

Journées techniques
organisées avec l'appui du Sétra
et sous l'égide de la CoTITA

PRISE EN COMPTE DU RISQUE SISMIQUE

Mardi 27 mars 2012
Lundi 2 et mardi 3 avril 2012

CETE Méditerranée, Aix-en-Provence



Ressources, territoires, habitats et logement
Énergies et climat Développement durable
Prévention des risques Infrastructures, transports et mer

**Présent
pour
l'avenir**

Journées techniques
organisées avec l'appui du Sétra
et sous l'égide de la CoTITA

PRISE EN COMPTE DU RISQUE SISMIQUE

Prise en compte du risque sismique sur les bâtiments

Rémy CHAILLE, Lucie CHEVER
CETE Méditerranée



Sommaire

1. Cadre réglementaire
2. Conception des bâtiments
3. Apports du retour d'expérience
4. NEUF – CRC parasismiques
5. EXISTANT – réduire la vulnérabilité
6. Documentation



1. Cadre réglementaire

Cadre réglementaire

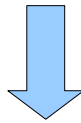
Décrets, arrêtés, circulaires

TEXTES GÉNÉRAUX

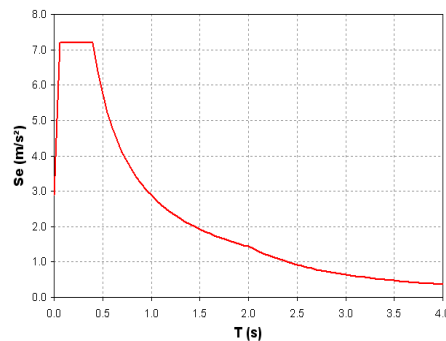
MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DE L'ÉNERGIE, DU DÉVELOPPEMENT
DURABLE ET DE LA MER, EN CHARGE
DES TECHNOLOGIES VERTES ET DES NÉGOCIATIONS SUR LE CLIMAT

Arrêté du 22 octobre 2010 relatif à la classification et aux règles de construction parasismique
applicables aux bâtiments de la classe dite « à risque normal »

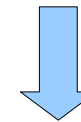
NOR : DEVP1015475A



Définition de l'aléa :
accélération, spectre



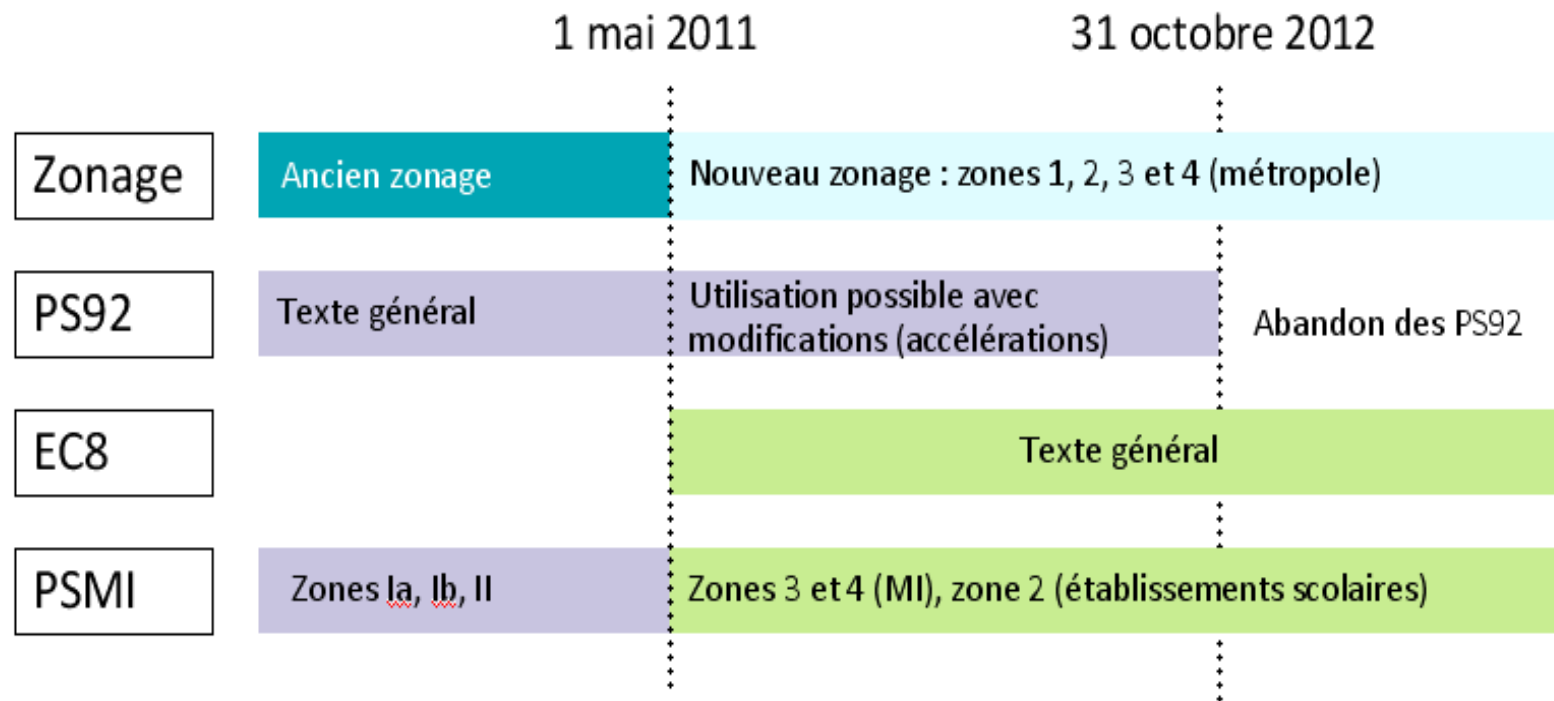
Définition des catégories
d'importance



Définition des règles de
construction applicables

NF EN 1998-1 :
Bâtiment généralité
NF EN 1998-3 :
Bâtiments existants
NF EN 1998-5 :
Géotechnique
PSMI / CPMI Antilles

Cadre réglementaire



- **PC avant le 1er mai 2011** : ancien zonage, application des PSMI ou des PS92
- **PC entre le 1er mai 2011 et le 31 octobre 2012** : nouveau zonage, application PSMI, PS92 ou Eurocode 8
- **PC à partir du 1er novembre 2012** : nouveau zonage, PSMI ou Eurocode 8

2. Conception des bâtiments

Conception des bâtiments

Conditions de sol et implantation du bâtiment

- Se préserver des **effets induits** des séismes : chute de blocs, glissement de terrain, affaissement d'une cavité, liquéfaction (dans les zones 3 et 4)

Abruzzes, Italie, 2009
(CETE Méditerranée)



- **Connaissance du sol**

NF EN 1998-1

3.1.1 Généralités

(1) P Des investigations appropriées doivent être réalisées en vue de classer le sol conformément aux classes indiquées en 3.1.2.

(2) D'autres indications concernant l'investigation et la classification des sols sont données dans l'EN 1998-5 :2004, 4.2.

(3) Il y a lieu que le site de construction et la nature du terrain de fondation soient normalement exempts de risques de rupture du terrain, d'instabilité des pentes et de tassements permanents causés par liquéfaction ou densification du sol en cas de séisme. La possibilité d'apparition de tels phénomènes doit être examinée conformément aux exigences de l'EN 1998-5 :2004, Article 4.

Conception des bâtiments

Conditions de sol et implantation du bâtiment

PS92

Eurocode 8

Tableau 2 Paramètres d'identification des sols

Type de sol		Péné- tromètre statique	SPT Nombre de coups	Pressiomètre		Résis- tance	Densité relative	Indice de compres- sion	Vitesse des ondes de cisail- lement		
				Module	Pression limite				Vitesse des ondes longi- tudinales	Vitesse des ondes longi- tudinales	
		Résis- tance (MPa)		Module (MPa)	Pression limite (MPa)	Compres- sion simple (MPa)	(%)	(C_c)			(m/s)
Rochers	Rochers sains et craies dures			> 100	> 5	> 10			> 800		> 2500
Catégorie a Sols de bonne à très bonne résistance mécanique	Sols granulaires compacts	> 15	> 30	> 20	> 2		> 60			> 1800	> 800
	Sols cohérents (argiles ou marnes dures)	> 5		> 25	> 2	> 0,4		< 0,02	> 400		> 1800
Catégorie b Sols de résistance mécanique moyenne	Rochers altérés ou fracturés			50 à 100	2,5 à 5	1 à 10			300 à 800		400 à 2500
	Sols granulaires moyen- nement compacts	5 à 15	10 à 30	6 à 20	1 à 2		40 à 60			1500 à 1800	500 à 800
	Sols cohérents moyen- nement consistants et craies tendres	1,5 à 5		5 à 25	0,5 à 2	0,1 à 0,4		0,02 à 0,10	150 à 400		1000 à 1800
Catégorie c Sols de faible résistance mécanique	Sols granulaires lâches	< 5	< 10	< 6	< 1		< 40				
	Sols cohérents mous (argiles molles ou vases) et craies altérées	< 1,5	< 2	< 5	< 0,5	< 0,1		> 0,10	< 150	< 1500	< 500

Classe de sol	Description du profil stratigraphique	Paramètres		
		$v_{s,30}$ (m/s)	N_{SPT} (coups/30 cm)	C_u (kPa)
A	Rocher ou autre formation géologique de ce type comportant une couche superficielle d'au plus 5 m de matériau moins résistant	> 800	—	—
B	Dépôts raides de sable, de gravier ou d'argile sur-consolidée, d'au moins plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur, caractérisés par une augmentation progressive des propriétés mécaniques avec la profondeur	360 – 800	> 50	> 250
C	Dépôts profonds de sable de densité moyenne, de gravier ou d'argile moyennement raide, ayant des épaisseurs de quelques dizaines à plusieurs centaines de mètres	180 – 360	15 – 50	70 – 250
D	Dépôts de sol sans cohésion de densité faible à moyenne (avec ou sans couches cohérentes molles) ou comprenant une majorité de sols cohérents mous à fermes	< 180	< 15	< 70

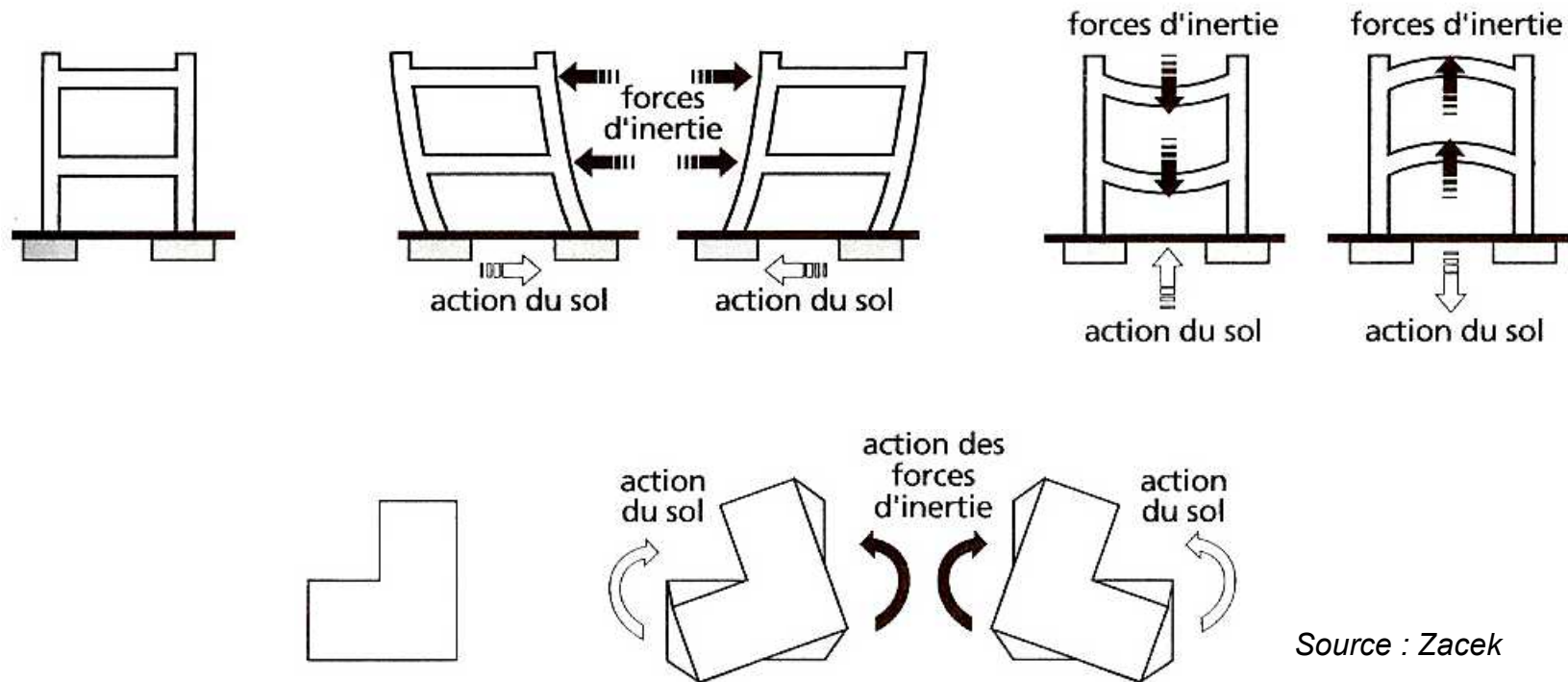
Classe de sol	Description du profil stratigraphique	Paramètres		
		$v_{s,30}$ (m/s)	N_{SPT} (coups/30 cm)	C_u (kPa)
E	Profil de sol comprenant une couche superficielle d'alluvions avec des valeurs de v_s de classe C ou D et une épaisseur comprise entre 5 m environ et 20 m, reposant sur un matériau plus raide avec $v_s > 800$ m/s			
S_1	Dépôts composés, ou contenant, une couche d'au moins 10 m d'épaisseur d'argiles molles/vases avec un indice de plasticité élevé ($PI > 40$) et une teneur en eau importante.	< 100 (valeur indicative)	—	10 – 20
S_2	Dépôts de sols liquéfiables d'argiles sensibles ou tout autre profil de sol non compris dans les classes A à E ou S_1 .			

Conception des bâtiments

Le projet architectural et son dimensionnement

Effet d'un tremblement de terre sur une construction :

- Action dynamique
- A trois composantes
- Transmises au niveau du sol



Source : Zacek

Conception des bâtiments

Le projet architectural et son dimensionnement

4.2 Caractéristiques des bâtiments résistant aux séismes

Eurocode 8

4.2.1 Principes de base de la conception

(1)P Dans les zones sismiques, l'aléa sismique doit être pris en compte **aux premiers stades de la conception** d'un bâtiment, ce qui permet ainsi de réaliser un système structural qui, pour un coût acceptable, respecte les exigences fondamentales spécifiées en 2.1.

Repérer le système constructif qui doit résister à l'action sismique

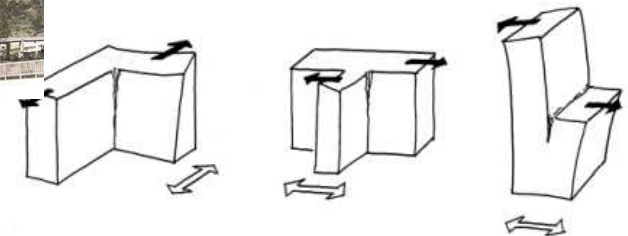
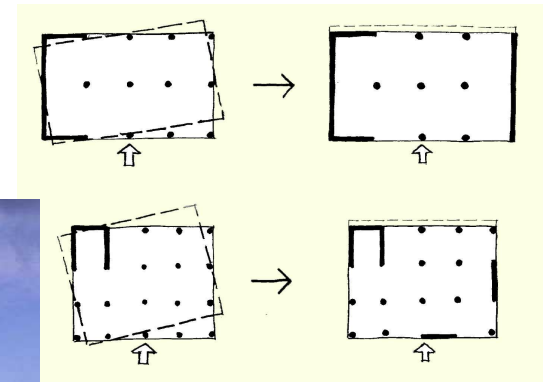
(2) Les principes qui guident la conception vis-à-vis de l'aléa sismique sont :

- la simplicité de la structure ;
- l'uniformité, la symétrie et l'hyperstaticité ;
- **la résistance et la rigidité dans les deux directions ;**
- **la résistance et la rigidité vis-à-vis de la torsion ;**
- l'action des diaphragmes au niveau des planchers ;
- des fondations appropriées.

Conception des bâtiments

Le projet architectural et son dimensionnement

- Continuité des éléments de contreventements verticaux
- Limiter les porte-à-faux
- Équilibrer la disposition des contreventements
- Adopter des formes simples en plan et en élévation
- Attention aux niveaux souples
- Attention aux poteaux courts
- Qualité d'exécution





3. Apports du retour d'expérience

REX L'Aquila

Le séisme du 6 avril 2009 – Bilan au 17 sept. 2009 :

308 décès

1 179 blessés

11 disparus

15 000 bâtiments détruits

10 000 autres à démolir ou à réparer

Coût des réparations : 3 Mds d'euros

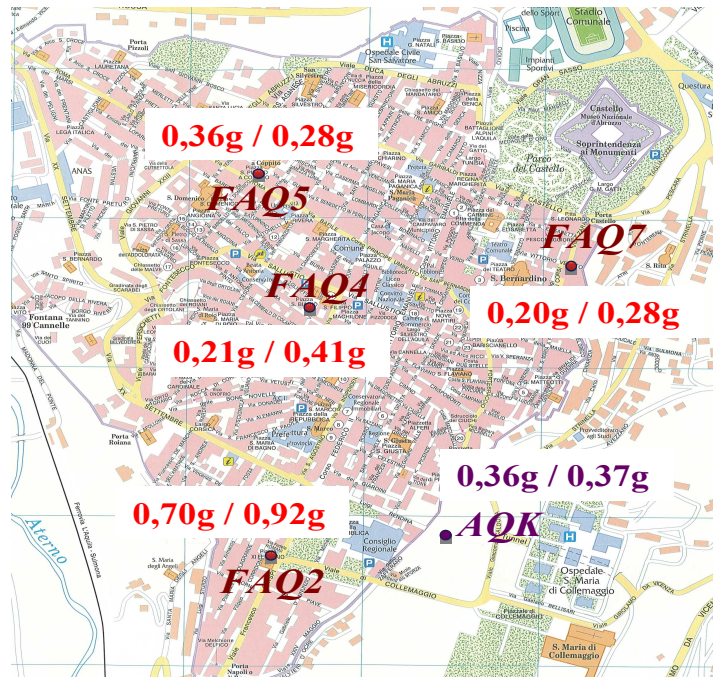


36 villes et villages évacués, dont
l'Aquila (72 000 hab.)

Près de 70 000 sans-abris déplacés,
dont 6 000 toujours logés dans des
camps de toile (17 sept. 2009)

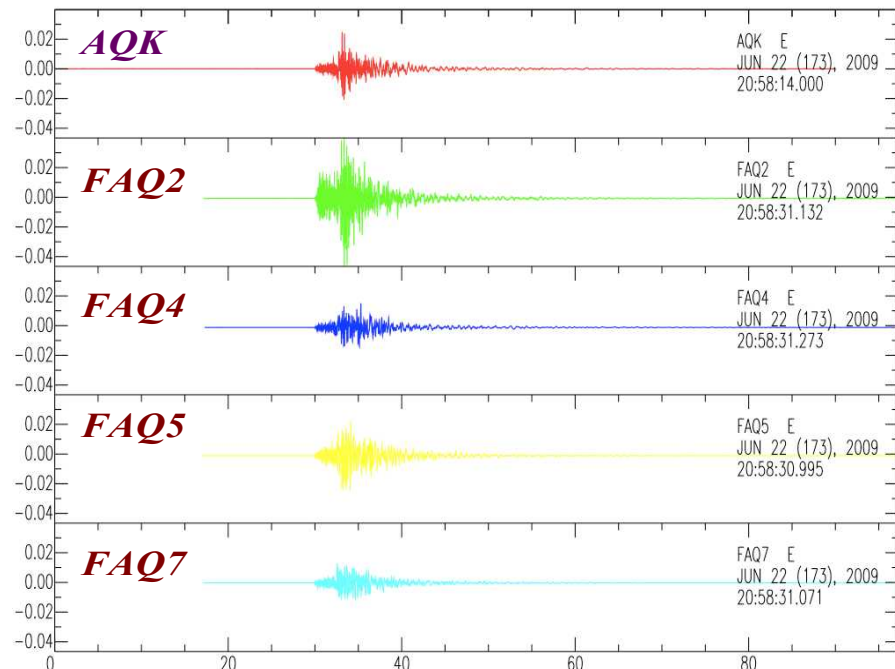
REX L'Aquila

Forte variabilité du mouvement sismique à petites distances : importance de l'étude géotechnique



PGA V / PGA H

Estimation des accélérations verticale et horizontale dans le centre-ville de L'Aquila

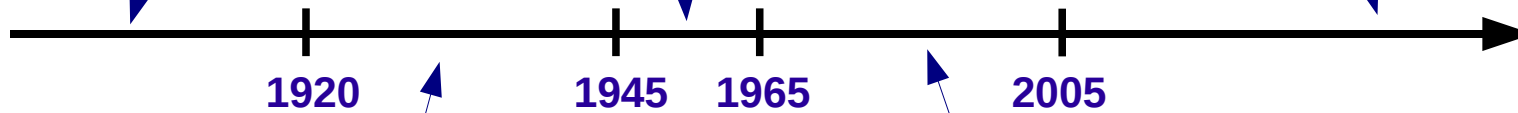


Réplique : 22/09/2009 - 8:58pm, Mw=4,5

ERA 06 « Risque sismique »
CETE Méditerranée

REX L'Aquila

Typologies et modes constructifs variés



REX L'Aquila

Avant 1920 - Habitat rural



Avant 1920 - Centre urbain

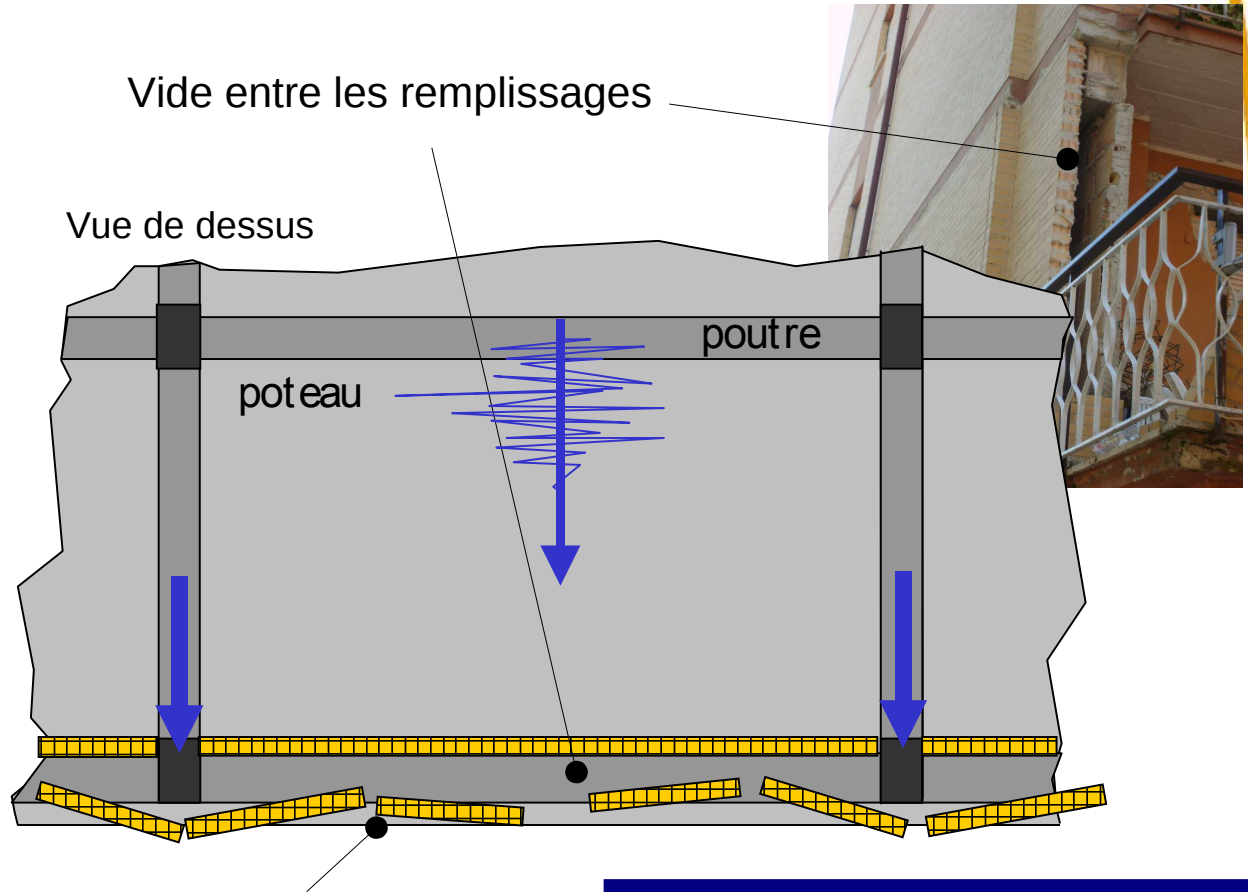
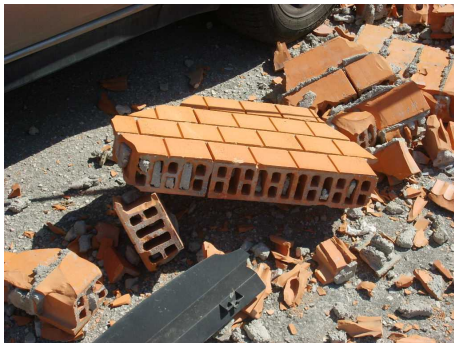
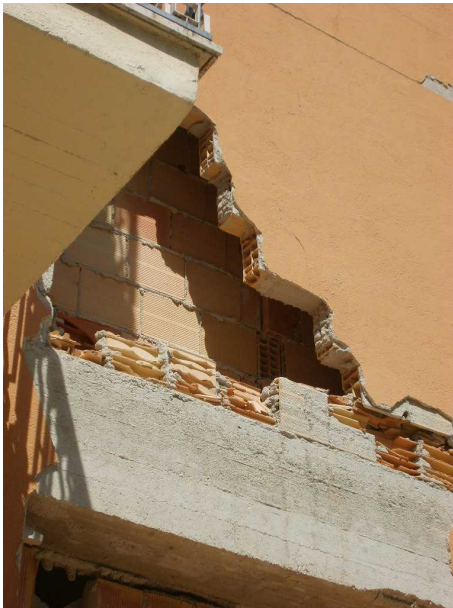


ENDOMMAGEMENT généralisé

ENDOMMAGEMENT très important

REX L'Aquila

De 1965 à 2005 - Ossature avec double remplissage



Mur remplissage extérieur
en briques creuses

**ENDOMMAGEMENT important
mais limité au remplissage**

REX L'Aquila

Construction neuve



Même ossature en béton armé

Remplissage en briques de plus grande épaisseur

ENDOMMAGEMENT faible

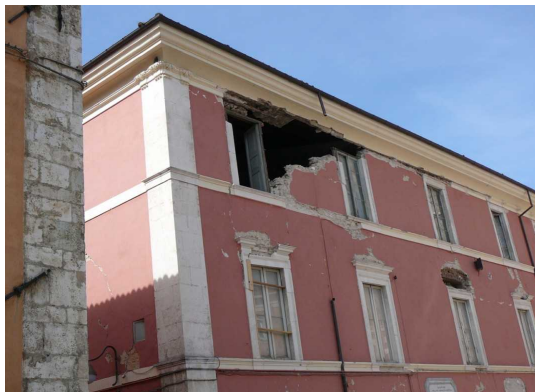
REX L'Aquila

Quelques facteurs de vulnérabilité

Maçonnerie en voûte (+ ou – vulnérable selon l'ouverture de la voûte)



Éjections de façades et parement non liaisonnés



REX L'Aquila

Quelques facteurs de vulnérabilité

Entrechoquements de bâtiments de hauteurs différentes

- Déphasage des mouvements
- Planchers non alignés

Mauvaise qualité de la maçonnerie

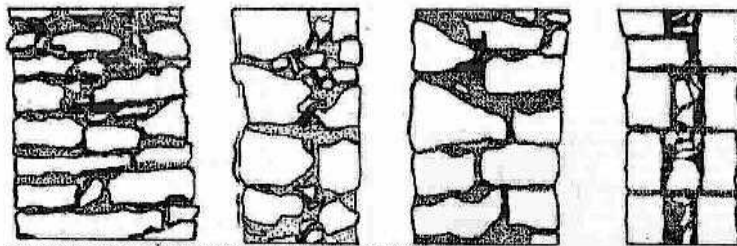


Figure 2. Some examples of stone masonry wall sections.

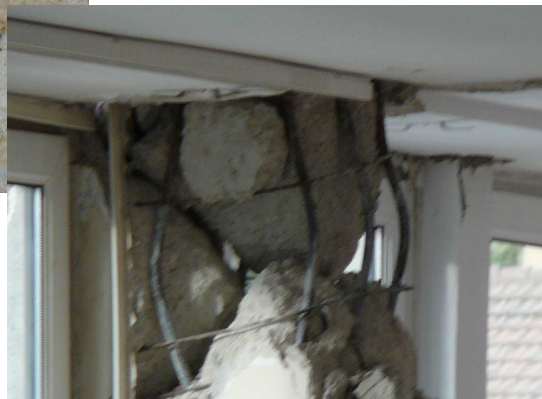


REX L'Aquila

Quelques facteurs de vulnérabilité

Dispositions constructives défailiantes (béton armé)

- Mauvaise qualité de béton
- Aciers lisses (réglementaire en Italie jusqu'en 1970)
- Cadres trop espacés
- Poteaux courts



REX L'Aquila

Évaluation des dommages : relevés systématiques

Identification périls immédiats

Mise en œuvre de mesures provisoires d'urgence

Relogement de la population

Reprise de l'activité économique et de production

Réduction de l'étendue des zones non sécurisées (zones rouges)

Distribution des aides matérielles et financières

Base de données pour l'analyse du comportement du bâti existant

Réglementation sur le neuf et l'existant



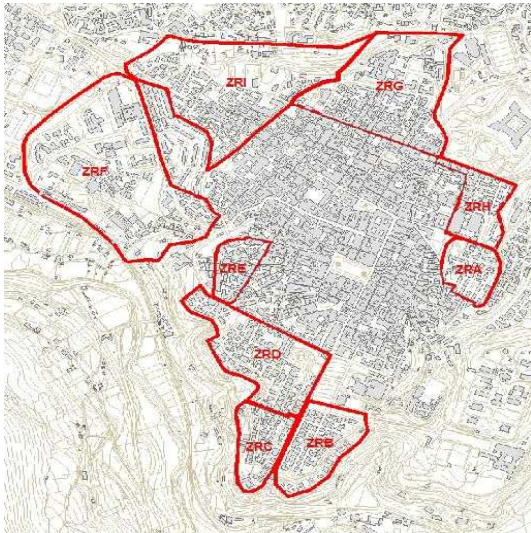
REX L'Aquila

Équipes d'inspecteurs



- Disponibles
- Nombreux
- Formés

Découpage en zones d'évaluation



Données bâti à jour

Fiche de relevé

SEZIONE 1 Identificazione edificio

Provincia: _____ Comune: _____

Frazione/Località: _____

Indirizzo: _____

1 via
2 corso
3 vicolo
4 piazza
5 altro: _____

Num. Civico: _____

Posizione edificio: 1 Isolato 2 Interno 3 D'annessione 4 Drangolo

Denominazione edificio o proprietario: _____

SEZIONE 2 Descrizione edificio

N° piani totali con interrati	Altezza media di piano [m]	Superficie media di piano [m²]		Età	Classificazione strutturale (max 2)	Uso	N° unità d'uso	Utilizzazione	Occupanti			
		A	B						100	99	1	
1	≤ 2.50	A	≤ 50	1	≤ 1919	A <input type="checkbox"/> Abitativo		A	≥ 85%			
2	2.50-3.50	B	50-70	2	19-45	C <input type="checkbox"/> Commerciale		B	30-85%			
3	3.50-5.0	C	70-100	3	45-61	D <input type="checkbox"/> Ufficio		C	< 30%			
4	> 5.0	D	100-150	4	62-71	E <input type="checkbox"/> Serv. Pub.		D	Non utilizz.			
5	> 5.0	E	150-170	5	72-81	F <input type="checkbox"/> Deposito		E	In costruz.			
6	Piani interrati	F	170-250	6	82-91	G <input type="checkbox"/> Strategico		F	Non finito			
7	A	0	250-300	7	92-01	H <input type="checkbox"/> Turistico		G	Abbandon.			
8	B	0	300-400	8	> 2002			H				

Fiche AeDES :
Agibilità e Danno
nel'Emergenza Sismica

REX L'Aquila

Domage sur les éléments structuraux et non-structuraux

SEZIONE 4 Danni ad ELEMENTI STRUTTURALI e provvedimenti di pronto intervento (P.I.) eseguiti







Livello - estensione	DANNO ⁽¹⁾										PROVEDIMENTI DI P.I. ESEGUITI					
	D4-D5 Gravissimo			D2-D3 Medio grave			D1 Leggero			Nullo	Nessuno	Demolizioni	Cerchiature e/o tiranti	Riparazione	Puntelli	Trasenne e protezione passaggi
	> 2/3	1/3 - 2/3	< 1/3	> 2/3	1/3 - 2/3	< 1/3	> 2/3	1/3 - 2/3	< 1/3							
Componente strutturale - Danno preesistente	A	B	C	D	E	F	G	H	I	L	A	B	C	D	E	F
1 Strutture verticali	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2 Solai	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3 Scale	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4 Copertura	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5 Tamponature-tramezzi	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6 Danno preesistente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="radio"/>						

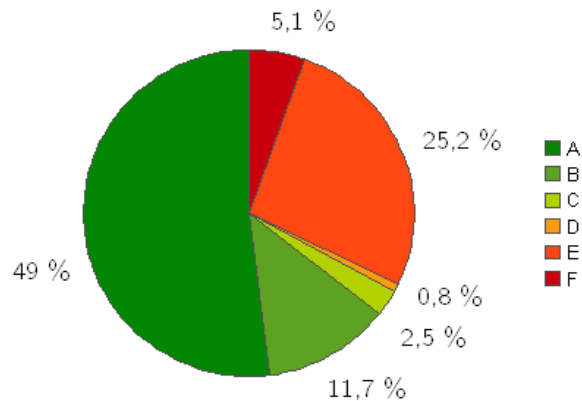
(1) - Di ogni livello di danno indicare l'estensione solo se esso è presente. Se l'oggetto indicato nella riga non è danneggiato campire **Nullo**.

SEZIONE 5 Danni ad ELEMENTI NON STRUTTURALI e provvedimenti di pronto intervento eseguiti

Tipo di danno	PRESENZA DANNO	PROVEDIMENTI DI P.I. ESEGUITI					
		Nessuno	Rimozione	Puntelli	Riparazione	Divieto di accesso	Trasenne e protezione passaggi
		B	C	D	E	F	G
1 Distacco intonaci, rivestimenti, controsoffitti...	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2 Caduta tegole, comignoli...	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3 Caduta comicioni, parapetti...	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4 Caduta altri oggetti interni o esterni	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5 Danno alla rete idrica, fognaria o termoidraulica	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6 Danno alla rete elettrica o del gas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

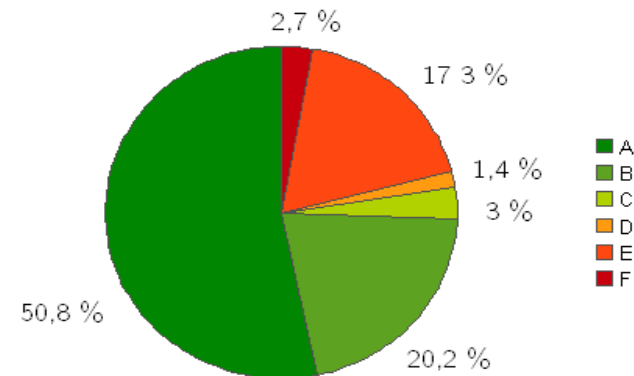
REX L'Aquila

-  Bâtiment utilisable
-  Bâtiment temporairement inutilisable
-  Bâtiment partiellement inutilisable
-  Bâtiment temporairement inutilisable, à réexaminer
-  Bâtiment inutilisable (causes intrinsèques)
-  Bâtiment inutilisable (menace extérieure)



Bâtiments privés

75 949 relevés



Bâtiments publics

2 340 relevés

Relevé au 3 novembre
2009 (source : Protection
civile italienne)

REX L'Aquila

SEZIONE 8 Giudizio di agibilità

Valutazione del rischio					Esito di agibilità		
RISCHIO	STRUTTURALE (Sez. 3 e 4)	NON STRUTTURALE (Sez. 5)	ESTERNO (sez. 6)	GEOTECNICO (sez. 7)	A	B	C
BASSO	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Edificio AGIBILE	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
BASSO CON PROVVEDIMENTI	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Edificio TEMPORANEAMENTE INAGIBILE (tutto o parte) ma AGIBILE con provvedimenti di pronto intervento (1)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
ALTO	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Edificio PARZIALMENTE INAGIBILE (1)	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
					Edificio TEMPORANEAMENTE INAGIBILE da rivedere con approfondimento	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
					Edificio INAGIBILE	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
					Edificio INAGIBILE per rischio esterno (1)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

(1) riportare nella colonna argomento della Sez. 9 l'esito e nelle annotazioni le parti di edificio inagibili (esiti B, C) e le cause di rischio esterno (esito F)

Sull'accuratezza 1 Solo dall'esterno 4 Non eseguito per: a Sopralluogo rifiutato (SR) b Rudere (RU) c Demolito (DM)
2 Parziale d Proprietario non trovato (NT) e Altro (AL)

Qualità 3 Completa (> 2/3)

Provvedimenti di pronto intervento di rapida realizzazione, limitati (*) o estesi (**)

*	**	PROVVEDIMENTI DI P.I. SUGGERITI	*	**	PROVVEDIMENTI DI P.I. SUGGERITI
1	<input type="checkbox"/>	Messa in opera di cerchiature o tiranti	7	<input type="checkbox"/>	Rimozione di cornicioni, parapetti, aggetti
2	<input type="checkbox"/>	Riparazione danni leggeri alle tamponature e tramezzi	8	<input type="checkbox"/>	Rimozione di altri oggetti interni o esterni
3	<input type="checkbox"/>	Riparazione copertura	9	<input type="checkbox"/>	Transennature e protezione passaggi
4	<input type="checkbox"/>	Puntellatura di scale	10	<input type="checkbox"/>	Riparazioni delle reti degli impianti
5	<input type="checkbox"/>	Rimozione di intonaci, rivestimenti, controsoffittature	11	<input type="checkbox"/>	
6	<input type="checkbox"/>	Rimozione di tegole, comignoli, parapetti	12	<input type="checkbox"/>	

Unità immobiliari inagibili, famiglie e persone evacuate

Unità immobiliari inagibili

Nuclei familiari evacuati

N° persone evacuate

Les
renforcements
d'urgence

REX L'Aquila

Les renforcements d'urgence

Renforcements provisoires pour sauvegarder le patrimoine, réalisés par les « vigili del fuoco »

Une technique éprouvée : 4 séismes en 30 ans

Existence d'un guide des renforcements d'urgence provisoires : le guide « opus »



REX L'Aquila

Les renforcements d'urgence

Typologie des bâtiments renforcés :

Essentiellement des bâtiments anciens en maçonnerie très endommagés voire partiellement effondrés et non occupés :

- Quasi intégralité des édifices religieux
- Bâtiments universitaires
- Bâtiments publics ou privés menaçant de ruine sur une voie publique prioritaire
- Bâtiments stratégiques



REX L'Aquila

Les renforcements d'urgence

Cas des bâtiments non renforcés :

- Mise en place d'un périmètre de sécurité
- Voie secondaire condamnée : plan de circulation
- Les bâtiments non renforcés sont surveillés : exemple du tribunal de l'Aquila



REX L'Aquila

Les renforcements d'urgence

Techniques retenues spécifiques à l'urgence :

- Sangles



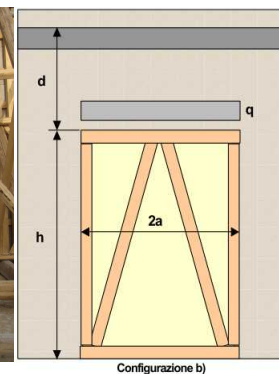
REX L'Aquila

Les renforcements d'urgence

Techniques retenues spécifiques à l'urgence :

- Contreforts extérieurs

Tabella 4.4 - Esempificazione di interventi per meccanismi globali.



REX L'Aquila

Les renforcements d'urgence

Techniques retenues spécifiques à l'urgence :

- Charpentes bois



- Charpentes métalliques



4. NEUF – CRC parasismique

CRC parasismique

Qui contrôle ?

En pratique, agents de l'État commissionnés et assermentés

A quel moment ?

Pendant les travaux aux étapes clés de la construction

Selon quelles modalités ?

Droit de visite de l'administration (dès la phase chantier et jusqu'à trois ans après la livraison du bâtiment)

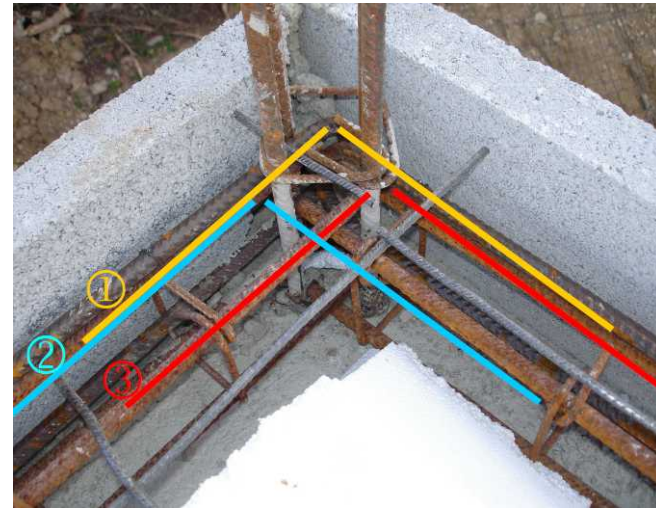
En cas d'infraction, procès verbal avec transmission possible au procureur de la République



CRC parasismique



Absence de chaînage vertical



Mauvais liaisonnement au niveau d'un nœud



Continuité mécanique insuffisante



Ancrage de la charpente





5. EXISTANT : réduire la vulnérabilité

Réduire la vulnérabilité

Connaître la vulnérabilité de son patrimoine immobilier

- **Pré-diagnostic / Diagnostic sommaire**

- 1) *Échelle d'analyse*

- 2) *Ce que proposent actuellement les bureaux d'études*

- 3) *Le plus approprié pour un nombre réduit de bâtiments : diagnostic visuel complété par quelques calculs simples, détection des points faibles, capitalisation sur la connaissance du bâtiment*

Fixer des priorités

- **Diagnostic** = estimation de la capacité de la structure (Eurocode 8-3)

- 1) *Améliorer la connaissance de la structure : essais sols et matériaux*

- 2) *Modéliser et évaluer la résistance de la structure*

Vers le renforcement



Réduire la vulnérabilité

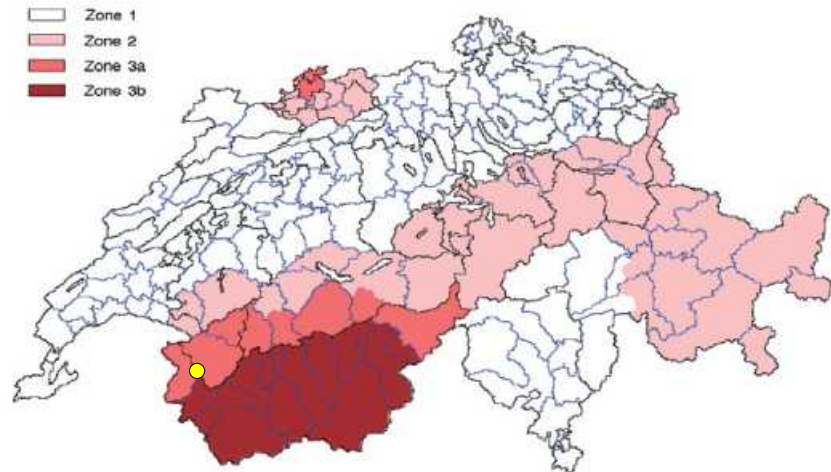
Exemples de renforcement – Bâtiment administratif à Saint Maurice



Vue façade avant après renforcement



Vue façade arrière après renforcement



Bâtiment à deux niveaux construit en 1955

Parois maçonneries dans le sens transversal

Cadres béton dans le sens longitudinal

Planchers en béton armé

Réduire la vulnérabilité

Exemples de renforcement – Bâtiment administratif à Saint Maurice



Deux nouvelles voiles en béton armé dans le sens longitudinal



Travaux : armature nouveau voile

Renforcement réalisé dans le cadre d'une réhabilitation générale (changement de destination)

Caractéristiques

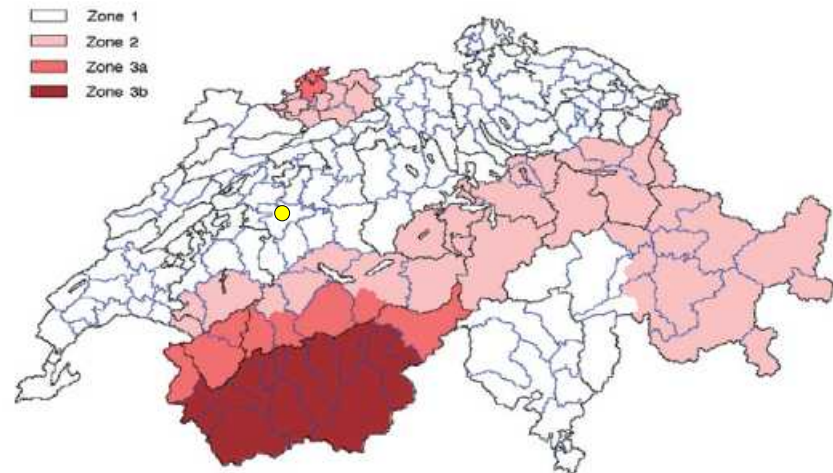
Année de construction	1955
Affectation du bâtiment	Centre de formation
Occupation	PB = 2,2
Valeur du bâtiment	1,4 millions de francs
Classe d'ouvrage	CO II
Zone d'aléa sismique	Zone Z3a
Classe de sol de fondation	C
Facteur de conformité (état initial)	$\alpha_{eff} = 0,17$
Facteur de conformité (nouveau)	$\alpha_{int} = 0,7$
Stratégie de confortement	Renforcer, améliorer la ductilité
Exécution du confortement	2005
Coût du confortement	50 000 francs, soit 3,5% de la valeur du bâtiment
Ingénieurs	R. Peruzzi, Kurmann & Cretton SA
Architecte	P.-P. Bourban

905 660 €
(cours 2005)

32 300€
(cours 2005)

Réduire la vulnérabilité

Exemples de renforcement – Lycée Neufel à Berne



Descriptif

Ossature en béton armé
construite en 1965
Deux noyaux d'ascenseurs en
béton armé
Planchers béton armé

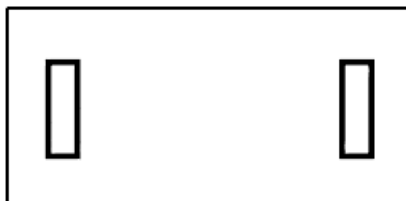
Points faibles

Bâtiment divisé en deux
parties, chacune contreventée
par un noyau excentré

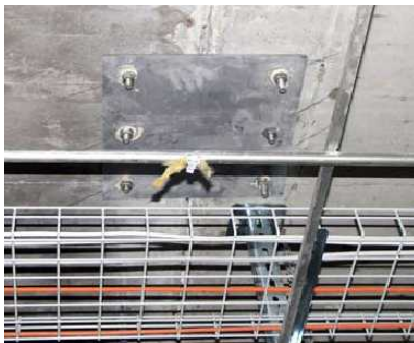
Etage souple

Réduire la vulnérabilité

Exemples de renforcement – Lycée Neufel à Berne



Principe du renforcement



Clavage du joint



Renforcement des noyaux d'ascenseurs

Renforcement réalisé dans le cadre de travaux de grande ampleur

Caractéristiques

Année de construction	1965
Affectation du bâtiment	Ecole
Occupation	PB = 200
Valeur du bâtiment	43 millions de francs (cours 2006) 27,6 M €
Classe d'ouvrage	CO II
Zone d'aléa sismique	Zone Z1
Classe de sol de fondation	E
Facteur de conformité (état initial)	$\alpha_{av} = 0,1$
Facteur de conformité (nouveau)	$\alpha_{nt} = 0,5$
Stratégie de confortement	Améliorer la régularité
Exécution du confortement	2006
Coût du confortement	0,3 million de francs, soit 0,7% de la valeur du bâtiment 200 000 € (cours 2006)
Ingénieurs	Marchand + Partner AG

6. Documentation

Documentation

GUIDES EN COURS DE PARUTION / DE REDACTION

- Éléments non structuraux
- Petits bâtiments à l'EC8
- Diagnostic et renforcement des bâtiments existants
- Travaux dans l'existant : aggravation de la vulnérabilité

FUTURS TEXTES REGLEMENTAIRES

- CPMI-EC8 – Construction parasismique maisons individuelles et bâtiments assimilés
 - Zones 3 et 4
 - Zone 5

