



Conférence  
HAROS 2023  
Cergy  
Le 13/09/2023

<http://www.afps-seisme.org/>

L'Association Française de  
Genie Parasismique présente:

Une synthèse des méthodes de diagnostic et de  
confortement sismique pour le bâti courant  
Didier COMBESURE

Président de l'AFPS  
Technical Officer, Projet ITER , Barcelone  
[didier.combescure@f4e.europa.eu](mailto:didier.combescure@f4e.europa.eu)

# « Renforcement au séisme des constructions existantes »



Amatrice (octobre 2017)



Lorca  
(mai 2011)

# « Renforcement au séisme des constructions existantes »



Depuis le 1er janvier 2012, la nouvelle législation sismique nationale (décrets et arrêtés publiés en 2010 et 2011) est entrée en vigueur. Cette nouvelle législation modifie sensiblement les **règles de conception, dimensionnement ou de réalisation des constructions nouvelles** : nouveau zonage national et nouvelles représentations de l'aléa, nouveaux objectifs de performance des structures, nouvelles règles de calculs et nouvelles dispositions constructives réglementaires.

Elle ne traite cependant pas, ou que de manière très partielle, de la **problématique du renforcement des constructions existantes**.

La plupart de ces constructions existantes ont été conçues avant l'application des règles parasismiques dites « modernes » et ne sont donc pas en mesure a priori de supporter les sollicitations engendrées par un séisme réglementaire de dimensionnement.

De plus, l'évolution du zonage sismique national pose nécessairement la question de la **vulnérabilité des constructions**, y compris récentes, dans les zones où le niveau d'aléa à prendre en compte a été revu à la hausse.

# Apport de l'AFPS dans le domaine du diagnostic et renforcement : Cahiers techniques, Guides et Missions Post-Sismiques AFPS



## Introduction

### Organisation et production technique de l'AFPS

Cahiers et Guides techniques

Missions post-sismiques

### Quelques principes pour le diagnostic et le renforcement du bâti existant

### Quelques observations après des séismes récents

### Vers une classification sismique du bâti existant ?

### Renforcement et reconstruction ?

# Introduction



## La prévention contre le risque sismique

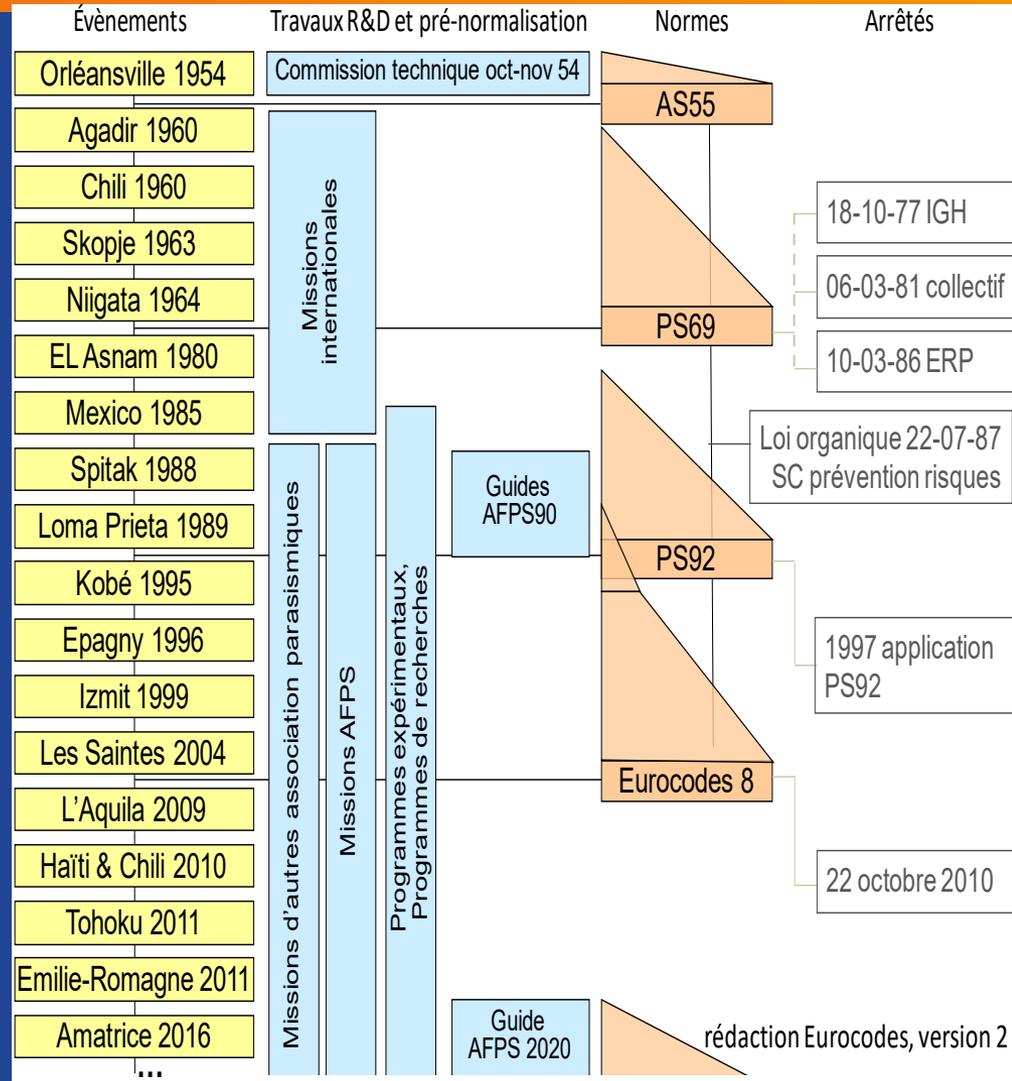
Retour d'expérience

Observation  
Expérimentation  
R&D

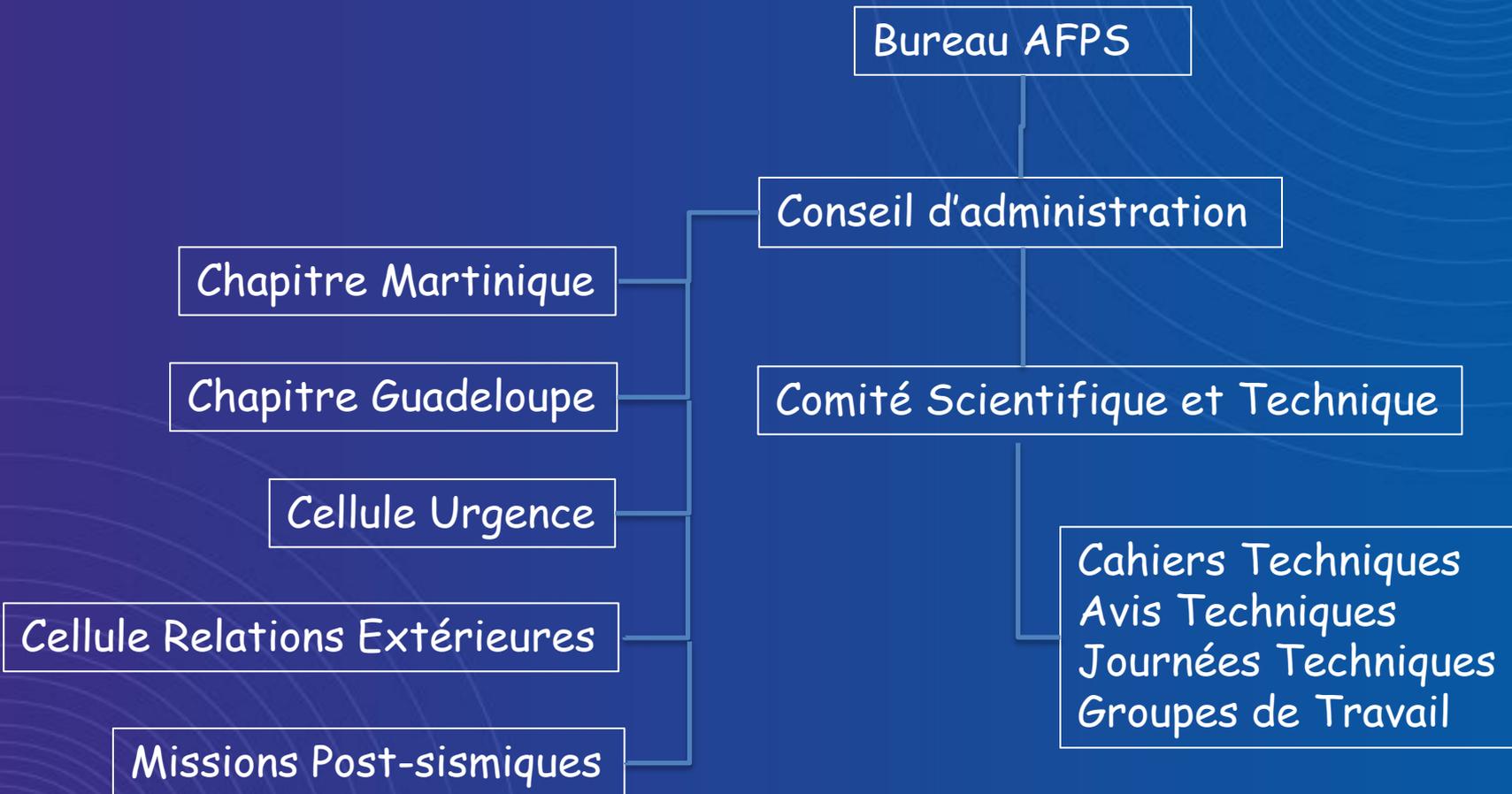
Arrêtés

Guides techniques

Normes



# Organisation de l'AFPS





# Missions post-sismiques



Tous les rapports disponibles sur le site internet AFPS :

<http://www.afps-seisme.org/PUBLI/Rapports-de-missions>

Accueil / PUBLI / Rapports de missions

### Rapports de missions

Vous trouverez ici les rapports de mission en version électronique ainsi que les bons de commande pour obtenir le rapport imprimé (à disposition limitée).

#### AFPS Rapport mission 2017 Mexico (Mexique)

- **Dates** : 19 septembre 2017 à 13:14 - Heure locale (18:14 TU)
- **Localisation** : Puebla, Etat de Puebla, Mexique;  
► 18° 34' 45" nord - 98° 23' 56" ouest
- **Magnitude selon l'échelle de Richter** : Mw 7,1
- **Origine et mécanisme sismotectonique** : faille normale
- **Profondeur du foyer** : 51 km

**Mots clés** : Mexique - instrumentation - renforcement - effets de sites - architecture, bâti historique  
**Prix 100,00 €**

#### AFPS Rapport mission 2016 Amatrice (Italie)

- **Dates** : 24 août 2016 à 03:36 - Heure locale (01:46 TU) et 30 octobre 2016 à 06:40 TU
- **Localisation** : Italie centrale, chaîne des Apennins, Latium (Rome) - Abruzzes;  
► 24/08/2016: Lat. (42° 79' N) - Long. (13°23' E)  
► 30/10/2016: Lat. (42° 91' N) - Long. (13°13' E)
- **Magnitude selon l'échelle de Richter** : Mv 6.0 (24/08/2016) et Mv 6.5 (30/10/2016)
- **Durée de l'évènement principal** : 10 et 30 secondes
- **Origine et mécanisme sismotectonique** : failles normales de direction extensionnelle
- **Profondeur du foyer** : 6 à 8 km
- **Surface de rupture** : 16 x 10 à 30 x 10=300 km<sup>2</sup>

**Mots clés** : Italie - crise sismique - instrumentation  
**Prix 0,00 €**

#### AFPS Rapport mission 2012 Séisme Emilie Romagne (Italie)

- **Date** : 20 mai 2012 à 02h03 - Heure locale (01h03 TU)
- **Localisation** : Italie, Finale Emilia, région d'Emilie,

Résumés rédigés par le groupe Jeune AFPS

**RAPPORT**  
de la mission post-sismique  
sur le séisme des Apennins du 24 août 2016 (Italie centrale)

Octobre 2016



Association Française du Génie Parasismique  
French Association for Earthquake Engineering

**RAPPORT**  
de la mission post-sismique sur le séisme du Mexique  
du 19 septembre 2017

Février 2018



Association Française du Génie Parasismique  
French Association for Earthquake Engineering

# CST - Cahiers techniques



## Domaines:

- Dimensionnement
- Réalisation
- Diagnostic de l'existant
- Renforcement
- Reconstruction
- Géotechniques
- Fondations
- Structures en bois
- Béton armé
- Maçonnerie
- Etc...



### CAHIER TECHNIQUE

Amélioration des connaissances des structures à renforcer aux Antilles

CT43 - Avril 2020



MINISTÈRE  
DU LOGEMENT  
ET DU TERRITOIRE  
RURALE



Association Française du Génie Parasismique  
French Association for Earthquake Engineering



### Réduction de la vulnérabilité sismique des maisons individuelles - Zone 5

Partie II – Recueil de solutions techniques à  
l'attention des professionnels

Cahier Technique N° 49



### CAHIER TECHNIQUE

Guide de règles parasismiques simplifiées applicable à des bâtiments courants

CT42 - Mars 2020



MINISTÈRE  
DU LOGEMENT  
ET DU TERRITOIRE  
RURALE



Association Française du Génie Parasismique  
French Association for Earthquake Engineering

### CAHIER TECHNIQUE

Assessment of the risk of earthquake-induced soil liquefaction  
*Practical knowledge and applications to geotechnical projects*

CT45 - April 2021



Association Française du Génie Parasismique  
French Association for Earthquake Engineering

# Cahiers techniques



## Cahier Technique 49 et 48:

Réduction de la vulnérabilité sismique des maisons individuelles en zone 5  
- Partie I - Guide à l'attention des propriétaires et Partie II - Recueil de solutions techniques à l'attention des professionnels

## Cahier Technique 47 et 46:

Réduction de la vulnérabilité sismique des maisons individuelles en zone 4  
- Partie I - Guide à l'attention des propriétaires et Partie II - Recueil de solutions techniques à l'attention des professionnels

## Cahier Technique 43 :

Amélioration des connaissances des structures à renforcer aux Antilles

## Cahier Technique 39

Renforcement parasismique des établissements scolaires aux Antilles - Etude de faisabilité par charpente métallique extérieure (GERIS/REANT)

## Cahier Technique 37

Guide méthodologique pour la quantification du risque et de la conformité sismique des bâtiments (GERIS/QRIR)



# Cahiers et Guides techniques



## Guide AFPS-CSTB (Mars 2013)

Diagnostic et renforcement du bâti existant vis-à-vis du séisme

Groupe de travail AFPS-CSTB

## Cahier Technique N°35 (2014)

Travaux et vulnérabilité

Évaluation de l'incidence de travaux sur la vulnérabilité au séisme d'un bâtiment existant - Grille d'analyse

## Cahier Technique N°33 (2014)

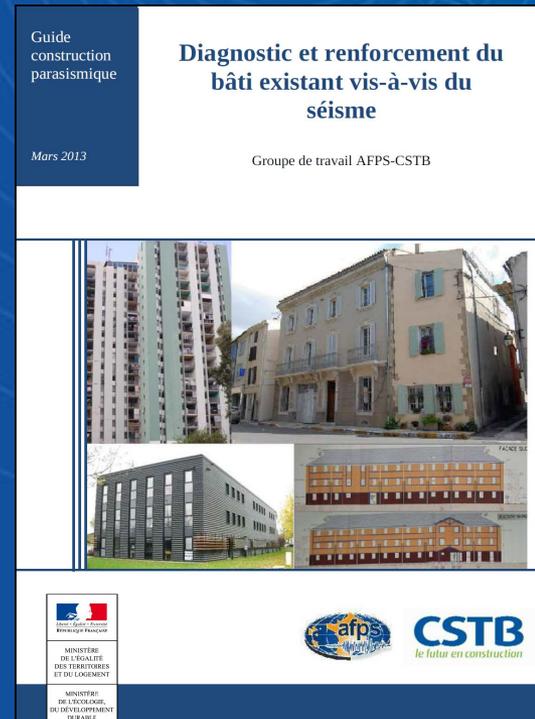
Méthodes d'évaluation et de renforcement sismique

de structures poteaux-poutres : application aux

écoles, collèges et lycées de Guadeloupe et Martinique

## Guides ICPE-UIC (2014)

Confortement des installations industrielles existantes (Guides Méthodologie générale, structure supports)



# CST-Journées techniques



## Journées techniques sur les thèmes du Renforcement et Diagnostic:

- Journée technique « Renforcement parasismique des constructions existante », CEREMA-AFPS-AFGC, Aix-en-Provence, 27 Novembre 2014
- Journée Renforcement à Lourdes le 30 septembre 2017 (D. Davi, D. Combescure) avec le soutien de la DGPR,
- Journées Renforcement aux Antilles les 24 et 27 octobre 2017 (P. Quistin et C. Hemart) avec le soutien de la DGPR,
- Proposition de journée technique Renforcement avec visite d'ouvrages à L'Aquila au printemps 2018
- Journée ANR-RECAP: Masonry techniques in the face of earthquakes, from Antiquity to the present: prospects for multidisciplinary studies le 20 octobre 2017 (ENS, Rue d'Ulm, Paris)

# Masonry's resistance and resilience to earthquakes

## AFPS International conference ENSA Paris-Malaquais Paris 24-25 May 2022



### Organisation:

- Laboratoire GSA (ENSA Paris-Malaquais) – M. Brocato
- Groupement d'Intérêt Scientifique sur les Maçonnerie MaGIS (<https://www.unilim.fr/recherche-gc/magis/> )
- Groupe de travail Bâti historique, Structures en pierre et maçonnerie et Séismes de l'AFPS



École nationale supérieure  
d'architecture Paris-Malaquais

[Lien Site Internet AFPS](https://www.unilim.fr/recherche-gc/magis/)

# Diagnostics et Renforcement

## Quelques principes



### Diagnostic :

Difficultés: Connaissance de l'existant (ferraillage, etc...)  
Estimation de la résistance réelles (capacité)

### Renforcement:

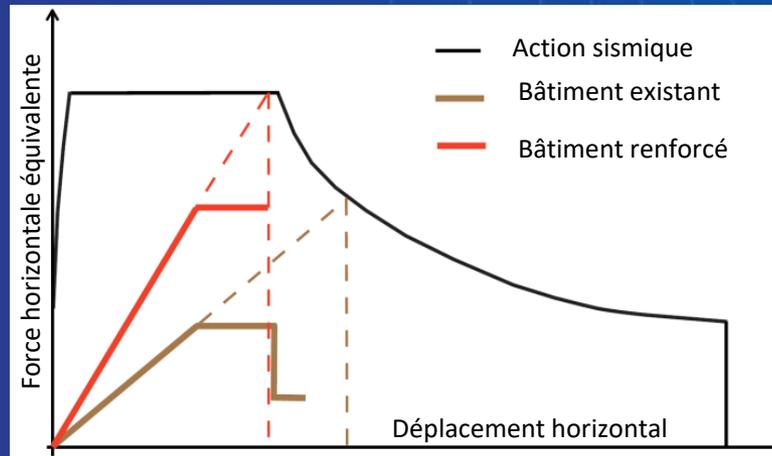
Le renforcement n'est généralement pas effectué pour obtenir un bâtiment « neuf » aux normes.

Un bâtiment renforcé peut s'endommager en cas de séisme majeur.

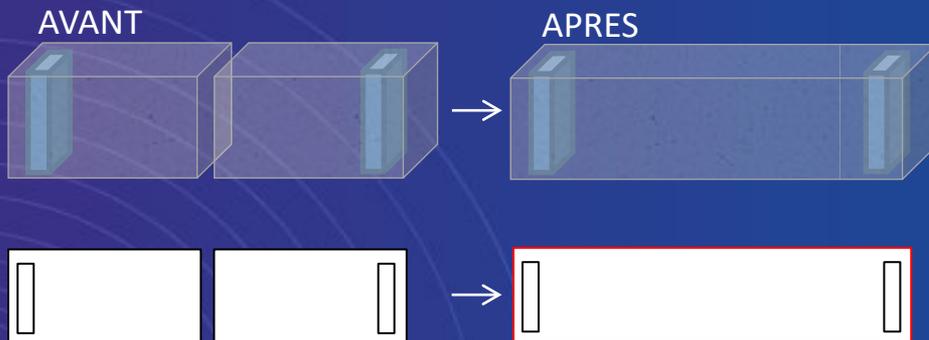
Plusieurs stratégies possibles et pouvant être combinées:

- Amélioration de la régularité
- Amélioration de la résistance
- Amélioration de la ductilité
- Isolation de la structure principale (baisse de la fréquence)
- Augmentation de la capacité de dissipation
- Réduction de la masse
- Changement de destination

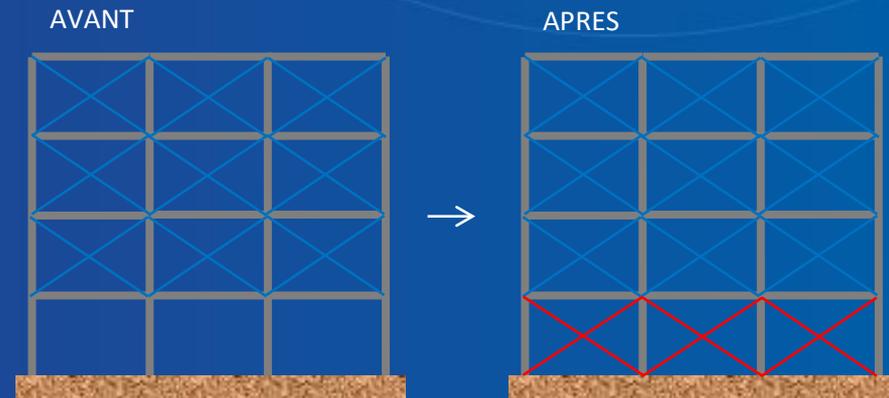
# Stratégies de renforcement:



Amélioration de la résistance



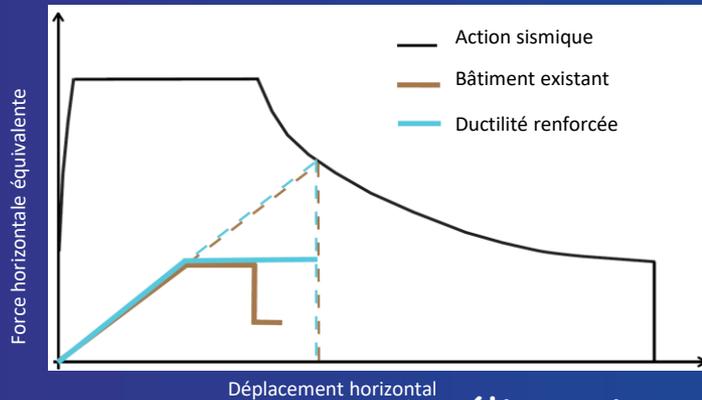
En plan



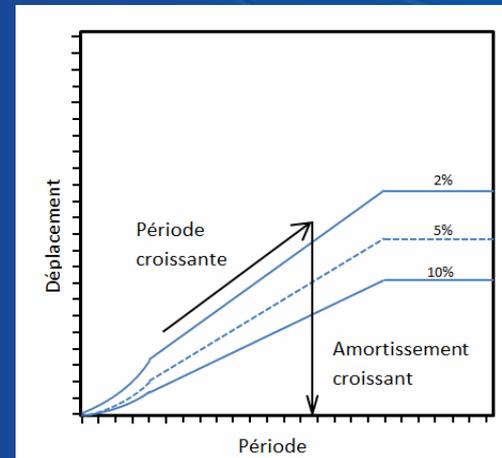
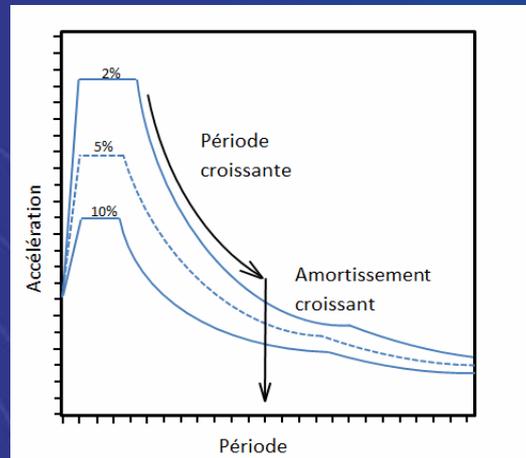
En élévation

Amélioration de la régularité

# Stratégies de renforcement:



## Amélioration de la ductilité



Isolation de la structure principale et réduction des actions sismiques  
baisse de la fréquence et/ou amortissement

# Missions post-sismiques AFPS



## Objectifs de ces missions:

- Faire un retour d'expérience (REX) de ces événements du point de vue technique (application des normes, gestion de crise, etc...),
- Former les jeunes spécialistes techniques travaillant en France dans ce domaine (sismologie, ingénieurs structures ou géotechniques, architectes, gestionnaires des crises et prévention des risques naturels, etc...).



Lorca, 2011



Adana (Turquie), 1998

# Missions post-sismiques AFPS

## Structures industrielles



Désordres observés sur des structures préfabriquées (Emilie-Romagne, Italie, 2012)

# Missions post-sismiques AFPS

## Structures industrielles



Désordres observés sur des structures métalliques (Emilie-Romagne, Italie, 2012)

# Missions post-sismiques AFPS

## Éléments non-structuraux



Désordres observés sur des éléments non structuraux  
(Lorca, Espagne, 2011)

# Missions post-sismiques AFPS

## Éléments non-structuraux



Rupture hors-plan au rez-de-chaussée d'un collège à proximité de la sortie



Rupture de la maçonnerie et décollement des carrelages dans une école primaire (structure métallique)

# Missions post-sismiques AFPS

## Bati ancien et renforcement



Confortement par tirants horizontaux: Bâti rural avec quelques traces de confortements sismiques à quelques kilomètres d'Amatrice et à Pescara del Tronto



Bâtiment en maçonnerie R+2 ayant subi un confortement sismique (Amatrice - Corso Umberto)



Norcia (16/10/2016)  
Dommages limités et exemples de dispositions  
constructives et d'urbanisme  
Règlements pour la reconstruction en 1859  
(puis 1979 et 1997)

# Quelques chiffres



**Coût de la reconstruction:** Quelques chiffres de «Lo Stato del Territorio Italiano - Insediamiento e rischio sismico e idrogeologico», Rapport ANCE/CRESME, 2012

- Coût de quelques séismes majeurs: de 8 à 50 milliards d'Euros (pour l'Etat italien)
- Durée de la reconstruction: 14-45 ans

**Estimation pour les séismes d'Accumoli, Visso et Norcia (2016): 25 milliards d'Euros**

**TABELLA 6.12. - I FINANZIAMENTI STATALI PER I PRINCIPALI TERREMOTI**

**IMPORTI IN MILIONI DI EURO**

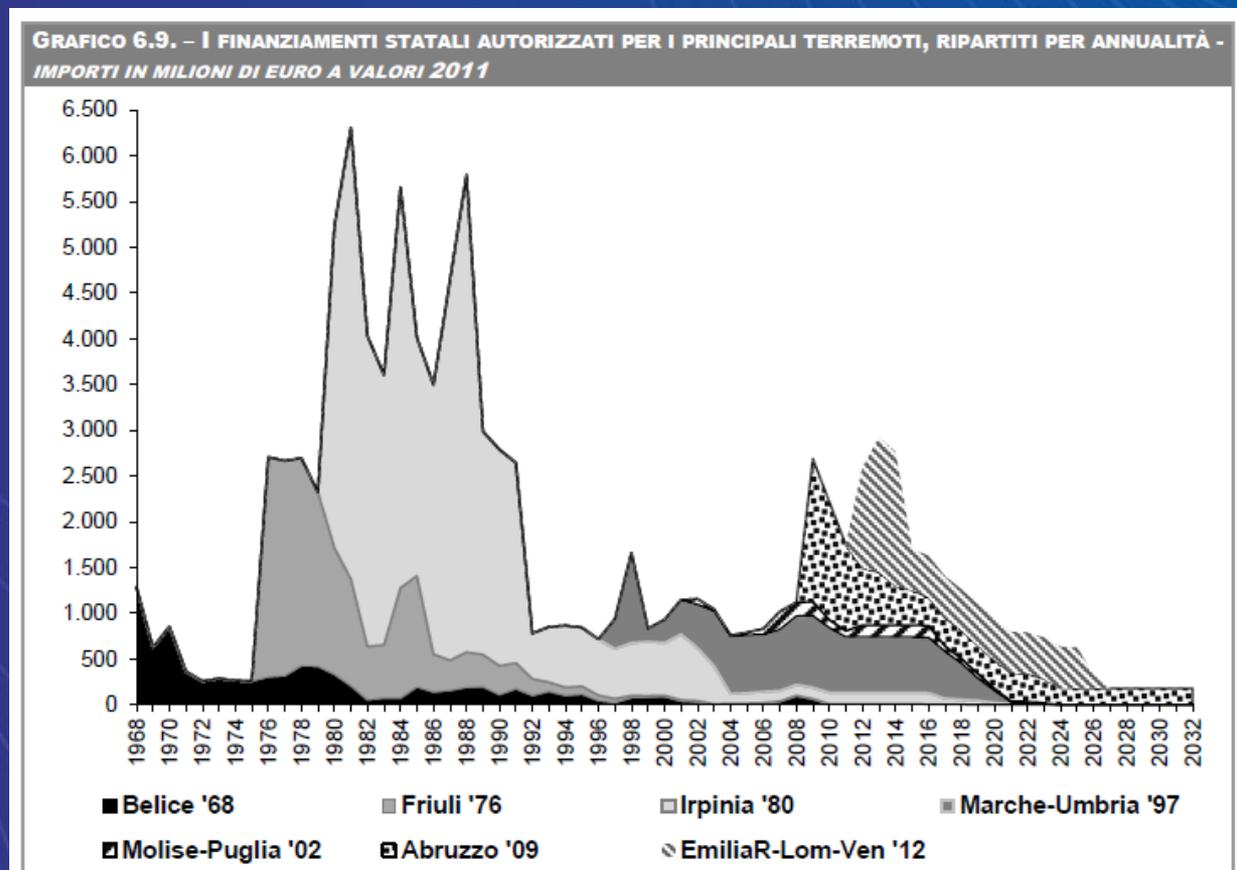
	Importo finanziamenti a prezzi 2011	Periodo di riferimento	Morti	Senza tetto
Valle del Belice - 1968	8.801	1968-2018	370	70.000
Friuli Venezia Giulia - 1976	17.776	1976-2006	989	45.000
Irpinia 1980	49.882	1980-2023	2.914	280.000
Marche-Umbria 1997	12.909	1997-2024	11	32.000
Molise e Puglia - 2002	1.713	2002-2023	30	5.700
Abruzzo - 2009 (a)	9.802	2009-2033	308	67.500
Emilia Romagna, Lombardia e Veneto - 2012	9.131	2012-2026	27	15.000
<b>TOTALE</b>	<b>110.012</b>	<b>1968-2033</b>	<b>4.649</b>	<b>515.200</b>

Fonte: Elaborazione Cresme su dati Servizio Studi Camera dei Deputati, CIPE, Ministero Coesione Territoriale, Leggi finanziarie 2009-2011, Decreti-Legge 39/2009, 74/2012, 83/2012 e 95/2012

# Quelques chiffres



**Coût de la reconstruction:** Quelques chiffres de «Lo Stato del Territorio Italiano - Insediamiento e rischio sismico e idrogeologico», Rapport ANCE/CRESME, 2012.



Fonte: Elaborazione Cresme su dati Servizio Studi Camera dei Deputati (terremoti Belice, Friuli, Irpinia, Marche-Umbria, Molise e Puglia, CIPE, Ministero Coesione Territoriale, Leggi finanziarie 2009-2011, Decreti-Legge 39/2009, 74/2012, 83/2012 e 95/2012)

# Evolution normative en Italie

## Vers une classification du bâti existant

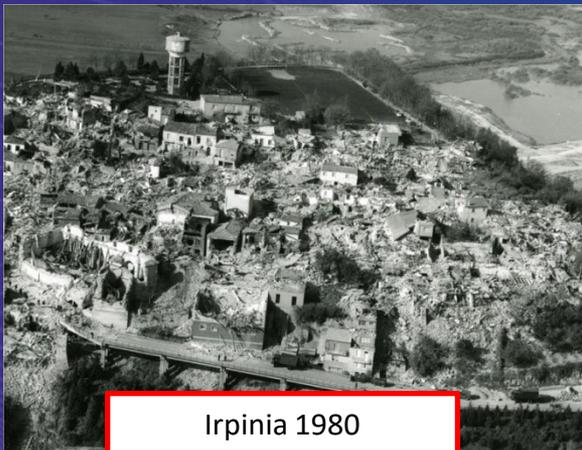


Constat: Depuis 50 ans, les séismes en Italie ont produit environ **5 000 décès** et une dépense moyenne d'environ **3 milliards €/an** pour l'urgence et la reconstruction

Les causes sont la sismicité importante du territoire et la vulnérabilité élevée du parc immobilier

L'objectif du gouvernement est de mitiger le risque sismique tout en promouvant la connaissance et la prévention

➔ Décret du Ministère italien des infrastructures et des transports du **28 février 2017**: « Lignes Directrices relatives à la classification du risque sismique des constructions »



Irpinia 1980



L'Aquila 2009



Amatrice 2016

# Evolution normative en Italie

## Vers une classification du bâti existant



Décret du Ministère italien des infrastructures et des transports du **28 février 2017**: « Lignes Directrices relatives à la classification du risque sismique des constructions »

- Estimation de :
  - la Perte Annuelle Moyenne attendue (PAM)
  - de l'Indice de Sécurité pour la sauvegarde de la Vie (IS-V) suivant la vulnérabilité du bâtiment existant et de la zone sismique
- Classement du bâti suivant son PAM et son IS-V et selon une échelle similaire aux classes énergétiques
- Déduction fiscale de 50% à 85% du montant des travaux de confortement suivant le niveau d'amélioration (une ou deux classes)

Energy Class	Residential - kWh/m <sup>2</sup>
 A+	$EP_{tot} < 25$
 A	$25 < EP_{tot} < 40$
 B	$40 < EP_{tot} < 80$
 C	$80 < EP_{tot} < 130$
 D	$130 < EP_{tot} < 170$
 E	$170 < EP_{tot} < 250$
 F	$250 < EP_{tot} < 400$
 G	$EP_{tot} > 400$

# Conclusion

## Renforcement au séisme des constructions existantes



### **Le renforcement des structures existantes: un problème économique**

Sauf lorsqu'elle est imposée réglementairement dans le cas d'une intervention lourde de nature à modifier l'usage d'un bâtiment ou bien dans le cas de certaines installations classées pour la protection de l'environnement, l'engagement d'une **démarche de renforcement au séisme des constructions existantes** et le niveau de ce renforcement sont généralement **laissées à l'initiative des maîtres d'ouvrages** et résultent donc d'une **démarche volontariste** de leur part.

### **Donc nécessité de profiter des campagnes de rénovation (thermique)**

Actuellement un Groupe de travail sur le thème: **Valorisation de la vague de rénovation (Green Deal européen ou Vague Verte)** pour la réduction de la **vulnérabilité sismique des bâtiments résidentiels**

**Et la reconstruction ?**

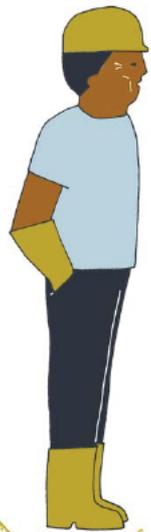
# Renforcement et reconstruction

Guide AFPS - Reconstruction parasismique au Nepal (2016)



## ढुङ्गा, ईटा र रुबलबाट बनेका भवनहरूमाथि भुकम्पको प्रभाव

यदि घरका भित्ताहरू एक  
आपसमा र छानोसँग संयोजित  
छैनन् भने भित्ताहरू भेटिने  
स्थानबाट भुकम्प पछि भत्कन



विशेषतः भुकम्प पछि ढुङ्गा, ईटाका  
भवनहरू भत्कने अवस्था :  
• ढुङ्गा संयोजन पखाल र सेपरेसन  
पखालका तत्वहरू कुनामा जोडिन  
असफल हुनु  
• ढुङ्गाका भवनबाट ढुङ्गाहरू विभाजित  
हुनु ।



पूर्ण क्षति



ढुङ्गाहरूले  
कसिएको भित्तामा



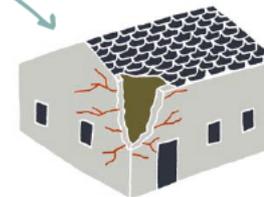
पखालको मध्य भागमा ठूलो  
भागको पतन  
(पार्श्ववर्ती जोडाइ नभएको)



चुली भत्काइ (ठाडो र तेर्सो पखालको  
पेटिको बीचमा आइ नभएको)



भित्ताहरू लम्बाकारबाट बाहिर  
निक्लेँदै (छानो र भित्ताहरू  
विच खराब सम्बन्ध)



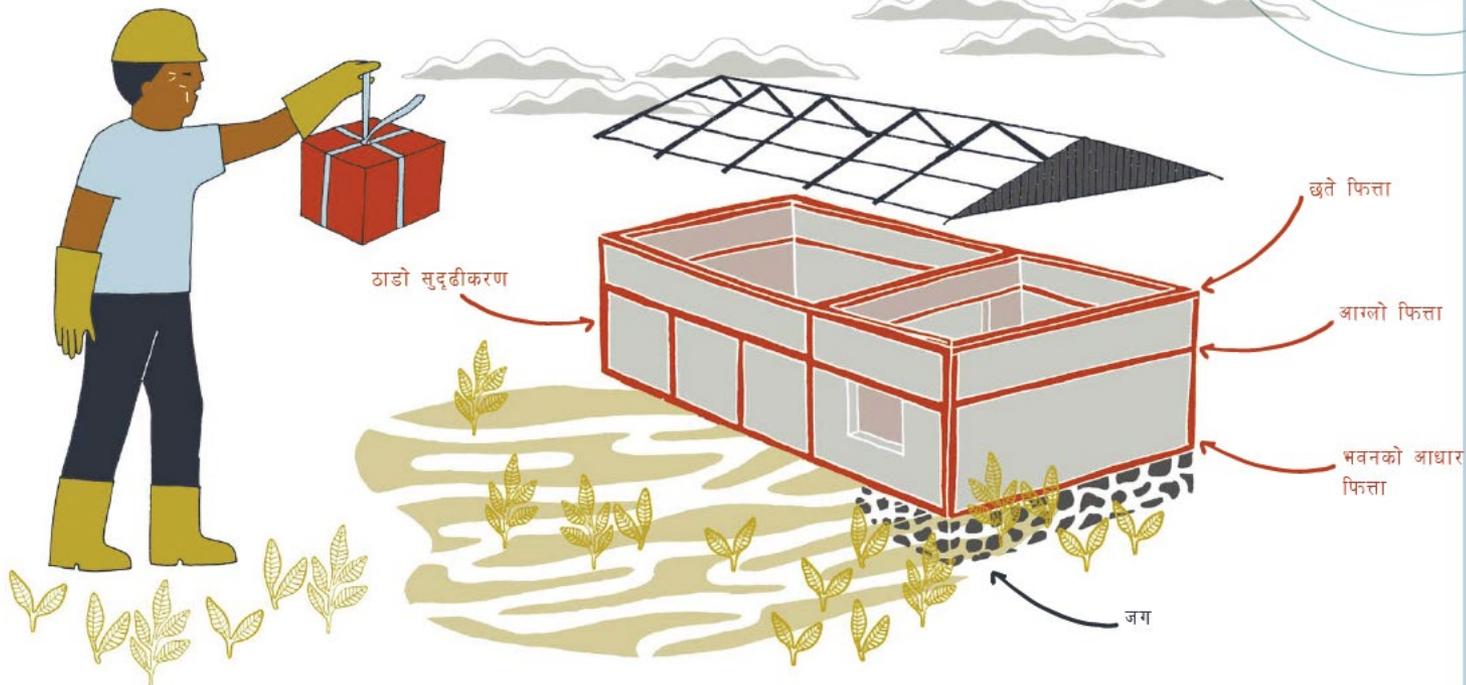
कुना भत्काइ (भित्ताहरूको  
विचमा सुदृढीकरण फिता  
नभएको)

# Renforcement et reconstruction

Guide AFPS - Reconstruction parasismique au Nepal (2016)



राम्राे भुकम्पीय आचरण तथा यसबाट हुने पतनबाट जाे गिन उपहारकाे पोकाेकाे रूपमा मोनोलित भवन बनाऊ छते



भुकम्प सुरक्षित घरका लागि आवश्यक आन्तरिक तत्वहरू