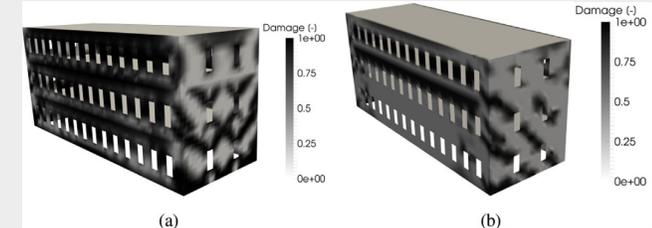


Cast3M



voir poster

Bâtiments industriels maçonnerie
 Stocchi et al. (2021)



Milieu continu

- ✓ analyse modale
- ✓ méthode de calcul simplifiée
- ✓ flexibilité sur les modèles comportement
- ✓ analyse paramétrique

- ✗ description de la rupture
- ✗ forme des blocs
- ✗ paramètres modèles

Conclusions et perspectives

- Archéosismologie, une approche multidisciplinaire

Archéologie, sismologie, calcul de structure

- Des sismomètres de pierre à décrypter

Exemple du pont du Gard, de Manosque, ...

- Vers une archéosismologie quantitative pour mieux caractériser

Exemple des travaux d'A. Montabert, extension ANR ACROSS, ...



ACROSS
ANR-20-CE03-0003



école
normale
supérieure
paris-saclay



Complément / références présentation

Poursoulis, G., Giry, C., Dessales, H. (2021). Archaeoseismology in France: Developments and new perspectives for cultural heritage preservation. *Comptes Rendus. Géoscience*, 353(S1).

Stocchi, A., Giry, C., Zentner, I., Capdevielle, S., Ragueneau, F., & Nayman, E. (2021). Methodology for updating magnitudes assigned to historical earthquakes: application to the La Tour-du-Pin 1889 earthquake. *Comptes Rendus. Géoscience*, 353(S1)



ACROSS
ANR-20-CE03-0003



école —
normale —
supérieure —
paris — saclay —



Merci pour votre attention