

7^E JOURNÉE TECHNIQUE DU CTMNC

la construction parasismique en pierre naturelle

MERCREDI 25 JUIN 2014

Terre et Pierre
Expertise et Innovation





7^E JOURNÉE TECHNIQUE DU CTMNC

la construction parasismique en pierre naturelle

MERCREDI 25 JUIN 2014

7^E JOURNÉE TECHNIQUE DU CTMNC

MERCREDI 25 JUIN 2014

LNE - 1, RUE GASTON BOISSIER - 75015 PARIS



INSCRIPTION À L'AIDE DU BULLETIN JOINT, AVANT LE 18 JUIN 2014

PROGRAMME

Animateur de la journée : **François Michel** - Géologue, consultant CTMNC

9h30 Accueil

10h00 **ORIGINES ET LOCALISATIONS DES SÉISMES**

François Michel - Géologue, consultant CTMNC

10h30 **PROTECTION PARASISMIQUE DES BÂTIMENTS**

Milan Zacek - Conseil en construction parasismique

11h30 **MAÇONNERIE PARASISMIQUE EN PIERRE NATURELLE**

Olivier Chèze - CTMNC

12h00 **RETOURS D'EXPÉRIENCE**

Olivier Jaroszek - PROROC

12h30 Déjeuner

14h00 **RÈGLES PARASISMIQUES SUR LES ENSEMBLES NON STRUCTURAUX**

Olivier Chèze - CTMNC

14h45 **RETOURS D'EXPÉRIENCE**

Jean-Louis Marpillat - ROCAMAT

15h15 **TABLE RONDE**

RÈGLEMENTATION PARASISMIQUE : LA PIERRE NATURELLE POURRA-T-ELLE S'ADAPTER ?

PARTICIPANTS :

Laurent Plagnol - APAVE

Olivier Chèze - CTMNC

Gilles Lataillade - PROROC

Jean-Louis Marpillat - ROCAMAT

Milan Zacek - Conseil en construction parasismique

15h45 **SYNTHÈSE ET CONCLUSIONS**

Jean-Louis Vaxelaire - Vice-Président du CTMNC, Président du SNROC

16h00 Fin de la journée

PARTICIPATION AUX FRAIS : 35,00 € TTC (COMPREND : ACCÈS AUX CONFÉRENCES, REPAS, PAUSE, DOSSIER)

DANS LA LIMITE DES PLACES DISPONIBLES (80 MAXI)

CONTACT : Nadège Verrier / ctmnc-roci@ctmnc.fr / tél : 01 44 37 50 00

7^E JOURNÉE TECHNIQUE DU CTMNC

la construction parasismique en pierre naturelle

MERCREDI 25 JUIN 2014

LNE - 1, RUE GASTON BOISSIER - 75015 PARIS

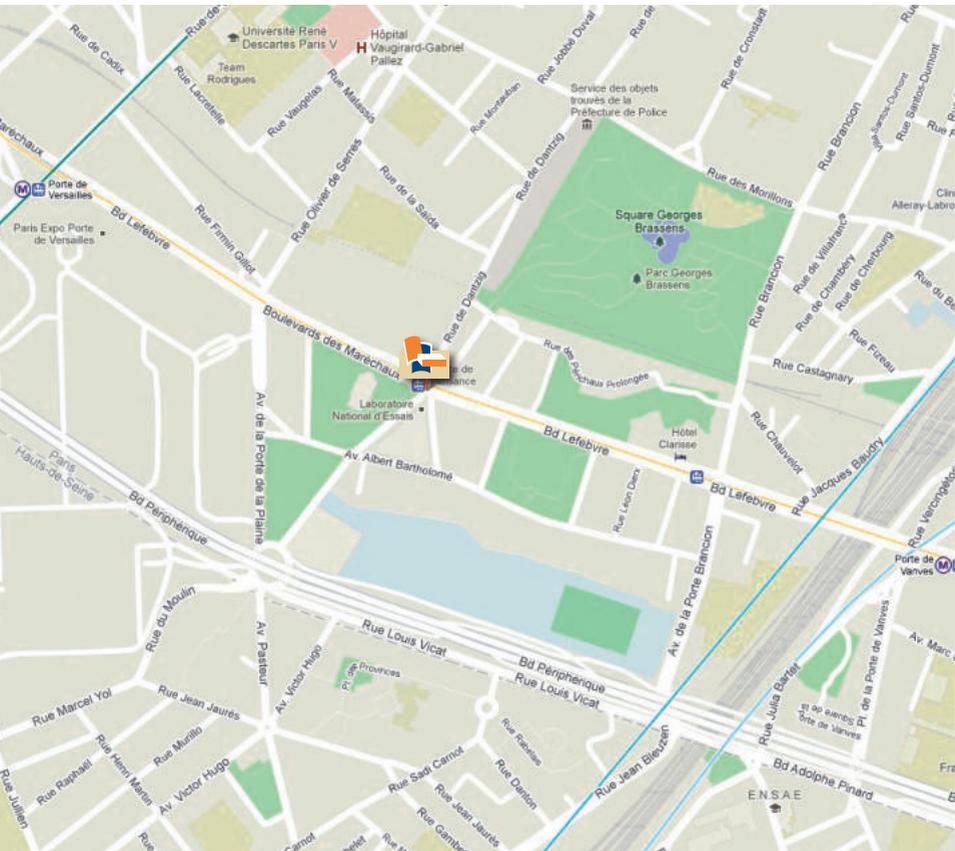
MÉTRO : M12 (STATION PORTE DE VERSAILLES) - M13 (STATION PORTE DE VANVES)

TRAMWAY : T3a (STATION GEORGES BRASSENS)

CONTACT : NADÈGE VERRIER

ctmnc-roc@ctmnc.fr

tél : 01 44 37 50 00





« La construction parasismique en pierre naturelle »

Programme :

- **Origines et localisations des séismes**
- **Protection parasismique des bâtiments**
- **Maçonneries parasismiques en pierre naturelle**
- **Retours d'expérience**
- **Règles parasismiques sur les ensembles non structuraux**
- **Retours d'expérience**
- **Table ronde : « Règlementation parasismique : la pierre naturelle pourra-t-elle s'adapter ? »**



« La construction parasismique en pierre naturelle »



➤ Origines et localisations des séismes

François Michel – Géologue

« La construction parasismique en pierre naturelle »



➤ Protection parasismique des bâtiments

Milan Zacek – Conseil en construction parasismique

« La construction parasismique en pierre naturelle »



➤ Maçonneries parasismiques en pierre naturelle

Olivier Chèze – CTMNC

« La construction parasismique en pierre naturelle »



➤ Retours d'expérience

Olivier Jaroszek – PROROCH

« La construction parasismique en pierre naturelle »



➤ Règles parasismiques sur les ensembles non structuraux

Olivier Chèze – CTMNC

« La construction parasismique en pierre naturelle »



➤ Retours d'expérience

Jean-Louis Marpillat – ROCAMAT

« La construction parasismique en pierre naturelle »



➤ **Table ronde :**

« Règlementation parasismique : la pierre naturelle pourra-t-elle s'adapter ? »

Origine et localisation des séismes

François MICHEL

Qu'est-ce qu'un séisme ?

Un **séisme** est un **tremblement** de terre, lié à un **déplacement** relatif de compartiments rocheux, au niveau d'une **faille**, dans le sous-sol. Généralement la faille existe déjà et ne fait que rejouer sous les **contraintes**.



*Faille de la Remuaz - Aiguilles rouges
Vallée de Chamonix*

Un séisme se caractérise par :

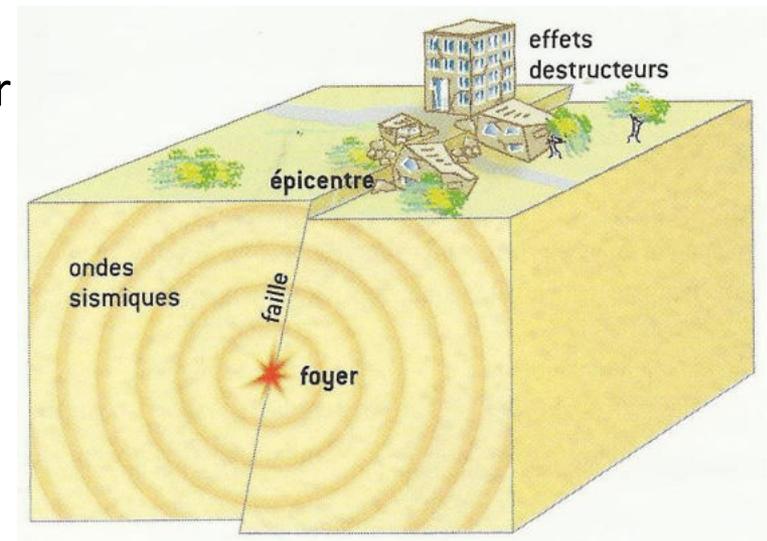
Un **foyer** : point d'amorce de rupture en profondeur au niveau d'une faille

Des **ondes** : ondes P « primaires » de compression
ondes S « secondaires » de cisaillement

Un **épicentre** :
lieu d'intensité maximale à la verticale du foyer

Une **magnitude** :
quantification de l'énergie libérée au foyer
(indice logarithmique de Richter)

Une **intensité** :
importance des dégâts en surface
(Echelle MKS ou autre selon les pays)



Une faille se caractérise par :

un **plan de faille** et son **inclinaison**,
délimitant des **compartiments rocheux**,
associés à des **mouvements relatifs** de déplacement



*Faille des Hachettes
Sainte Honorine (Calvados)*

Plan de faille et son miroir



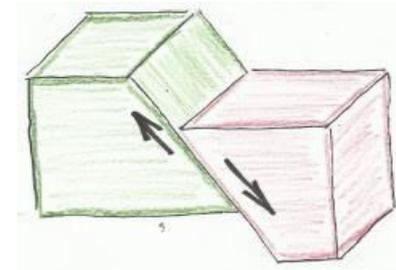
Miroir de faille du Mas d'Azil (Ariège)

3 types de contraintes tectoniques

3 types de failles

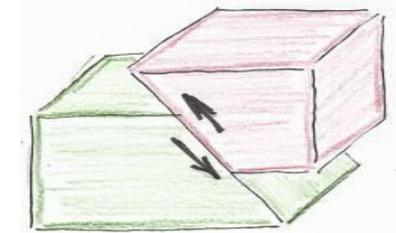
Faille normale = contraintes d'**extension**

Le compartiment situé
au-dessus du plan de faille s'abaisse



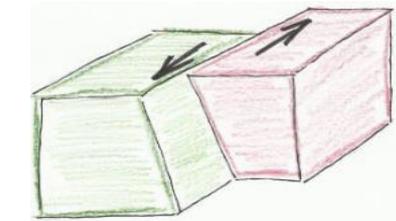
Faille inverse = contraintes de **compression**

Le compartiment situé
au-dessus du plan de faille s'élève



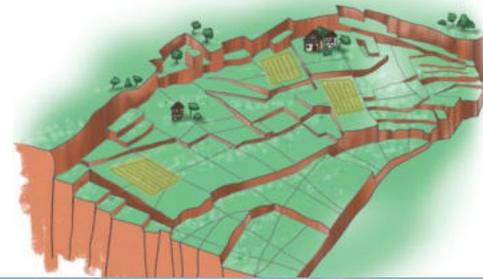
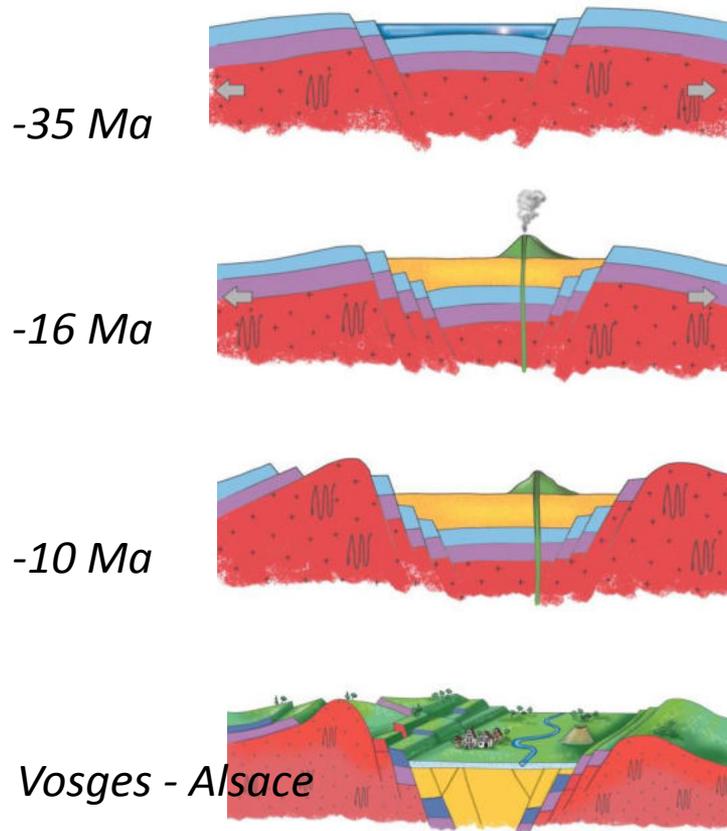
Faille coulissante = contraintes de **cisaillement**

Un compartiment se déplace latéralement
par rapport à l'autre



Divergence = effondrement

Fossé rhénan



Collines sous-vosgiennes

Convergence

Failles inverses et chevauchements



Faille de L'Albarine (Ain)



Chevauchement du Lautaret (Htes-Alpes)

Faïlle du Vuache : Annecy 1996



Miroir de faille de la Balme de Sillingy (Haute-Savoie)

Vallorcine 2005 (4,6)- 2011 (2,7)



Massif des Aiguilles Rouges – Chamonix (Haute-Savoie)

1909 : séisme en Provence



Lambesc 1909

Provence : entre Rhône et Durance



Salon de Provence 1909

Quelques séismes historiques

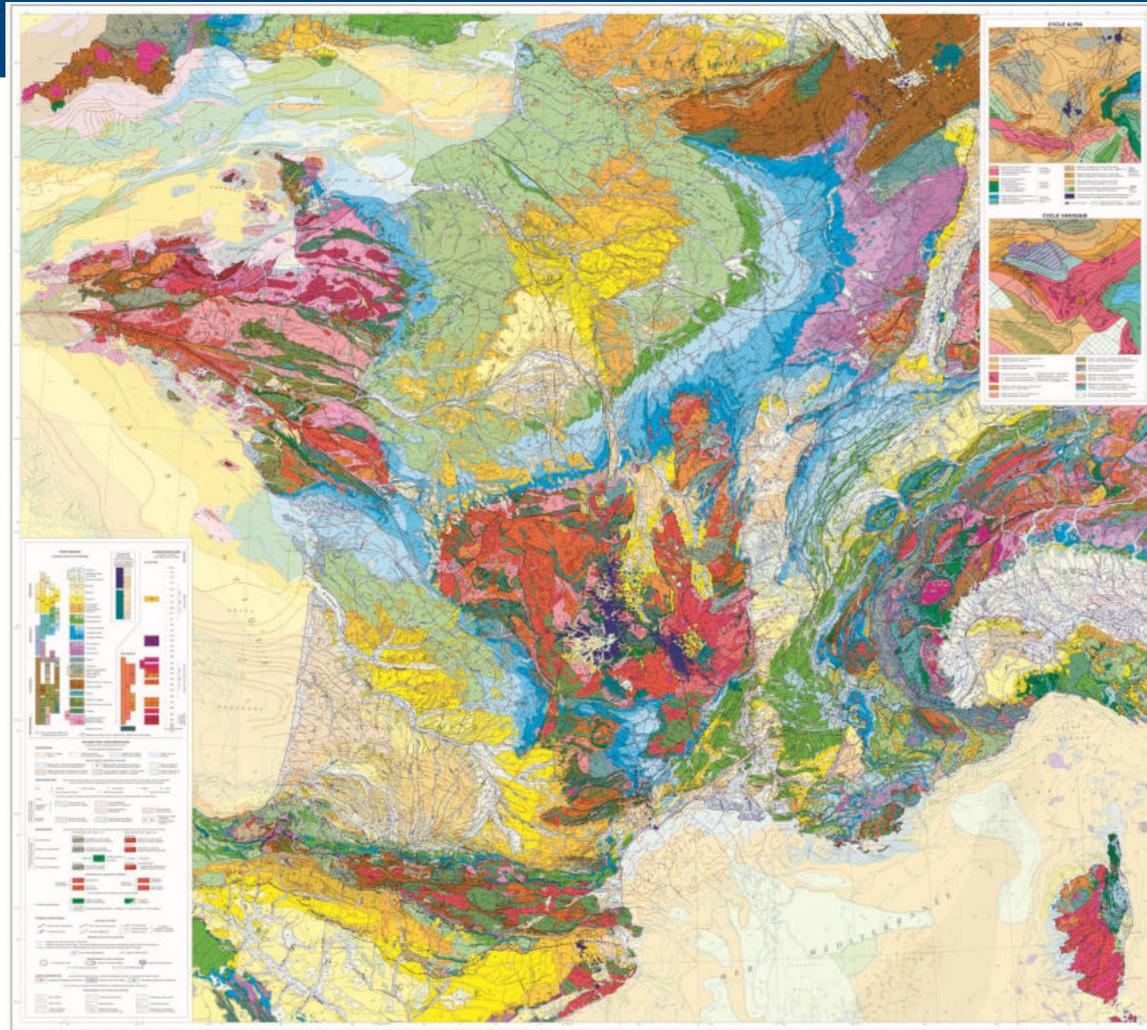
1356	Bâle/300 morts	
1564	Comté de Nice/500 morts	
1843	Pointe-à-Pitre/3000 morts	
1905	Chamonix/Destructions importantes	
1909	Lambesc/Salon-de-Provence/46 morts	
1946	Martinique	Magnitude 7
1967	Arette	Magnitude 5,8
1972	Oléron	Magnitude 5,7
1996	Annecy	Magnitude 5,2
2000	Rambervillers	Magnitude 5,4
2014	Barcelonnette	Magnitude 5,2



Carte de France des séismes depuis 1000 ans

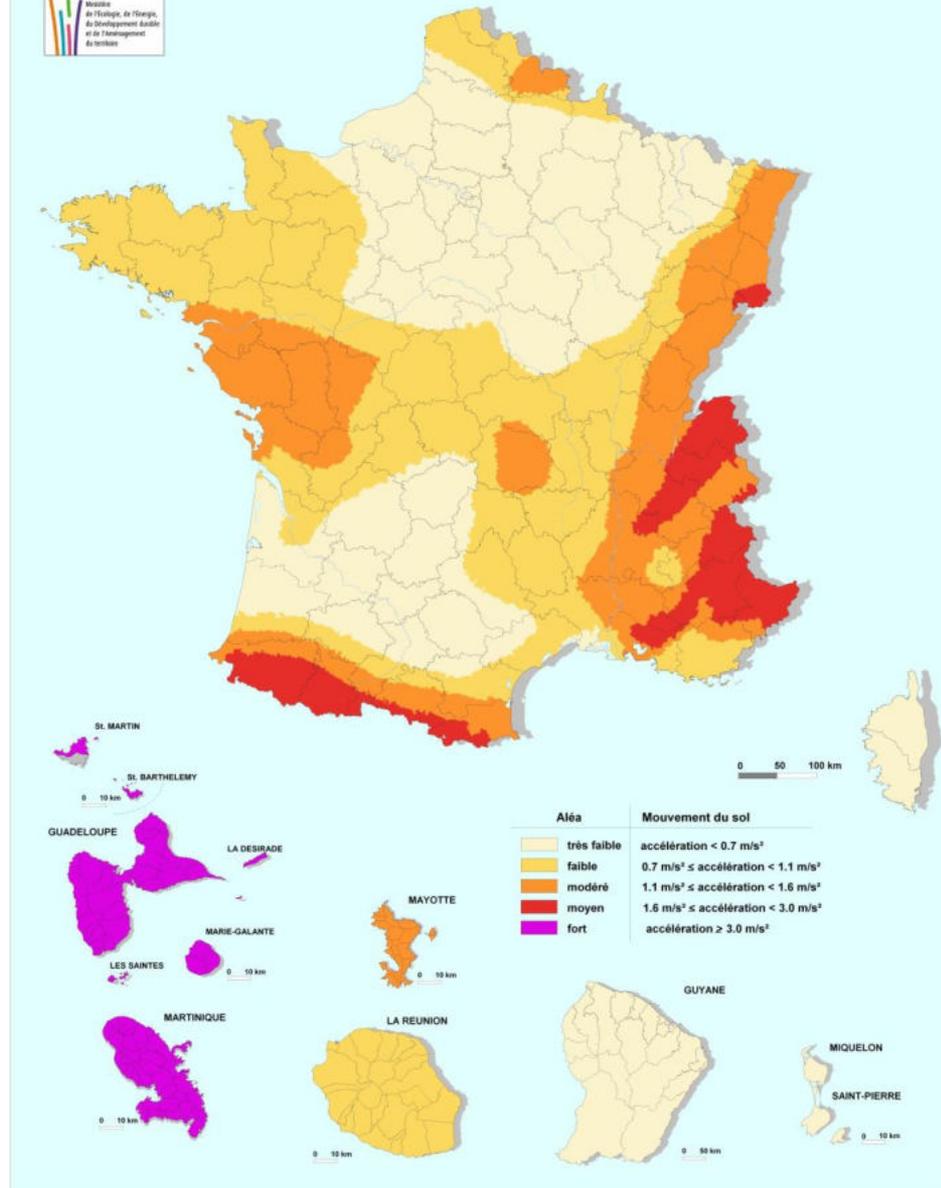


Carte géologique de la France





Aléa sismique de la France



Les Alpes sous contraintes



Séismes et contexte géologique



Le gypse du col du Galibier (Haute –Maurienne)

Les réseaux de surveillance sismique en France

Réseaux nationaux

[RéNaSS](#) Réseau National de Surveillance Sismique

[LDG](#) Laboratoire de Détection Géophysique du CEA/DASE

[RAP](#) Réseau Accélérométrie Permanent

Réseaux régionaux

[GeoAzur](#) Centre de données du Laboratoire GeoAzur (Nice)

[RSSP](#) Réseau de surveillance sismique des Pyrénées

[SISMALP](#) Réseau de surveillance sismique des Alpes

[TGRS](#) Réseau de stations sismologiques 3 composantes, Sud-Est de la France (Nice)

[RSP](#) Réseau Sismique de Provence

[OPGC](#) Réseau Sismologique d'Auvergne

[CLDG](#) Réseau régional de surveillance sismologique Poitou-Charente-Vendée

[Réunion](#) Observatoire volcanologique de la Réunion

[Martinique](#) Observatoire volcanologique de la Martinique

[Guadeloupe](#) Observatoire volcanologique de la Guadeloupe

Conception parasismique des bâtiments

Milan ZACEK
Conseil en construction parasismique

Sommaire

1. Réglementation parasismique
2. Comportement des bâtiments sous séismes
3. Dispositions constructives parasismiques

1. REGLEMENTATION PS FRANCAISE

Les pertes et les destructions provoquées par les tremblements de terre sont dues à plus de 90 % à l'effondrement des constructions

Obligation de construire « parasismique »

La réglementation précise les modalités de la protection :

Où : zonage réglementaire

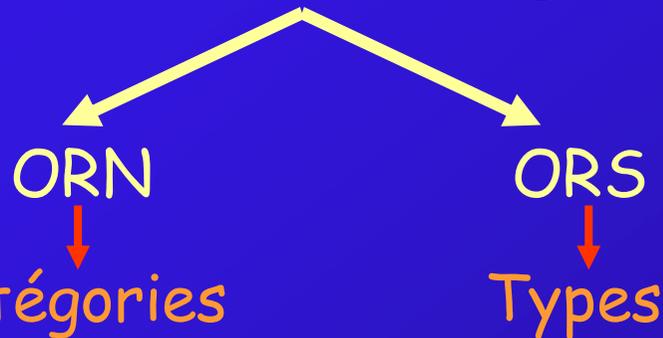
Quoi : classes de bâtiment

Jusqu'où : niveau minimal de protection

Comment : règles parasismiques à appliquer

Décrets n° 2010-1254 et 2010-1255 du 22 octobre 2010

Classes d'ouvrages



Catégories
d'importance

- | | |
|-----|--------------------------|
| I | ICPE |
| II | (installations classées) |
| III | Barrages |
| IV | Réacteurs nucléaires |

Zonage sismique probabiliste

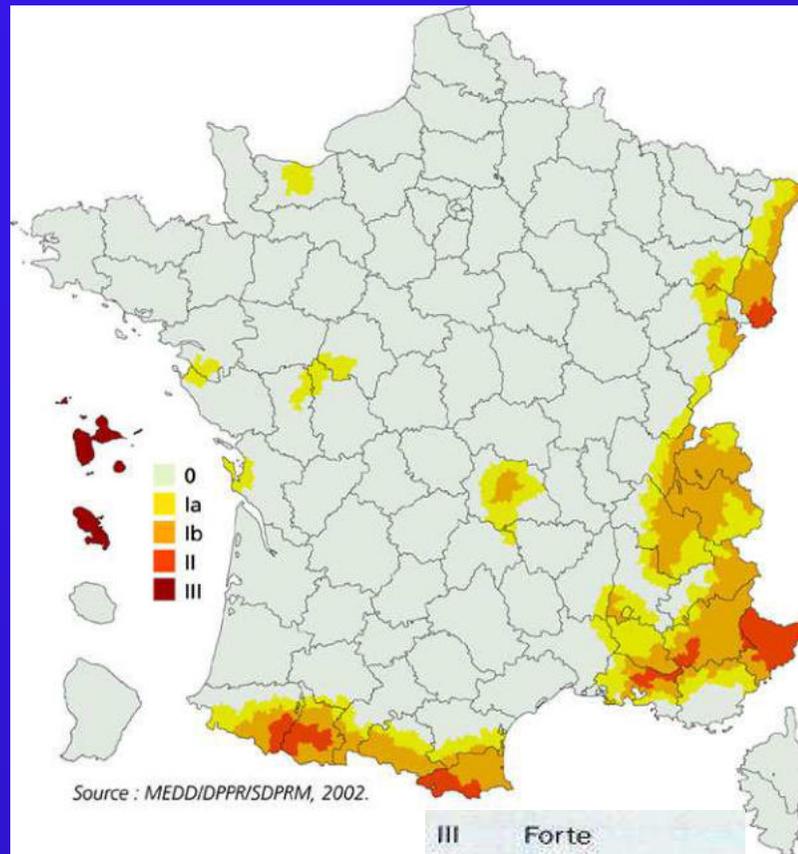
Zones

- 1 sismicité très faible
- 2 sismicité faible
- 3 sismicité modérée
- 4 sismicité moyenne
- 5 sismicité forte

Catégories d'importance des bâtiments, équipements et installations

- I. Ouvrages dont la défaillance ne présente qu'un **risque minime** pour les personnes ou l'activité économique : hangars, entrepôts...
- II. Ouvrages dont la défaillance présente un **risque moyen** pour les personnes : habitations individuelles et collectives, immeubles dont $h \leq 28$ m, établissements recevant du public de 4^o et 5^o cat., parcs publics de stationnement, autres bâtiments accueillant ≤ 300 personnes...
- III. Ouvrages dont la défaillance présente un **risque élevé** pour les personnes ou l'activité économique : établissements d'enseignement, immeubles dont $h > 28$ m, bâtiments accueillant > 300 personnes, établissements sanitaires et sociaux, centres de production collective d'énergie,...
- IV. Ouvrages dont le **fonctionnement est primordial** pour la sécurité civile, pour la défense ou l'ordre public : bâtiments abritant les moyens de secours de défense, bâtiments assurant les communications...

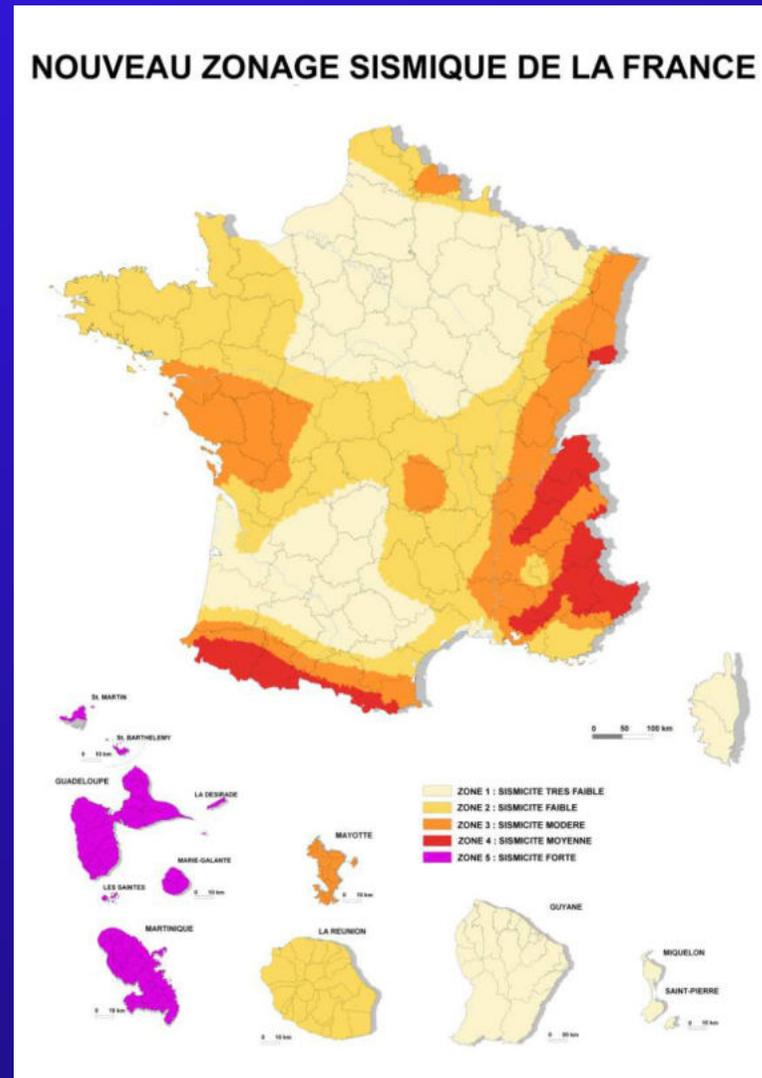
Zonage sismique de la France



Source : MEDD/DPPRISDPRM, 2002.

III	Forte
II	Moyenne
Ib.	Faible
Ia.	Très faible mais non négligeable
O.	Négligeable mais non nulle

Zonage réglementaire 1991
en vigueur jusqu'au 30 avril 2011

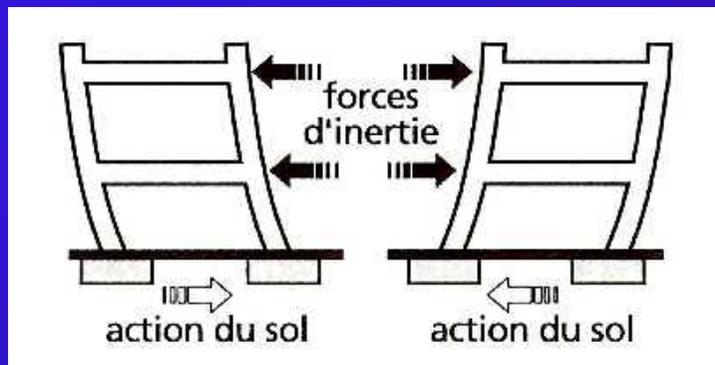


Nouveau zonage 2010
en vigueur à compter du 1er mai 2011

2. COMPORTEMENT DYNAMIQUE DES CONSTRUCTIONS SOUS SEISME

OSCILLATIONS HORIZONTALES

Ces oscillations sont relativement mal supportées par les constructions, plus particulièrement lorsque celles-ci entrent en résonance avec le sol



Forces d'inertie horizontales

Kobé, Japon 1995

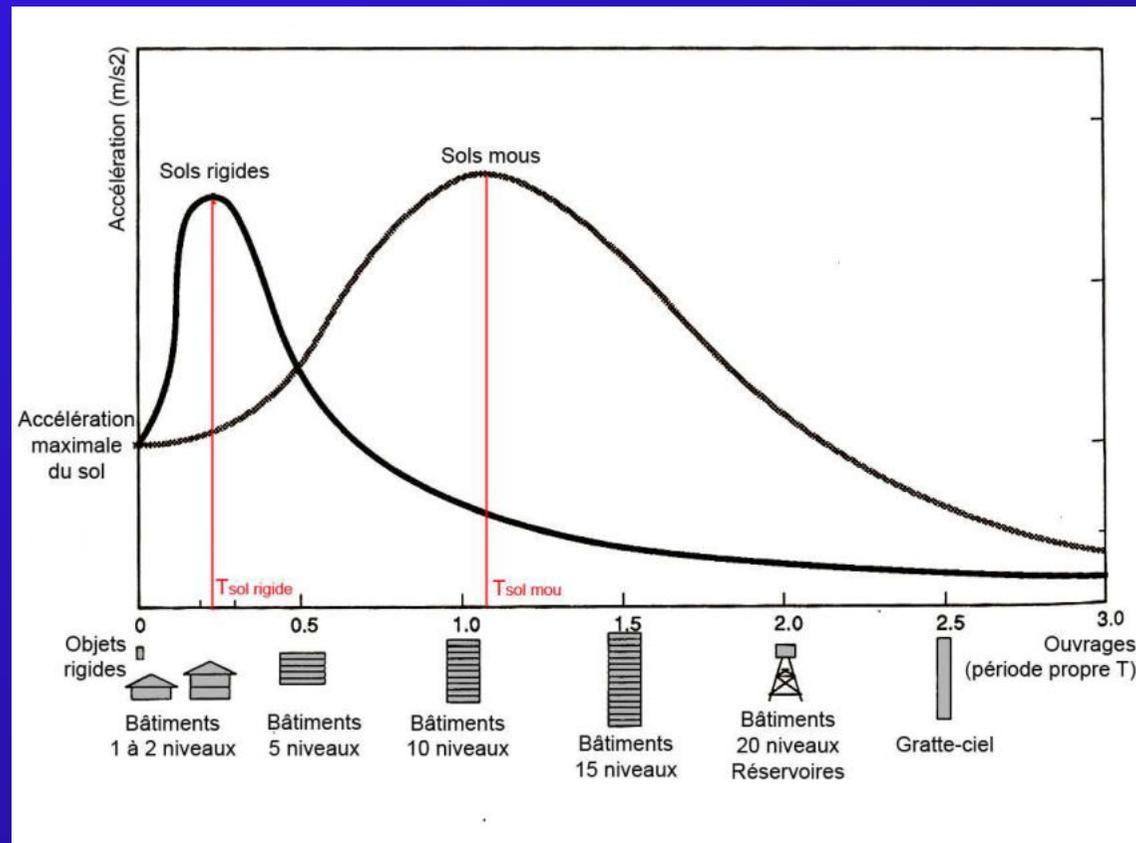


B. Weliachew

Importance des oscillations des bâtiments

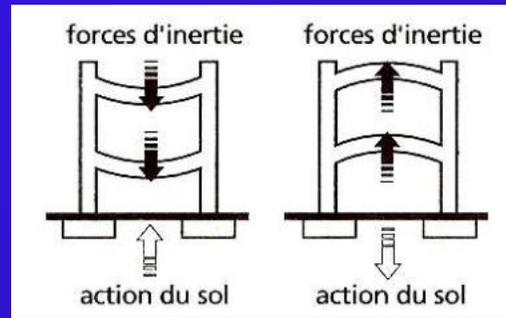
Les accélérations, donc les oscillations, sont les plus grandes quand le bâtiment est en résonance avec le sol

La résonance se produit quand la durée d'une oscillation du bâtiment (= sa période propre) est la même que celle du sol



OSCILLATIONS VERTICALES

Ces oscillations sont bien supportées par les constructions, hormis les éléments de grande portée, y compris les grands porte-à-faux



Forces d'inertie
verticales

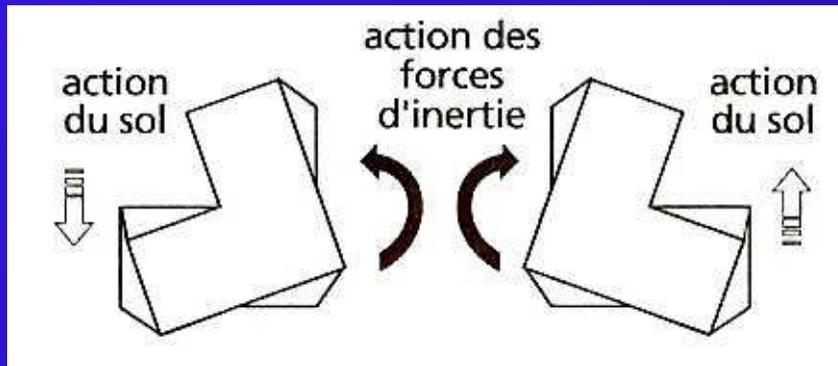


NISEE

Domages aux porte-à-faux
San Fernando, Californie 1971

OSCILLATIONS DE TORSION

Les bâtiments supportent très mal les oscillations de torsion
Il s'agit d'un des phénomènes les plus destructeurs



NISEE

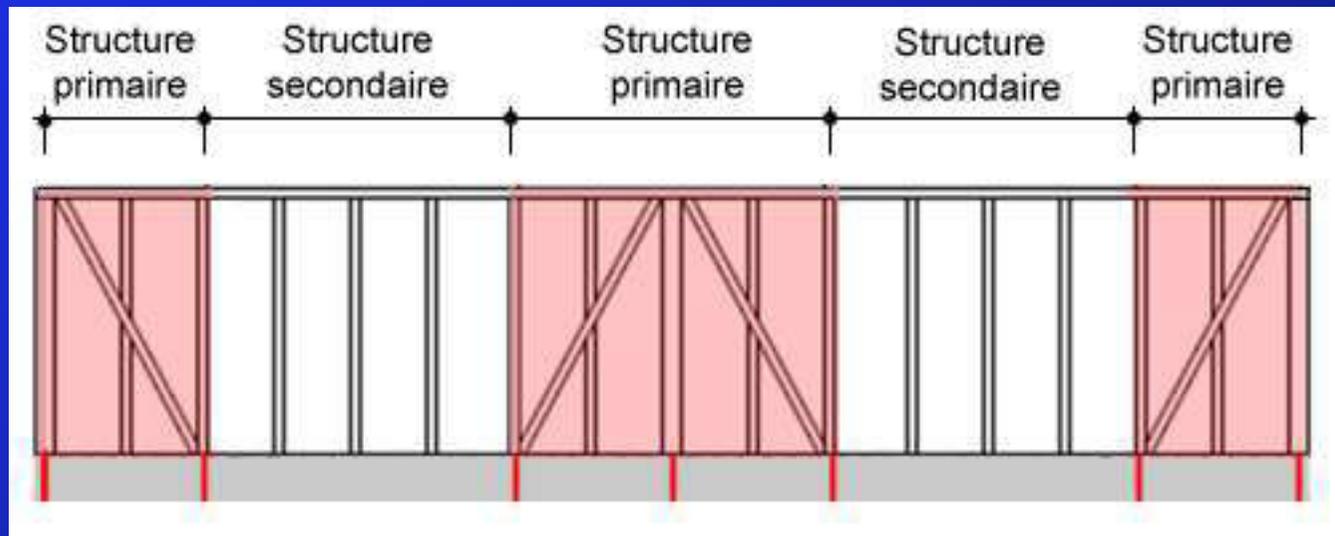
Effondrement dû à la torsion
Chi-Chi, Taiwan 1999

3. DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES PARASISMIQUE

3.1. Structure principale et structure secondaire

La quasi-totalité des dispositions constructives réglementaires s'appliquent à la structure principale

La structure principale est constituée par les éléments les plus rigides, donc par le contreventement



Règles CP-M-EC8

3.2. Construction en maçonnerie

DOMMAGES SISMIQUES TYPIQUES

Les maçonneries réalisées selon les méthodes propres aux zones non sismiques éclatent sous l'effet des séismes et se disloquent, car les joints de mortier constituent des zones faibles

Ils résistent mal à la traction et au cisaillement



Photo Olycom-Sipa



Photo Internet

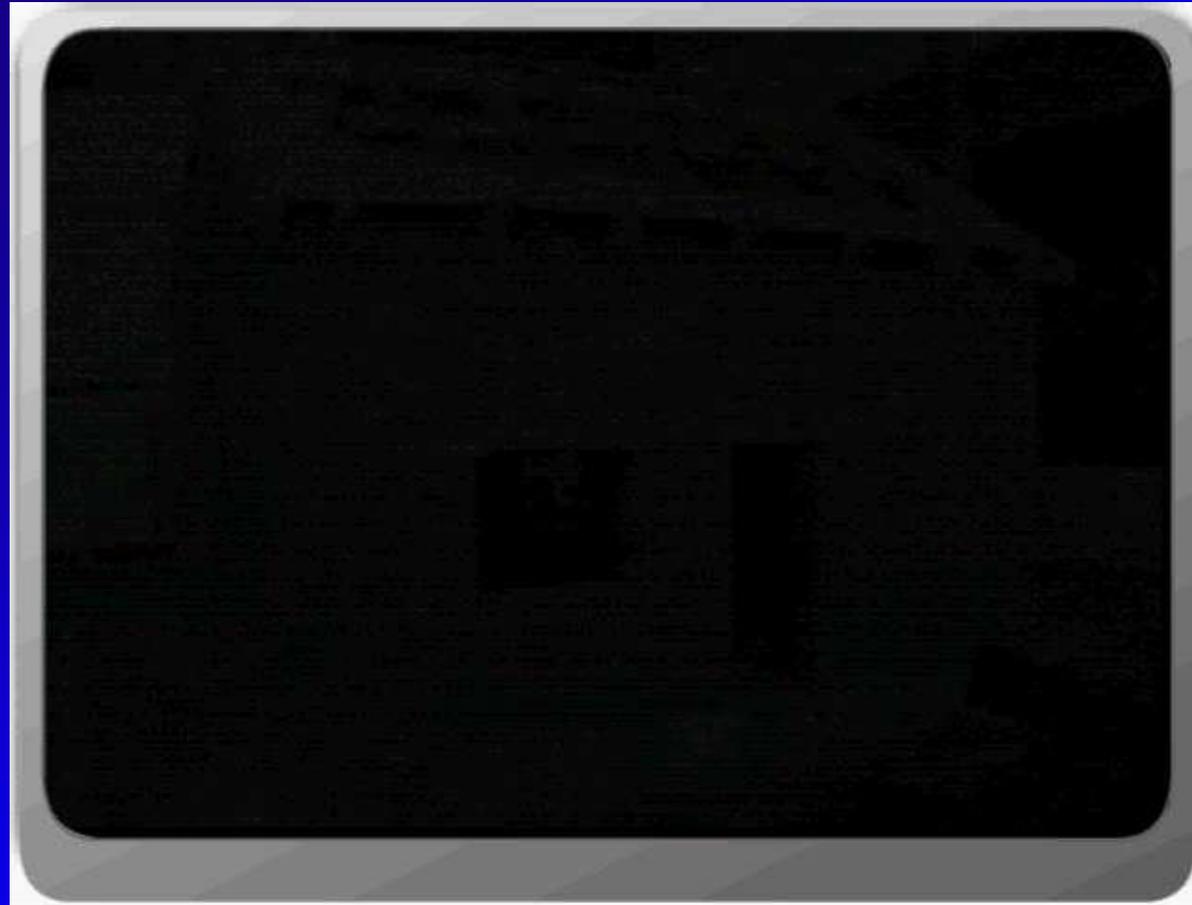
Séismes des Abruzzes, Italie 2009 et d'Iran 2005

Dislocation des maçonneries sous l'effet de secousses



Essai sur table vibrante d'une maison en maçonnerie non chaînée

Confinement des maçonneries

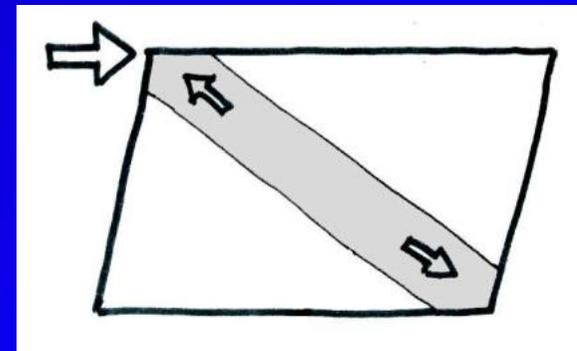
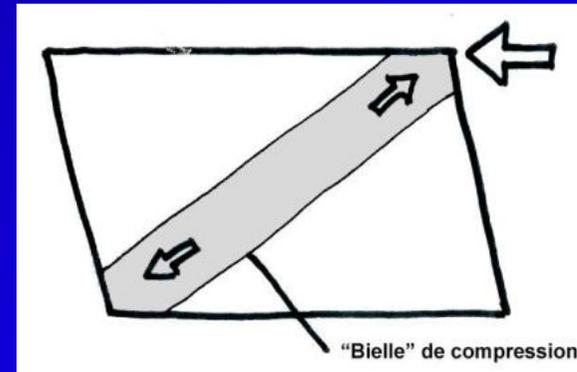


Essai sur table vibrante d'une maison en maçonnerie confinée

Fissuration en croix des panneaux de maçonnerie



Photo Internet



Fissures inclinées (diagonales) dues à la rupture des maçonneries par cisaillement

Fissuration en croix des panneaux de maçonnerie et dislocation consécutive



AFPS

Séisme des Saintes
Guadeloupe 2004



Quest

Séisme de San Giuliano
Italie 2002

MACONNERIE NON ARMEE

Ces maçonneries ne sont autorisées que dans les zones de très faible et faible sismicité (**zones 1 et 2**) pour les constructions de **R+1 au plus** en **blocs de pierre naturelle**, $h \leq 6$ m à la sablière.

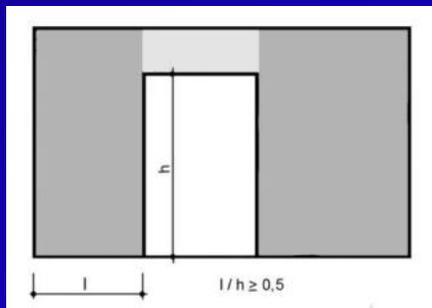
On doit prévoir :

- **Murs de contreventement** dans au moins **deux directions orthogonales**

Caractéristiques : **épaisseur brute** ≥ 35 cm

élancement $h / \text{épaisseur} \geq 9$

rapport longueur du mur / hauteur libre maximale h des ouvertures adjacentes au mur $\geq 0,5$



Murs non conformes à ces caractéristiques = structure secondaire

- **Planchers** jouant le rôle de **diaphragme**
- **Chaînages horizontaux** au niveau de tous les planchers et des fondations, distants 4m au plus, armature longitudinale ≥ 200 mm² (4 \varnothing_L 8)
- **Chaînages de couronnement** sur les bords supérieurs libres des murs (pignons, acrotères, garde-corps,...)

Caractéristiques des diaphragmes

- **Ancrage périphérique** : tous les éléments constitutifs doivent être ancrés en rive
- **Solidarisation des composants** juxtaposés et superposés
- **Continuité mécanique** au-dessus des appuis intermédiaires
- **Chaînages** périphériques et intérieurs reliant les éléments de contreventement
- **Renforcement des rives des trémies**

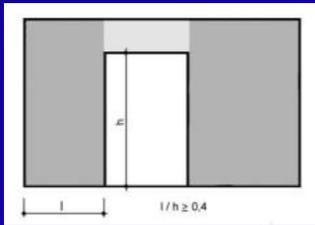
Les dispositions constructives sont propres à chaque type d'ouvrage et figurent dans l'Eurocode 8 ou, à défaut, dans les CPT Planchers publiés par le CSTB

MACONNERIE CHAINEE

Aucun bord libre en maçonnerie n'est autorisé. Tous les murs structuraux et non structuraux **doivent être confinés** par des chaînages et encadrements d'ouvertures en béton armé. On doit donc prévoir :

- **Murs de contreventement** dans au moins **deux directions orthogonales**

Caractéristiques : **épaisseur brute** ≥ 20 cm (blocs creux)

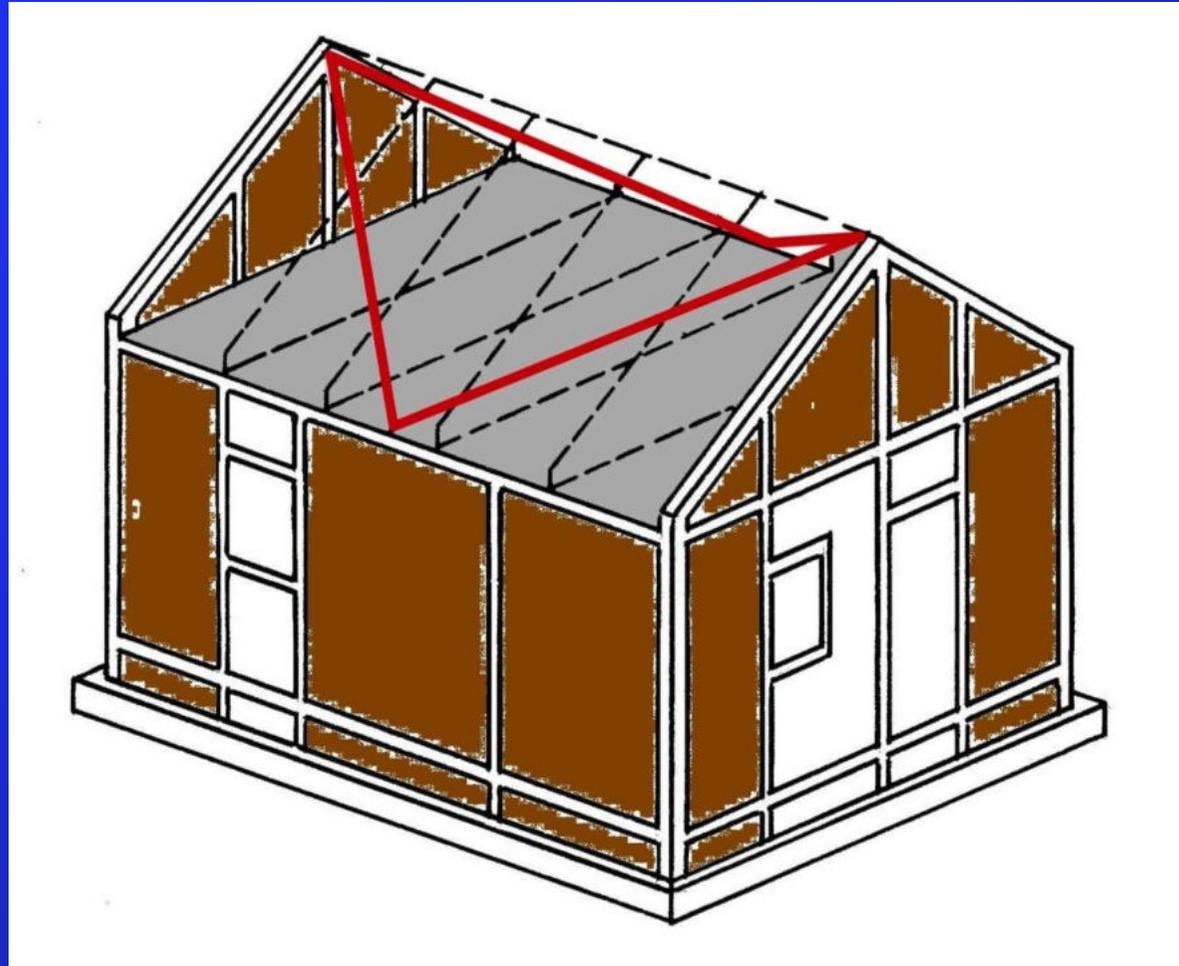


élancement $h / \text{épaisseur} \geq 20$

rapport longueur du mur/hauteur libre maximale h des ouvertures adjacentes au mur $\geq 0,4$

- **Planchers** jouant le rôle de **diaphragme**
- **Chaînages horizontaux** $\geq 15 \times 15$ cm au niveau de tous les planchers et des fondations, distants 4m au plus, armature longitudinale $\geq 300 \text{ mm}^2$ (4 $\varnothing_L 10$), $\geq 450 \text{ mm}^2$ (4 $\varnothing_L 12$) si l'accélération de calcul est $\geq 2 \text{ m/s}^2$, recouvrements des barres $\geq 60 \varnothing_L$, cadres $\varnothing_T 5$ ou plus tous les 15 cm
- **Chaînages verticaux** de mêmes caractéristiques : sur les bords des trumeaux de contreventement, dans les angles, et tous les 5 m dans les murs longs ; ils doivent être ancrés dans les fondations
- **Chaînages de couronnement** sur les bords supérieurs libres des murs (pignons, acrotères...), sections des armatures ci-dessus divisées par 2
- **Encadrement des ouvertures**, épaisseur ≥ 4 cm selon les Règles PS-MI

Maçonnerie chaînée



Les chaînages verticaux doivent être ancrés dans les fondations

Continuité mécanique des chaînages par boucles en U ajoutées

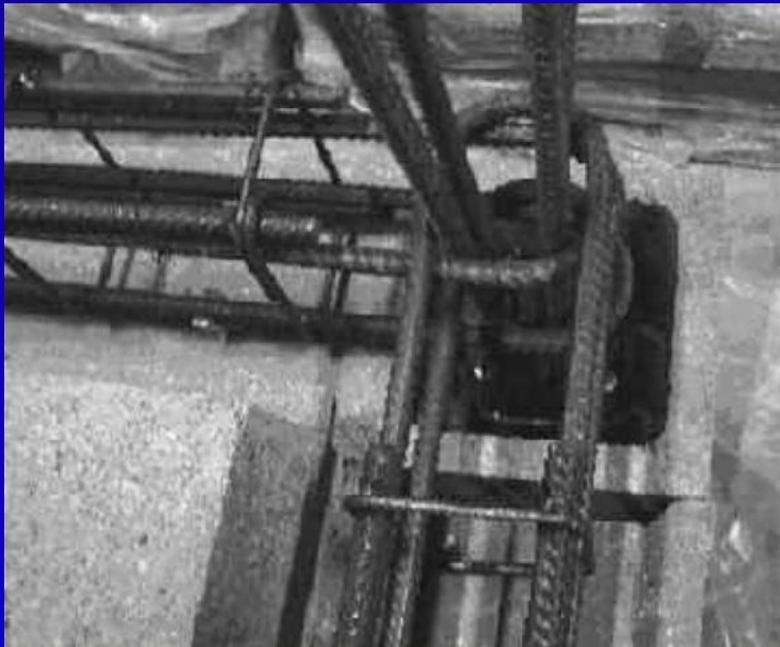
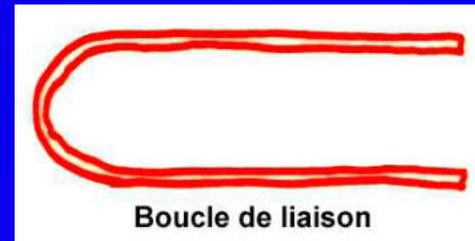


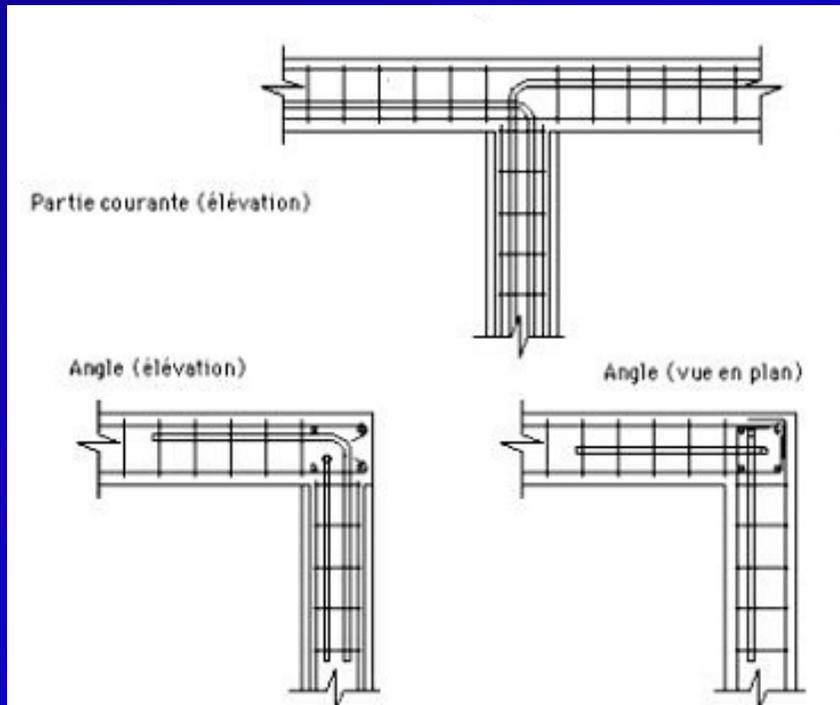
Photo CERIB



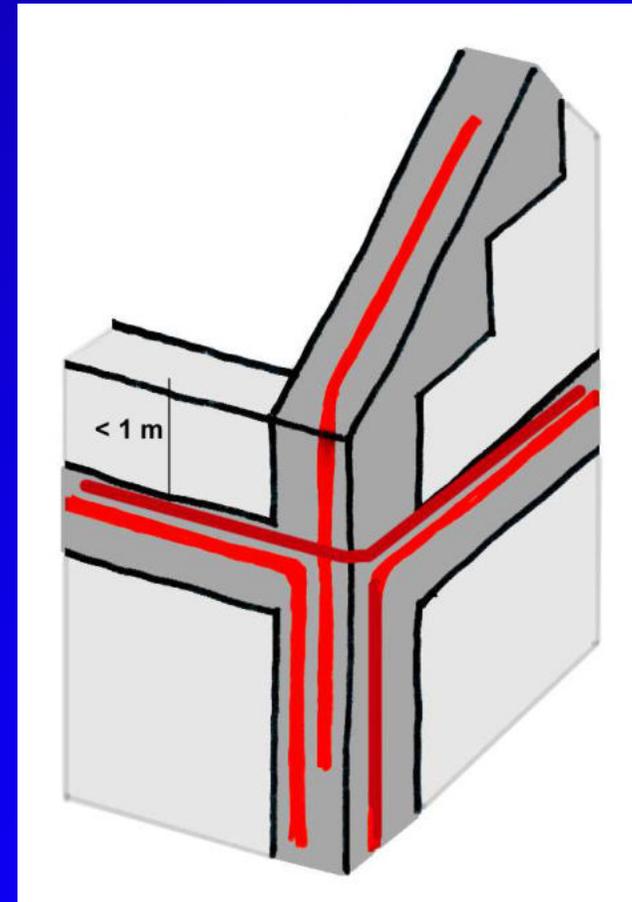
Photo Davidovici



Continuité mécanique des chaînages par barres ajoutées



Règles PS-MI 89/92



Mise en place incorrecte des chaînages



C. Michel



C. Michel

Défaut de continuité mécanique

Chaînages interrompus



G. Jacquet



Photo Pothin

Interruption du chaînage pour l'ancrage des pannes

Ancrage correct des éléments de toiture par sabots ou étriers



M. Zacek

Arbalétrier



M. Zacek

Entrait

Mise en place des chaînages incorrecte



C. Michel



G. Jacquet

Les chaînages horizontaux et verticaux doivent se croiser dans un même plan

Continuité mécanique des chaînages verticaux par recouvrement



G. Jacquet

Disposition correcte

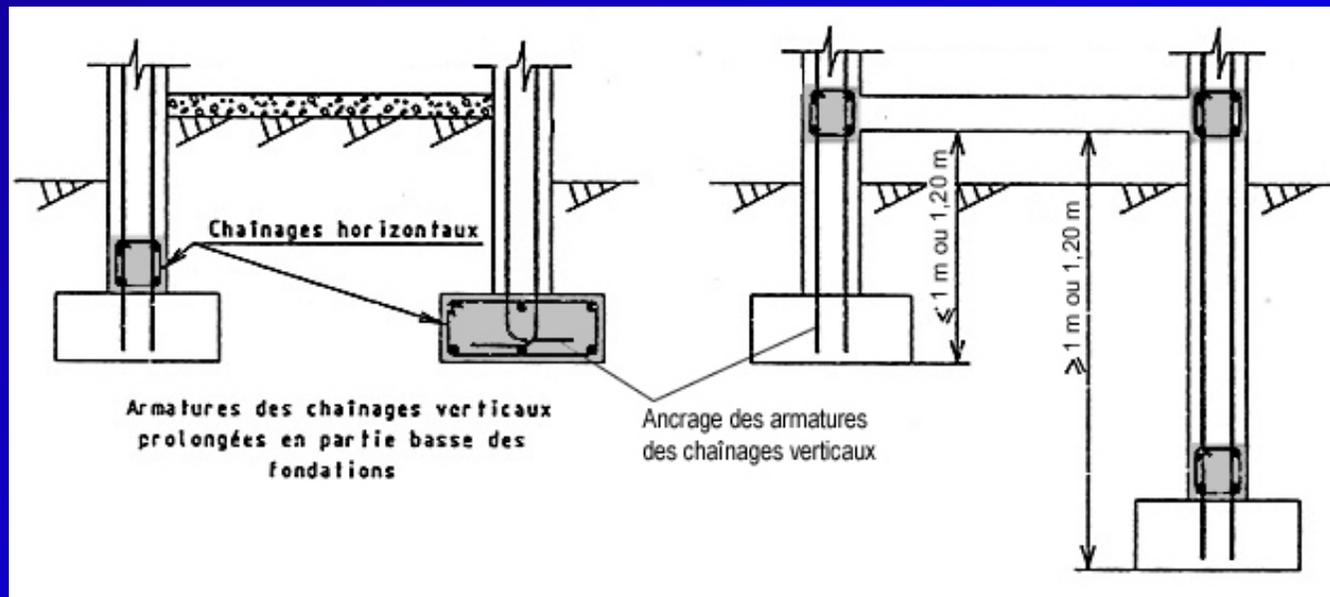


C. Michel

Déviat[i]on interdite

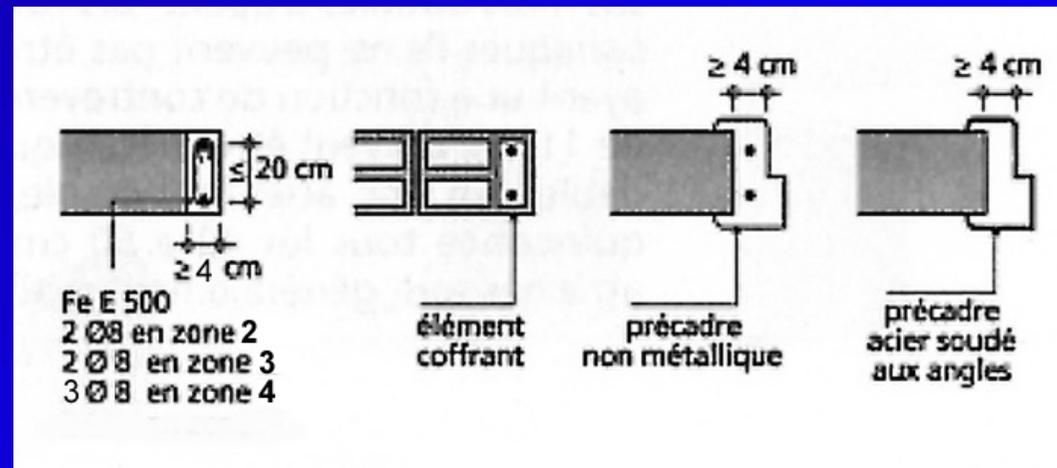
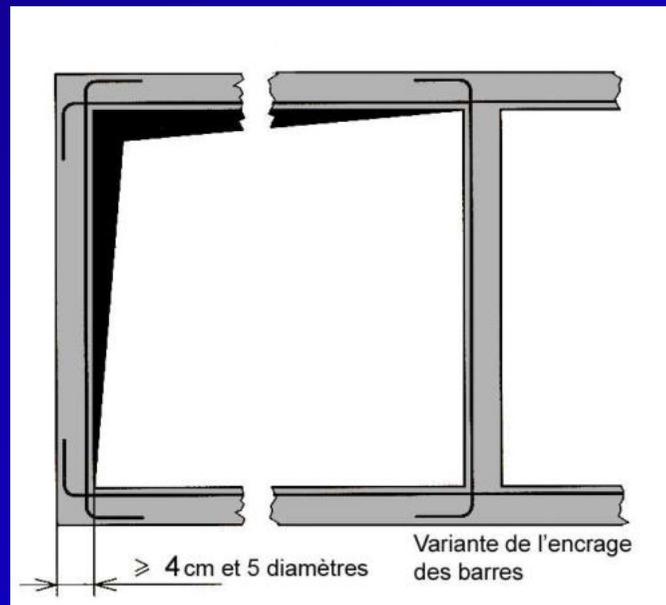
Chaînage des fondations

- . au-dessus de la fondation, ou
- . dans la fondation, ou
- . au niveau du plancher s'il est situé à < 1 m au-dessous de l'assise (à $\leq 1,20$ m selon les Règles PS-MI 89/92 et le § 9.7 de l'EC 8)



Les armatures des chaînages verticaux doivent être descendues jusqu'en face inférieure des fondations et ancrées totalement au-dessous de l'axe du chaînage horizontal le plus bas

Dispositions constructives parasismiques pour l'encadrement des baies (Règles PS-MI 89/92)



Obligation d'encadrement : dimension > 60 cm

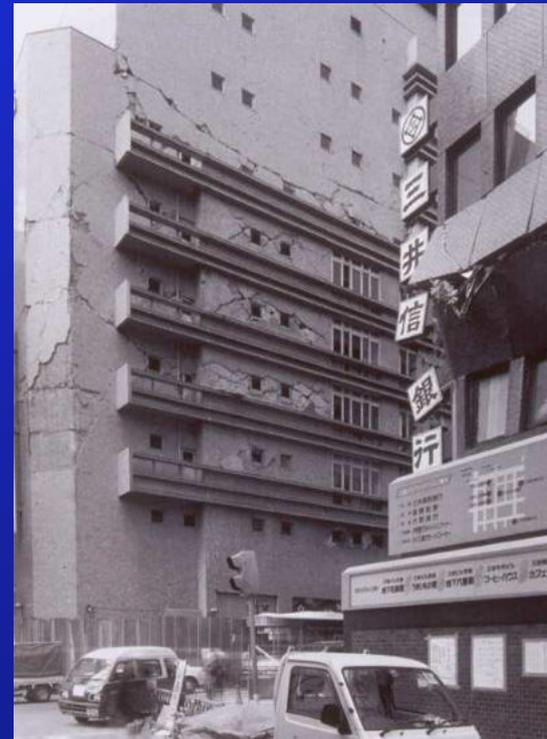
3.3. Construction en béton armé

MURS EN BETON

- Excellent comportement sous séisme
- Même très endommagés, ils préviennent la chute des planchers



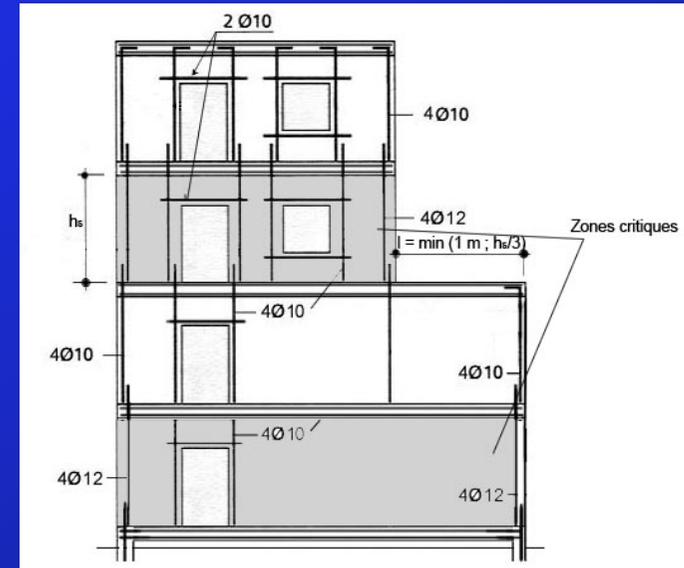
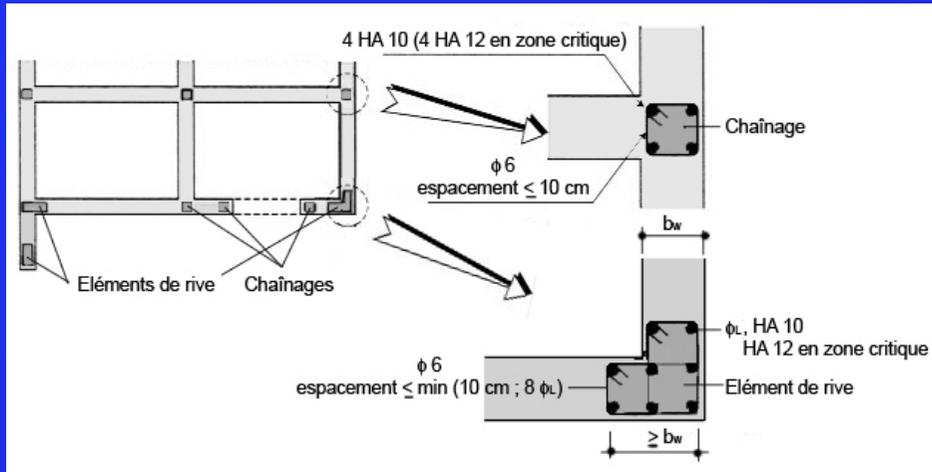
Mur non chaîné, séisme d'Anchorage, Etats-Unis 1964



R. Miyamoto

Mur armé, faibles dommages séisme de Kobé, Japon 1995

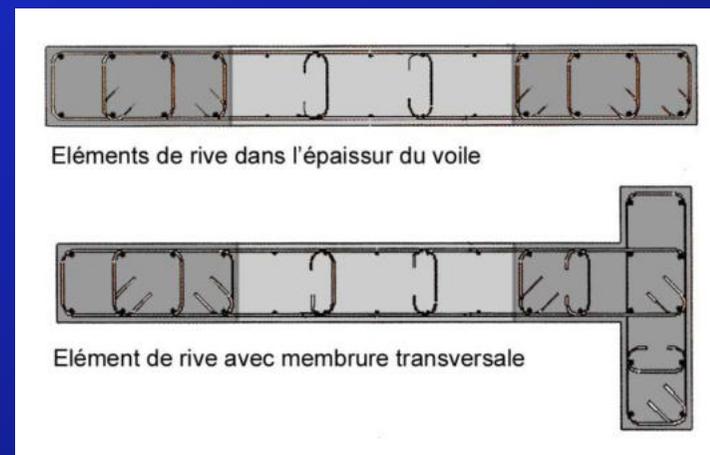
Murs en béton banché



Murs en béton armé



G Jacquet



OSSATURES EN POTEAUX ET POUTRES

- Comportement correct seulement si leurs zones critiques sont confinées. Dans le cas contraire : effondrement
- Mise en œuvre parfois difficile
- Eviter les murs de remplissage en maçonnerie



NISEE

Effondrement de systèmes en portiques non parasismiques
séisme d'Izmit, Turquie 1999

Début d'effondrement : éclatement des zones critiques d'une ossature



NISEE

Anchorage, Alaska 1964



NISEE

Chi-Chi, Taiwan 1999



NISEE

Chili 1960



Li Wenjun

Tangshan, Chine 1976

Comparaison des comportements fragile et ductile



Rupture fragile (instantanée)
séisme de Spitak, Arménie 1988



NISEE

Comportement ductile. L'effondrement est dû
à une erreur d'architecture et non d'exécution
(effet de poteau court à l'intérieur du
bâtiment), Northridge, Californie 1994

Confinement correct des poteaux



G. Hivn



M. Zacek

Cadres rapprochés, barres maintenues individuellement

Confinement correct des poutres



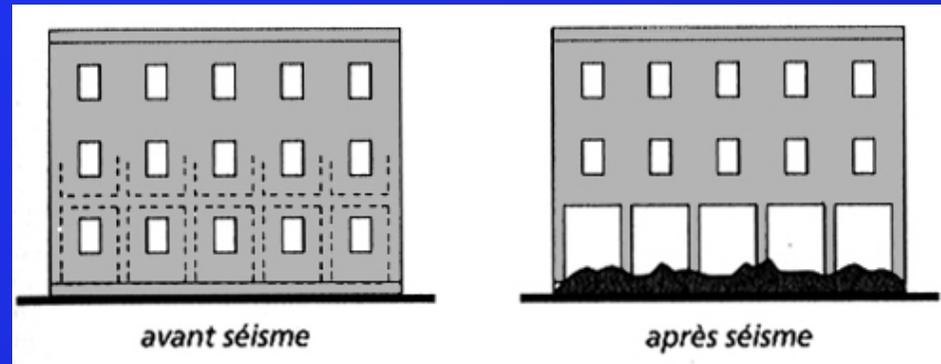
M. Zacek



M. Zacek

Salle de spectacles Aix-en-Provence

Eclatement des panneaux de remplissage



Séisme de Boumerdès, Algérie 2003

A scenic mountain landscape with rolling hills, a valley, and snow-capped peaks under a cloudy sky. The foreground is dominated by tall, golden-brown grasses. The middle ground shows a valley with a river and forested slopes. The background features a range of mountains with snow-capped peaks under a blue sky with light clouds.

**Je vous remercie
pour l'intérêt que vous avez porté
à ma présentation**



Les maçonneries parasismiques en pierre

Olivier Chèze

Maçonneries parasismiques en pierre naturelle

Quels sont les nouveaux référentiels ?

Commençons par les anciens :

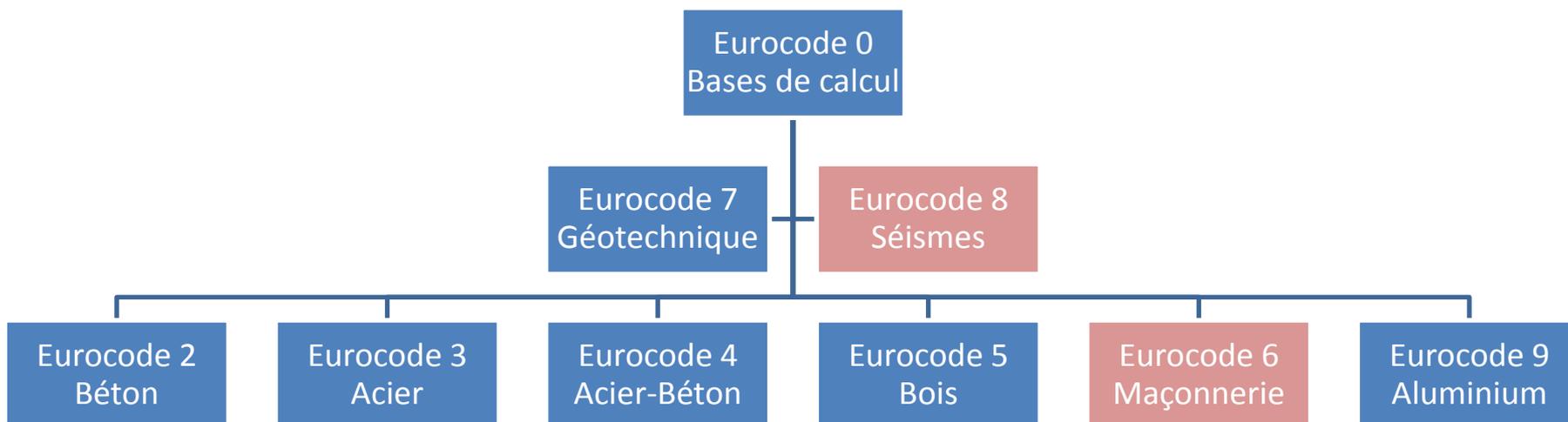
- **Règles PS 92** : tous les bâtiment
- **PSMI 92** : petits bâtiments (maisons individuelles et assimilés)

Et les nouveaux ?

- **Eurocode 8-1 + AN** : tous les bâtiments
- **Fascicule de Documentation** de l'Eurocode 8-1 (à venir)
- **CPMI** : mise à jour des PSMI (à venir)

Maçonneries parasismiques en pierre naturelle

Les Eurocodes



Maçonneries parasismiques en pierre naturelle

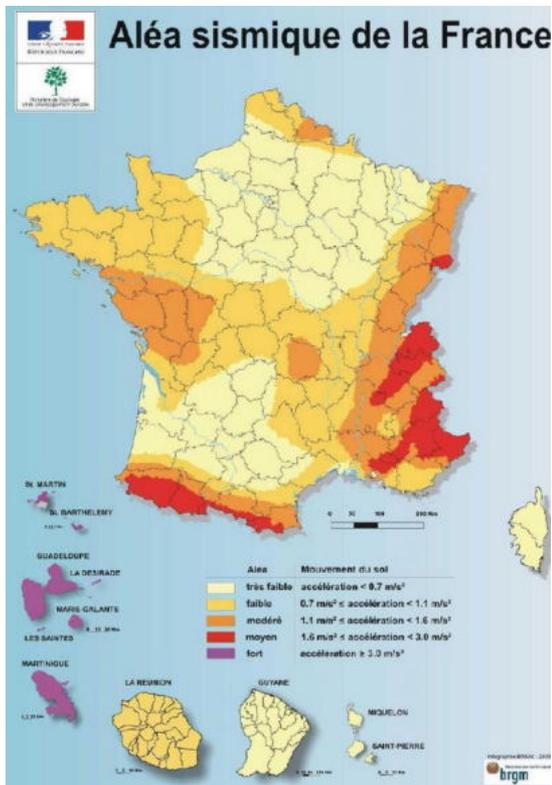
L'Eurocode 8

Réglementation \Rightarrow Application de l'Eurocode 8

EN 1998-1:2004	Calcul des structures pour leur résistance aux séismes – Partie 1: Règles générales, actions sismiques et règles pour les bâtiments
EN 1998-2:2005	Calcul des structures pour leur résistance aux séismes – Partie 2: Pont
EN 1998-3:2005	Calcul des structures pour leur résistance aux séismes – Partie 3: Evaluation et renforcement des bâtiments
EN 1998-4:2006	Calcul des structures pour leur résistance aux séismes – Partie 4: Silos, réservoirs et canalisations
EN 1998-5:2004	Calcul des structures pour leur résistance aux séismes – Partie 5: Fondations, ouvrages de soutènement et aspects géotechniques
EN 1998-6:2005	Calcul des structures pour leur résistance aux séismes – Partie 6: Tours, mâts et cheminées

Maçonneries parasismiques en pierre naturelle

Quand appliquer la réglementation parasismique ?



Catégorie d'importance	
I	
II	
III	
IV	

		Catégorie de bâtiment			
		I	II	III	IV
Zone sismique	1				
	2				
	3		Exigence réglementaire		
	4				
	5				

Image : DGALN

Maçonneries parasismiques en pierre naturelle

Les prescriptions de l'Eurocode 8-1 sur les maçonneries

- Critères sur les **matériaux** utilisés :
 - Mortier ≥ 5 MPa
 - Compression des éléments ≥ 4 MPa
 - Exigences géométriques :
 - Contreventement dans les 2 directions
 - Epaisseur, dimensions des murs...
- ... fonction des types de maçonnerie possibles !



Photo : Capri



Maçonneries parasismiques en pierre naturelle

Les types de maçonneries utilisables en zone sismique

- ① Maçonneries non armées (sous conditions) : il en existe 2 types
- ② Maçonneries chaînées (ou confinées) : la plus courante
- ③ Maçonneries armées (non traditionnelles)

Maçonneries parasismiques en pierre naturelle

① Les maçonneries non armées conformes à l'EC6

Sous certaines conditions assez drastiques :

- Epaisseur ≥ 350 mm
- Bâtiment d'au plus 2 étages, et $H \leq 6$ m
- Éléments en pierre naturelle
- Zone 2 uniquement...

⇒ Pas de justifications nécessaires
Mais peu de projets concernés...

		Catégorie de bâtiment			
		I	II	III	IV
Zone sismique	1				
	2				
	3				
	4				
	5				

Exigence réglementaire

Maçonneries parasismiques en pierre naturelle

① Les maçonneries non armées conformes à l'EC6 et l'EC8

Sous certaines conditions également :

- Epaisseur ≥ 350 mm
- Éléments en pierre naturelle
- Chainages horizontaux @ 4 m
- Possible jusqu'en zone 3



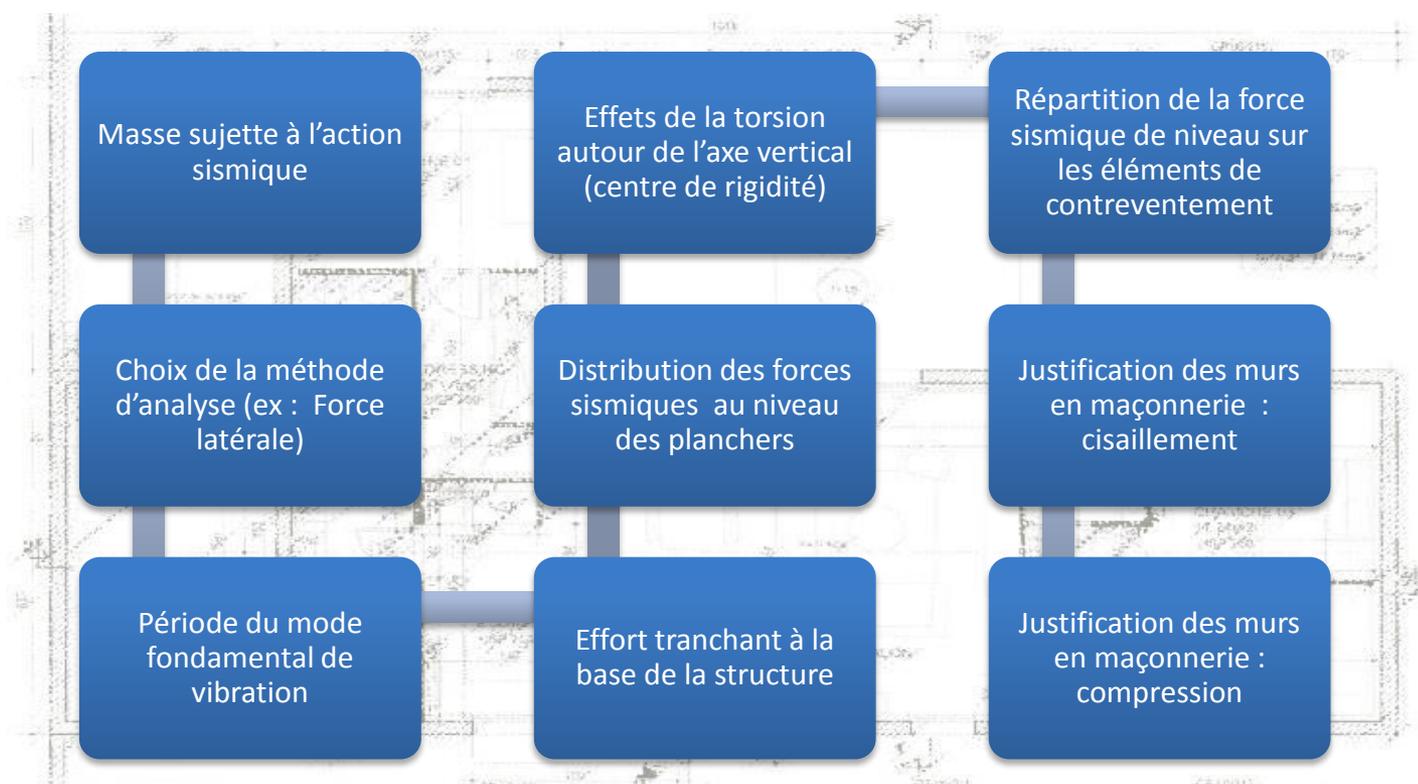
Une note de calcul est nécessaire...



Photo : O. Leroy

Maçonneries parasismiques en pierre naturelle

Principe de calcul de l'action sismique



Maçonneries parasismiques en pierre naturelle

② Les maçonneries chaînées (ou confinées) en zone sismique

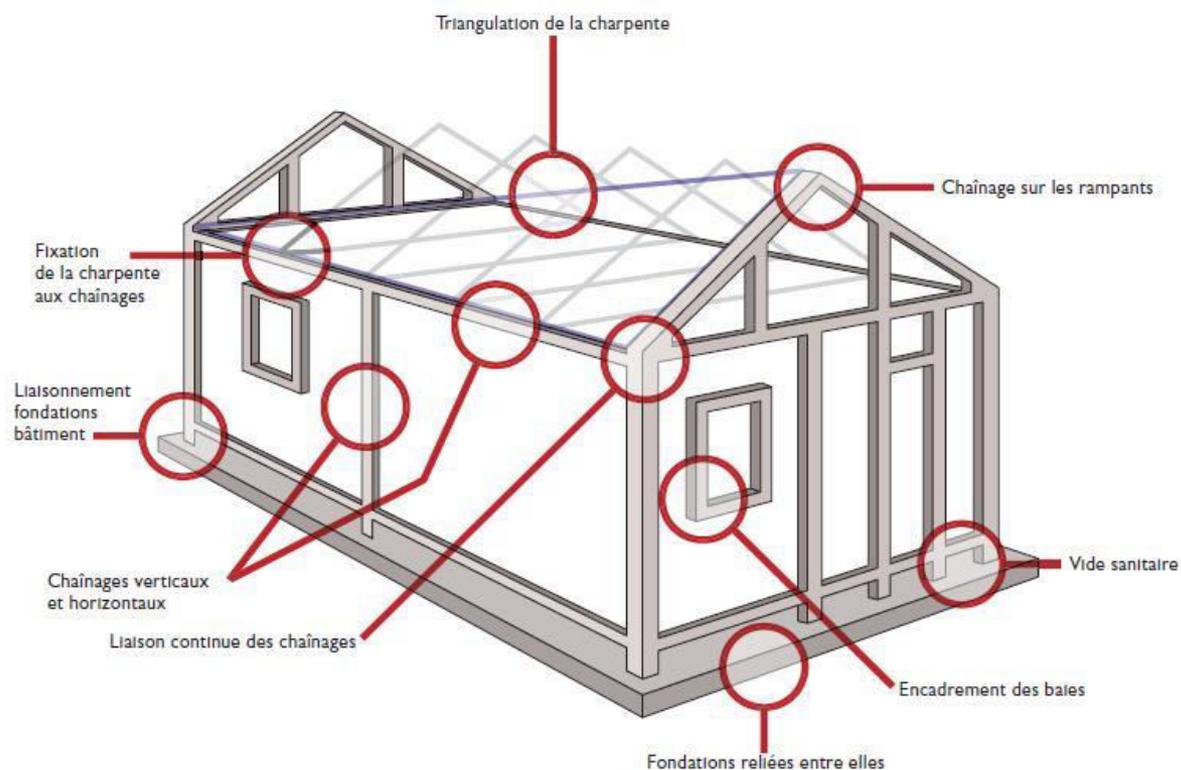


Image : Kp1

Maçonneries parasismiques en pierre naturelle

L'intérêt des règles CPMI

- Mise à jour des anciennes règles PSMI
- Pour la conception des maisons individuelles et bâtiments assimilés, selon l'Eurocode 8, en zone de sismicité 3 et 4
- Il s'agit d'un guide « *rassemblant les dispositions constructives et des tableaux de valeurs directement utilisables pour obtenir une conception conforme à la réglementation sans nécessiter le recours systématique aux règles complètes dans les cas courants.* »

Maçonneries parasismiques en pierre naturelle

Que trouve-t-on dans les règles CPMI ?

- Conseils pour la conception générale des constructions
- Constructions en maçonnerie, MOB, béton banché, métalliques, d'au plus 3 niveaux
- Planchers bois, à poutrelles, à prédalles, dalles coulées en œuvre
- A partir de différents abaques, on détermine pour chaque direction une **longueur minimale** de murs de contreventement (cumulée et unitaire)

Maçonneries parasismiques en pierre naturelle

Que trouve-t-on dans les règles CPMI ?

Longueur minimale des murs primaires de contreventement (m) - Maçonnerie													
$a_g S = 1,100 \text{ m/s}^2$		Toiture lourde						Toiture légère					
		4HA10			4HA12			4HA10			4HA12		
L_i/L_r	$S_p \text{ (m}^2\text{)}$	N=1	N=2	N=3	N=1	N=2	N=3	N=1	N=2	N=3	N=1	N=2	N=3
0,05	50	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
	100	1.2	1.2	1.4	1.2	1.2	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
	150	1.2	1.3	1.7	1.2	1.2	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
	200	1.2	1.5	1.9	1.2	1.2	1.4	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
0,10	50	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
	100	1.2	1.5	1.8	1.2	1.2	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
	150	1.2	1.8	2.2	1.2	1.2	1.4	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
	200	1.2	2.2	2.6	1.2	1.2	1.7	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
0,15	50	1.2	1.3	1.3	1.2	1.2	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
	100	1.2	1.8	2.1	1.2	1.2	1.4	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
	150	1.2	2.3	2.6	1.2	1.2	1.8	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
	200	1.4	2.8	3.1	1.2	1.2	2.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
0,20	50	1.2	1.5	2.1	1.2	1.2	2.1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
	100	1.2	2.2	3.1	1.2	1.2	3.1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
	150	1.4	2.8	3.9	1.2	1.2	3.9	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
	200	1.6	3.3	4.6	1.2	1.2	4.6	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2

$a_g S = 1,100 \text{ m/s}^2$

Zone sismique : 3
Classe de sol : A

Nombre de niveaux	Surface cumulée des murs primaires dans chaque direction, exprimée en % de la surface hors-œuvre brute du bâtiment	
	Toiture lourde	Toiture légère
1	0.55	1.09
2	1.46	2.91
3	1.99	3.97
1	0.18	2.18
2	1.09	2.18

⇒ Logiciel d'application fourni par le CSTB ?

Maçonneries parasismiques en pierre naturelle

Synthèse

- **Maçonneries non armées** possibles pour les faibles zones de sismicité (sous conditions)
- **Maçonneries chaînées** (ou confinées) dans les cas courants
- **Les règles CPMI** : dispositions et valeurs directement utilisables pour les maisons individuelles. Parution fin 2014 ?

Maçonneries parasismiques en pierre naturelle

FIN

Merci de votre attention !

Retour d'expérience en pierre naturelle

Gilles LATAILLADE et Olivier JAROSZEK

Quelques chiffres

Chaque année depuis 2005 :

- 2000 m³ de pierre livrée pour des chantiers > 10 m³
- 10 chantiers supérieurs à 100 m³



Principe

Dans 95 % des cas : chaînages en BA comme dans la maçonnerie traditionnelle :

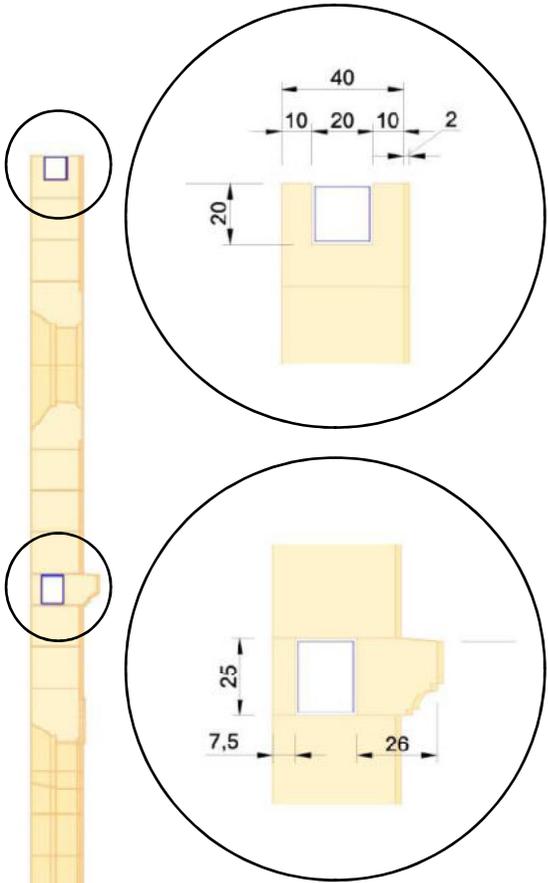
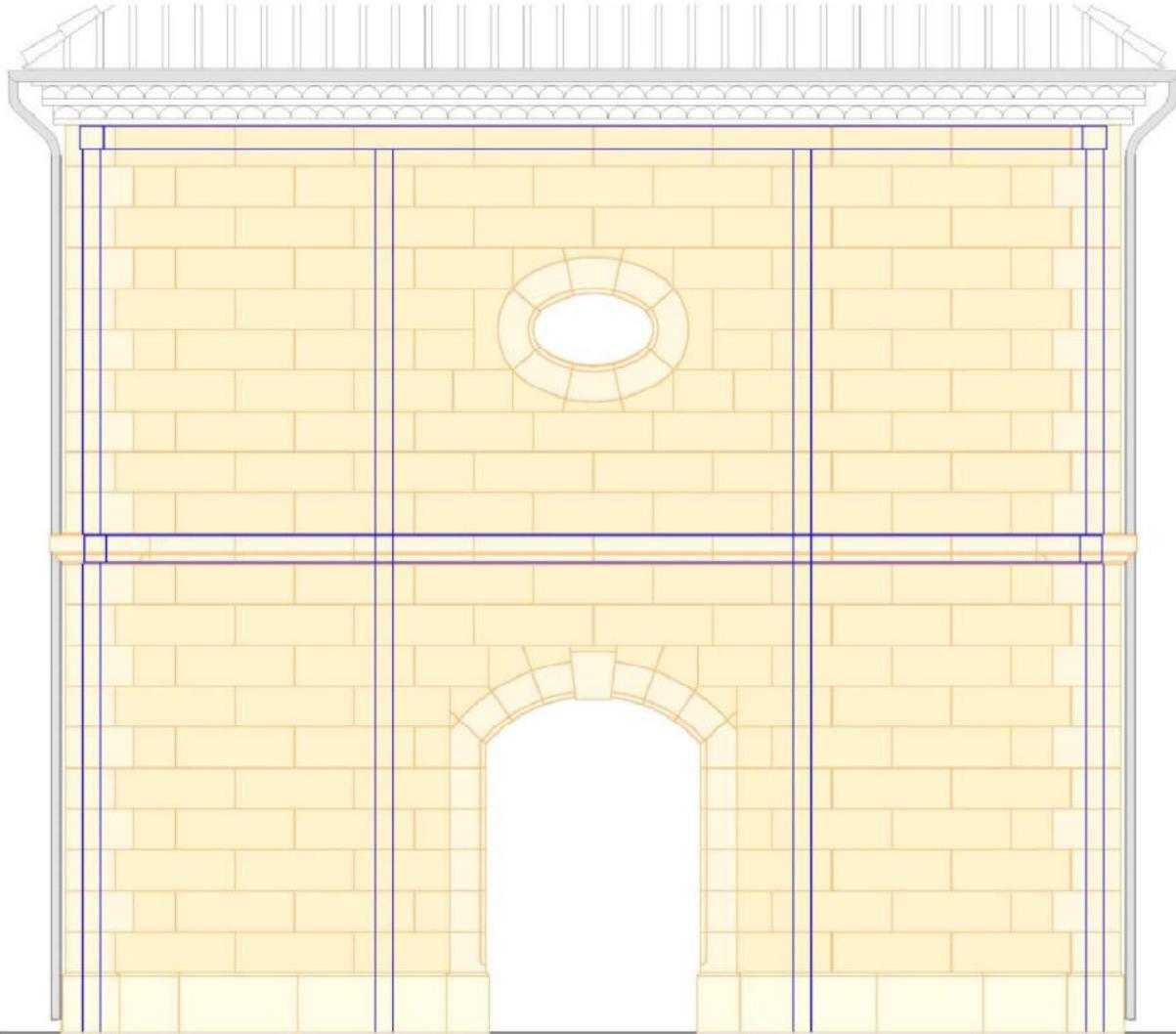
- chaînages verticaux : carottages diamètre 15 à 30 cm
- horizontaux : évidements ou planelles sur mesure



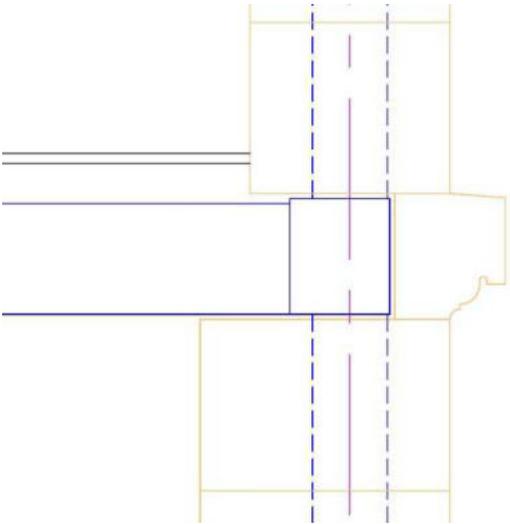
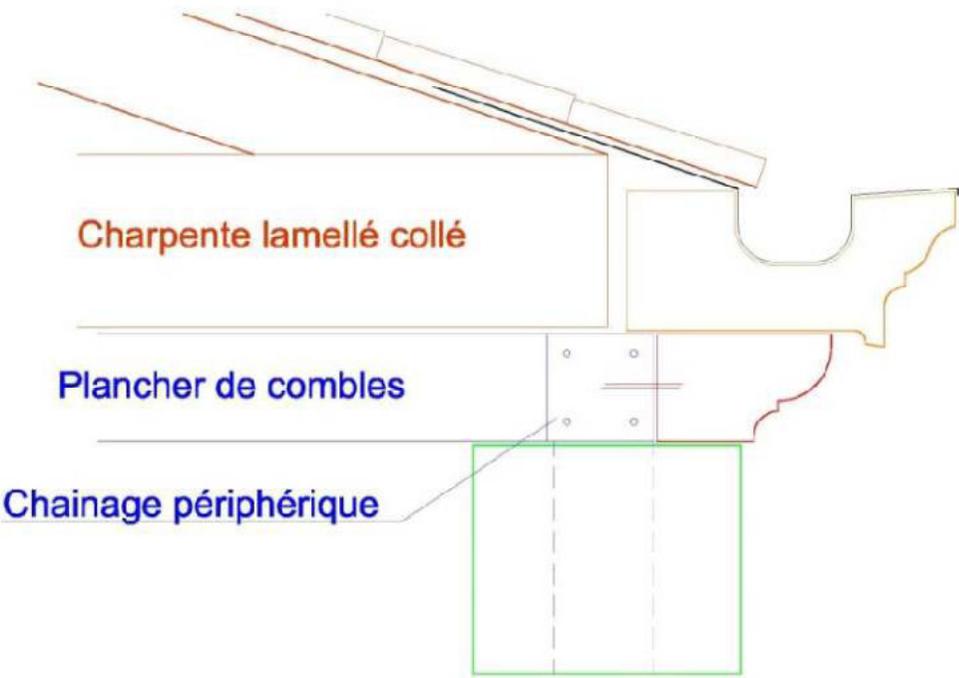
- La construction en pierre devient techniquement accessible au plus grand nombre

- Etude BA réalisable par tous les bureau d'études

Exemples



Exemples



Fabrication - débitage et évidements



Fabrication - carottage



Fabrication - profilage



Collège de Morières les Avignon

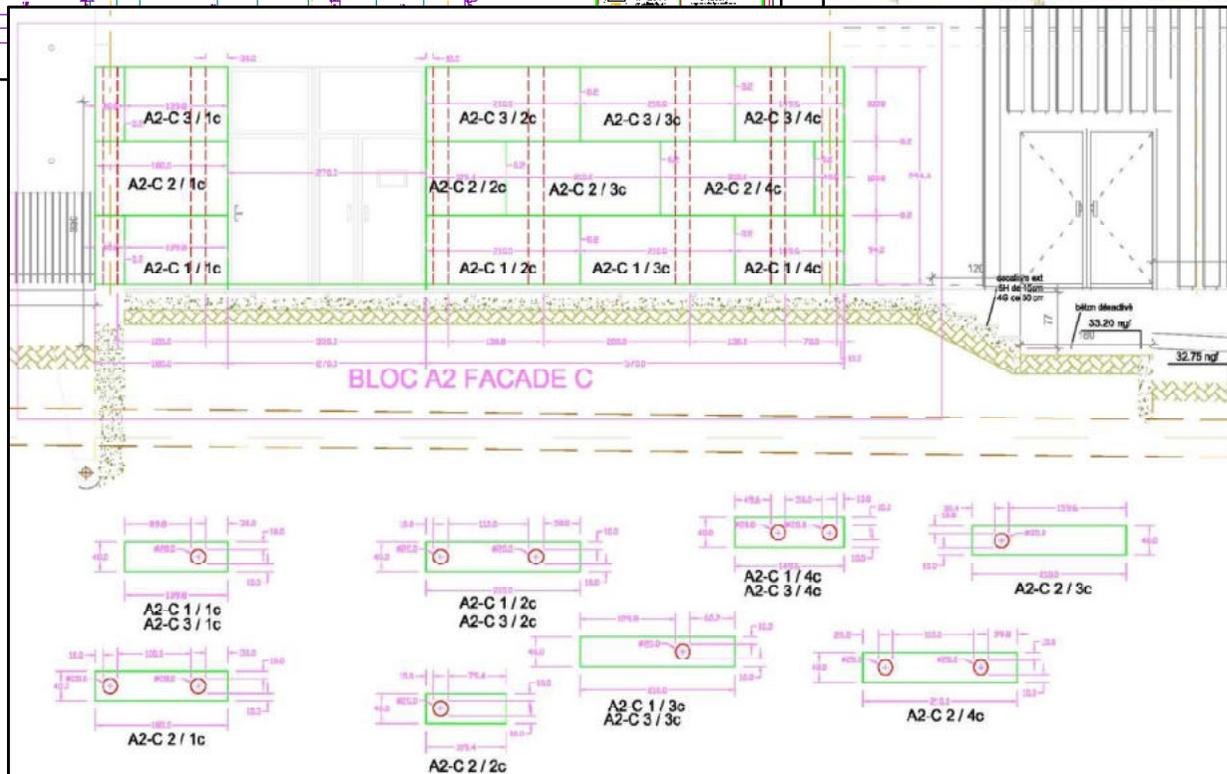
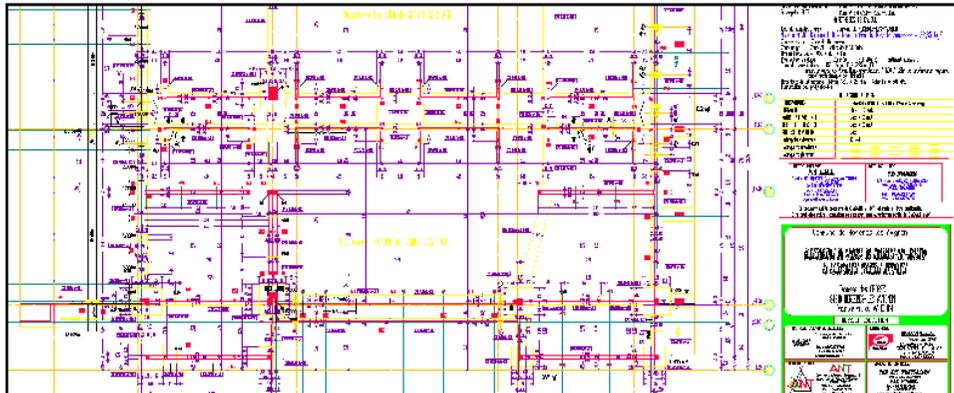
Zone 3



La construction parasismique en pierre naturelle - 25 juin 2014

Collège de Morières les Avignon

Zone 3



La construction parasismique en pierre naturelle - 25 juin 2014

Collège de Morières les Avignon

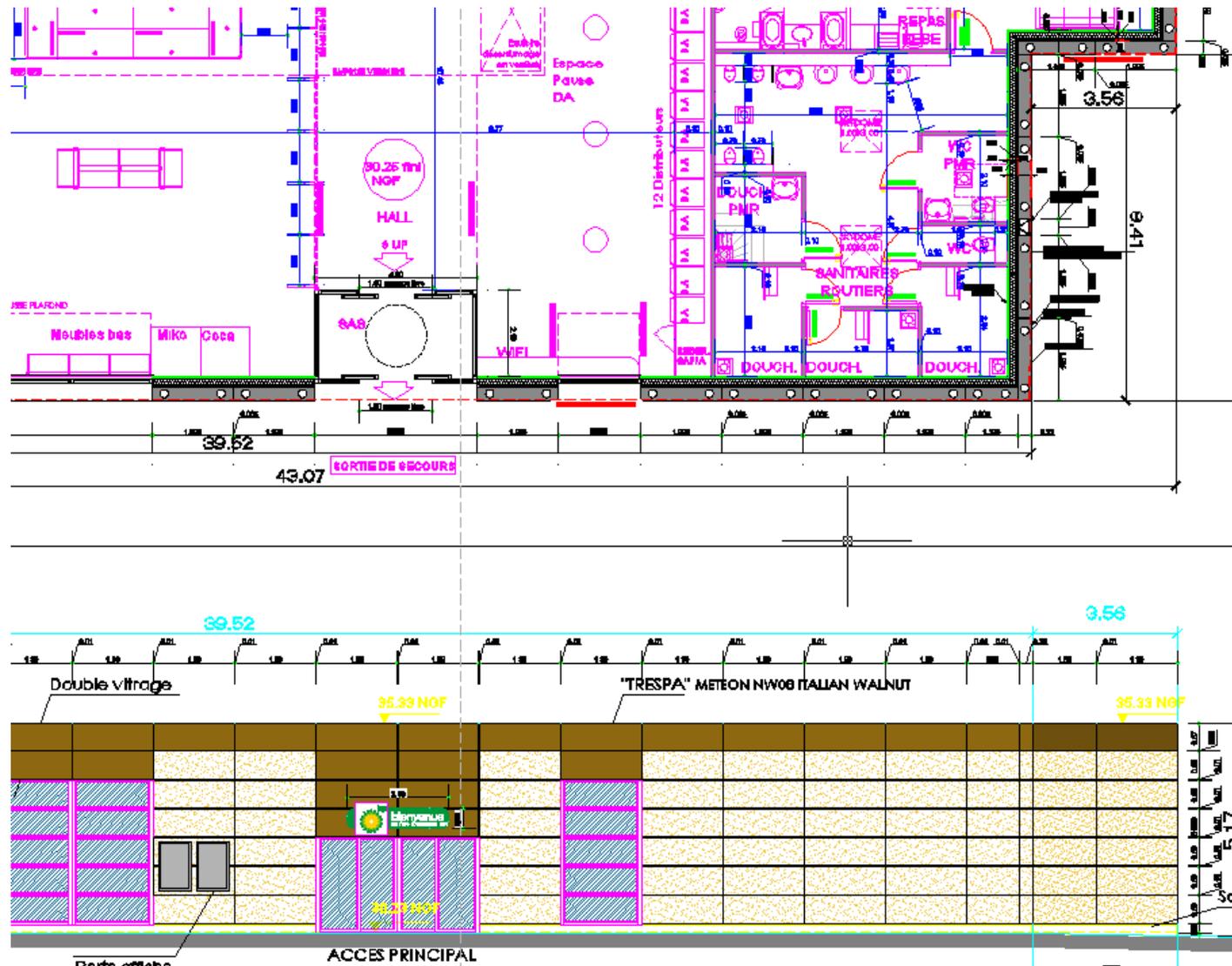
Zone 3



La construction parasismique en pierre naturelle - 25 juin 2014

Aire d'Ambrussum Nord - A9

Zone 2



La construction parasismique en pierre naturelle - 25 juin 2014

Aire d'Ambrussum Nord - A9

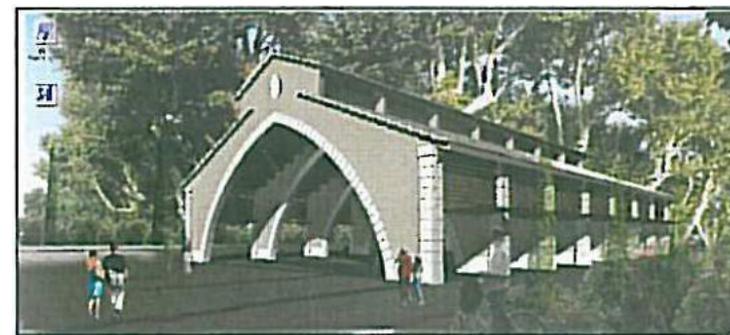
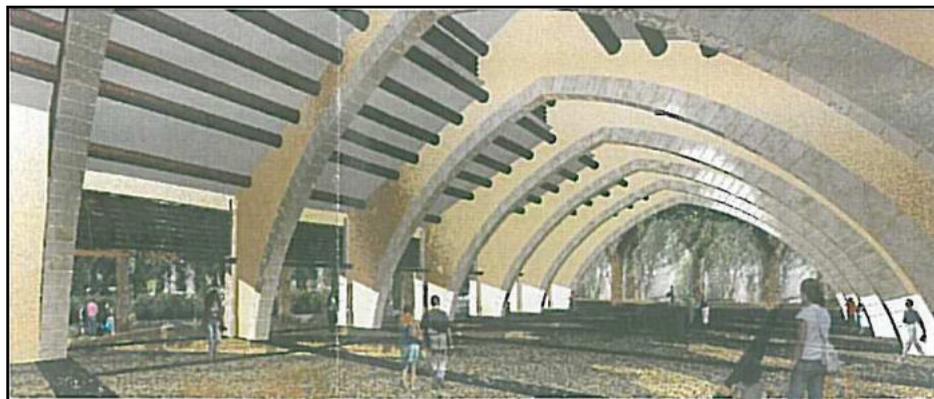
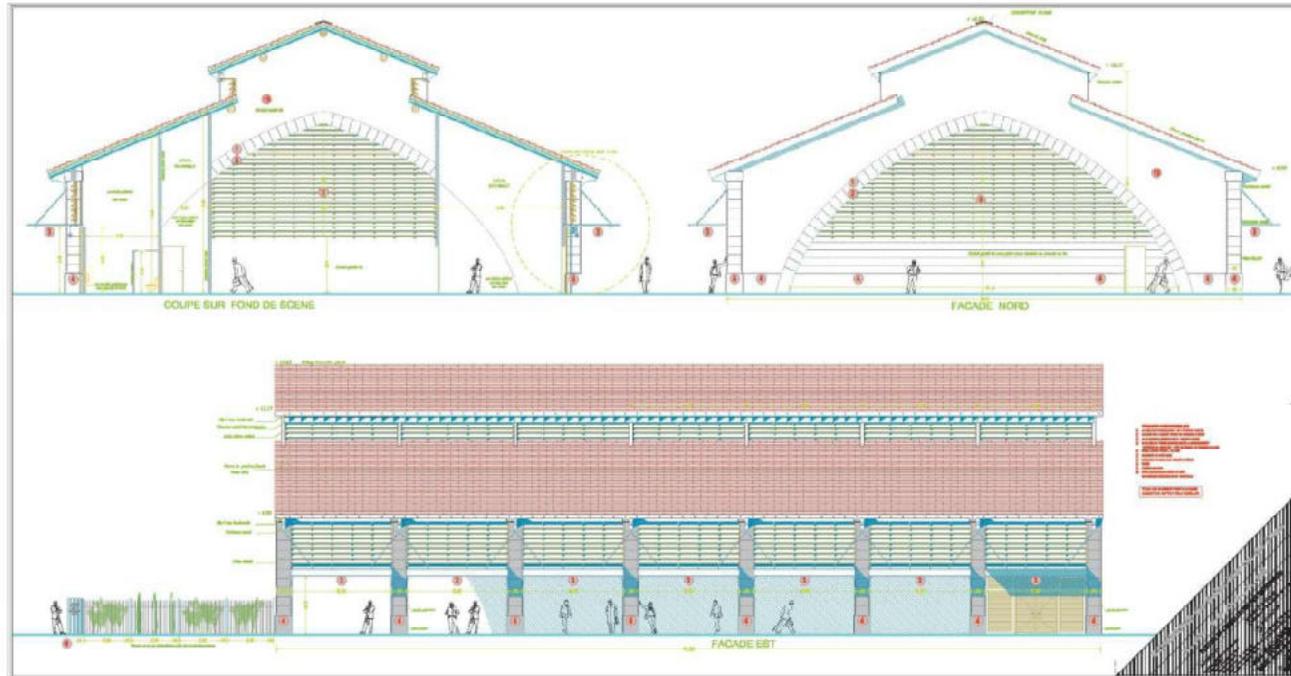
Zone 2



La construction parasismique en pierre naturelle - 25 juin 2014

Halles de Saint Martin de Crau

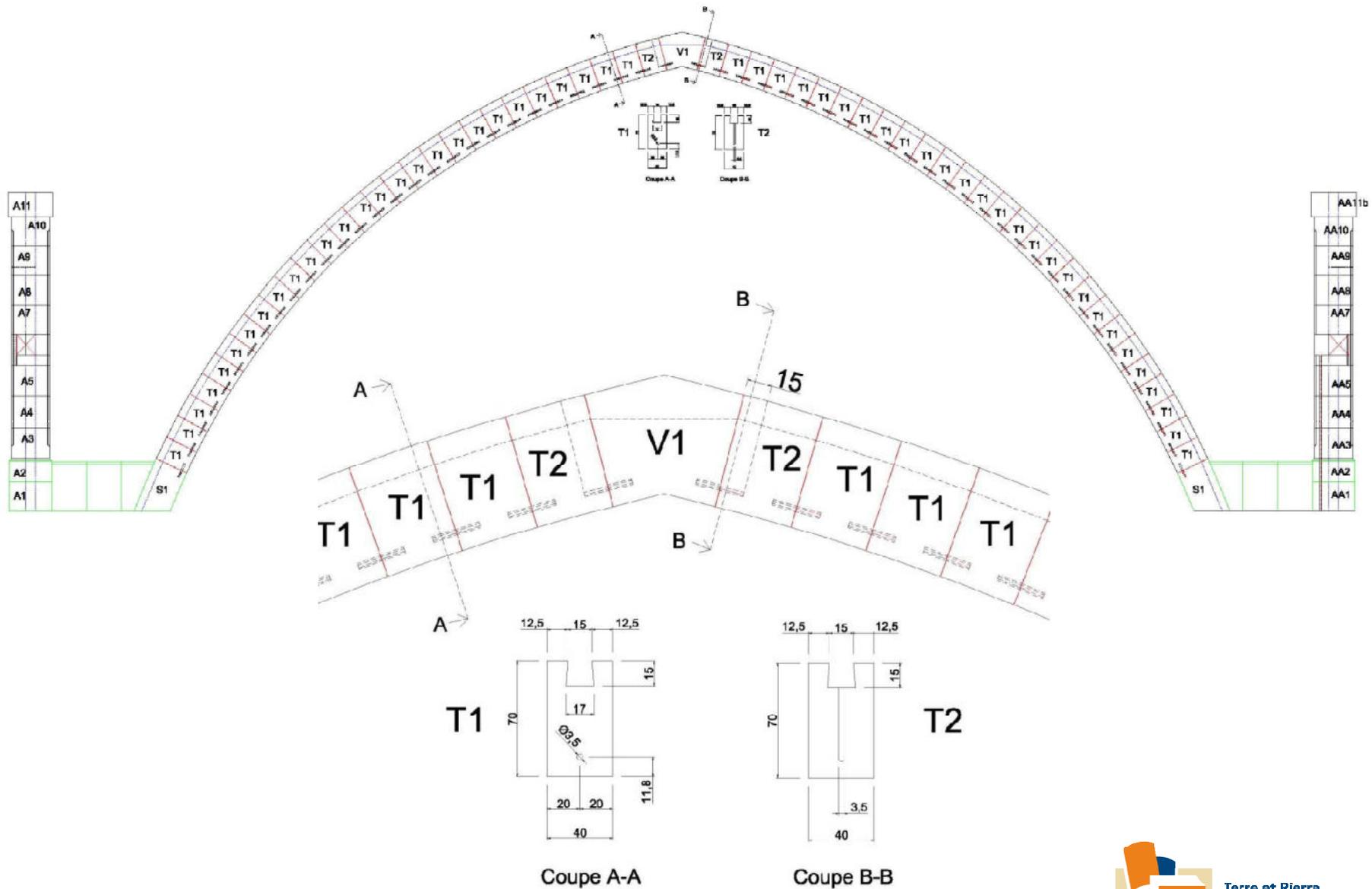
Zone 3



La construction parasismique en pierre naturelle - 25 juin 2014

Halles de Saint Martin de Crau

Zone 3



Halles de Saint Martin de Crau

Zone 3



La construction parasismique en pierre naturelle - 25 juin 2014

Halles de Saint Martin de Crau

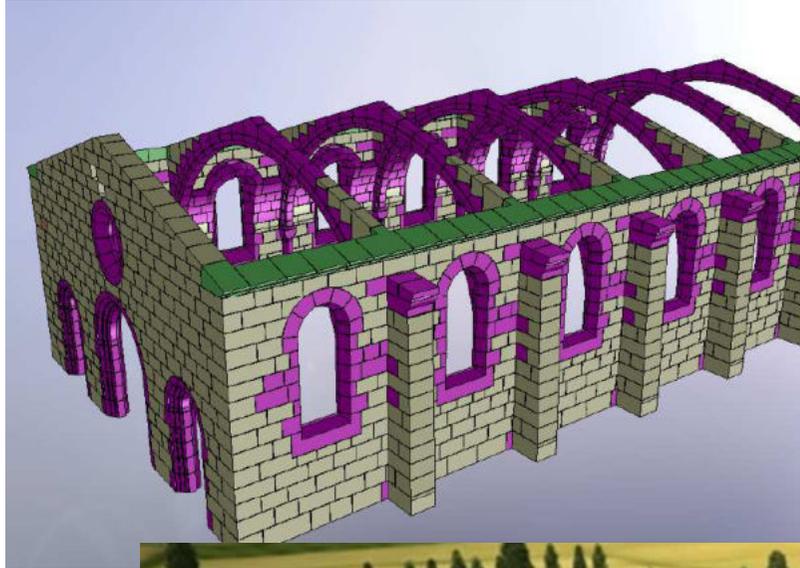
Zone 3



La construction parasismique en pierre naturelle - 25 juin 2014

Eglise de Puimisson

Zone 2



La construction parasismique en pierre naturelle - 25 juin 2014

Eglise de Puimisson

Zone 2



La construction parasismique en pierre naturelle - 25 juin 2014

Eglise de Puimisson

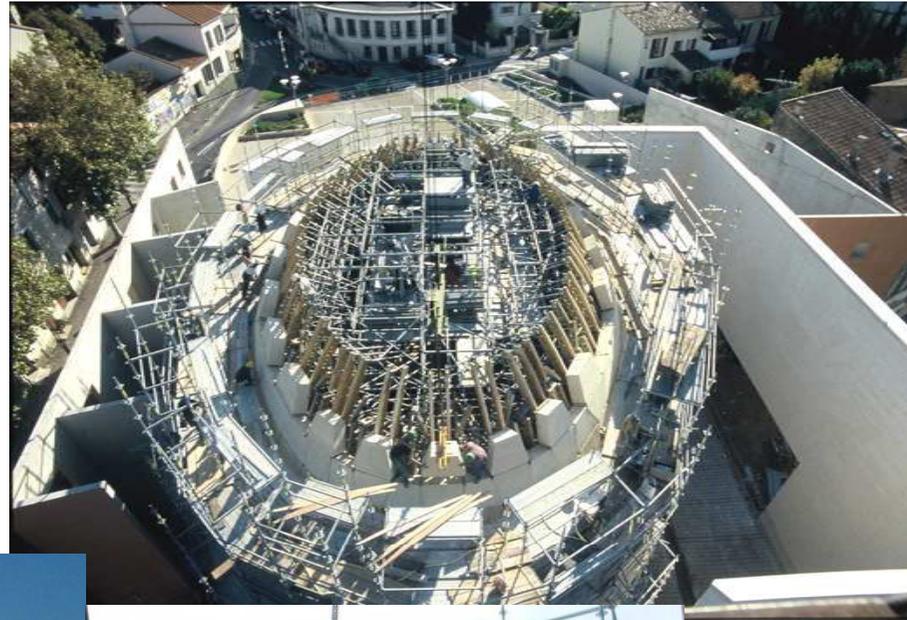
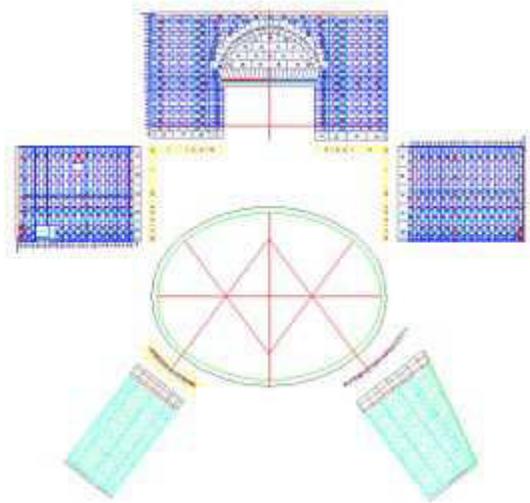
Zone 2



La construction parasismique en pierre naturelle - 25 juin 2014

Eglise d'Istres

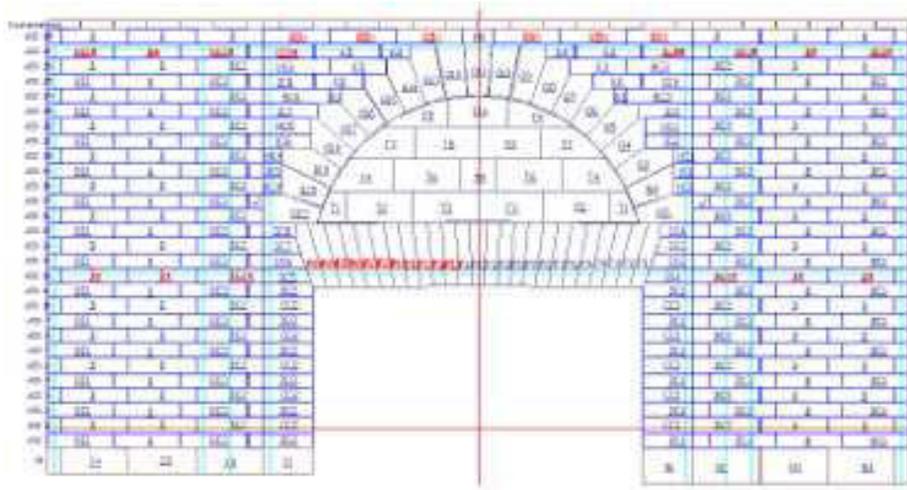
Zone 3



La construction parasismique en pierre naturelle - 25 juin 2014

Eglise d'Istres

Zone 3



La construction parasismique en pierre naturelle - 25 juin 2014

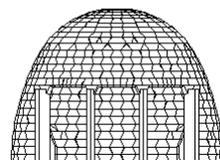
Eglise d'Istres

Zone 3

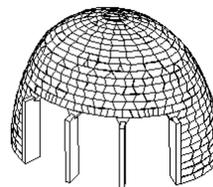


Created with HyperSnap-DX 5
To avoid this stamp, buy a license at
<http://www.hyperionics.com>

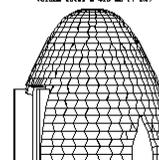
COUPOLE



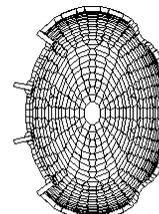
Détails des grandes nervures



COUPOLE
Total : 410 planches
Volume total : 4 410 m³ (±0%)



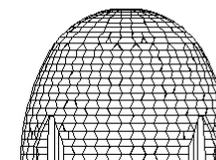
Des. de la nef



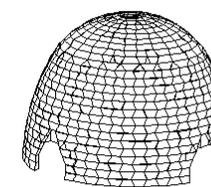
Des. de la nef



COUPOLE



Détails des petites nervures



La construction parasismique en pierre naturelle - 25 juin 2014



Règles parasismiques sur les « ENS »

Olivier Chèze

Description des ENS

Sommaire

- Description des ENS
- La réglementation parasismique des ENS
- Etat des travaux sur les ENS en pierre naturelle
 - Pierres Attachées
 - Murs Doubles
 - Couvertures en ardoise

Description des ENS

Qu'est-ce qu'un ENS ?

Parmi les éléments constitutifs d'un bâtiment, on distingue :

- Les éléments structuraux (murs, planchers...)
- **Les éléments non structuraux** (cheminées, faux-plafonds...)
- Les équipements techniques (chauffage, éclairage...)

+ les équipements techniques assurant une fonction de clos et de couvert

Exemple : panneau photovoltaïque intégré en toiture

Description des ENS

Qu'est-ce qu'un ENS ?

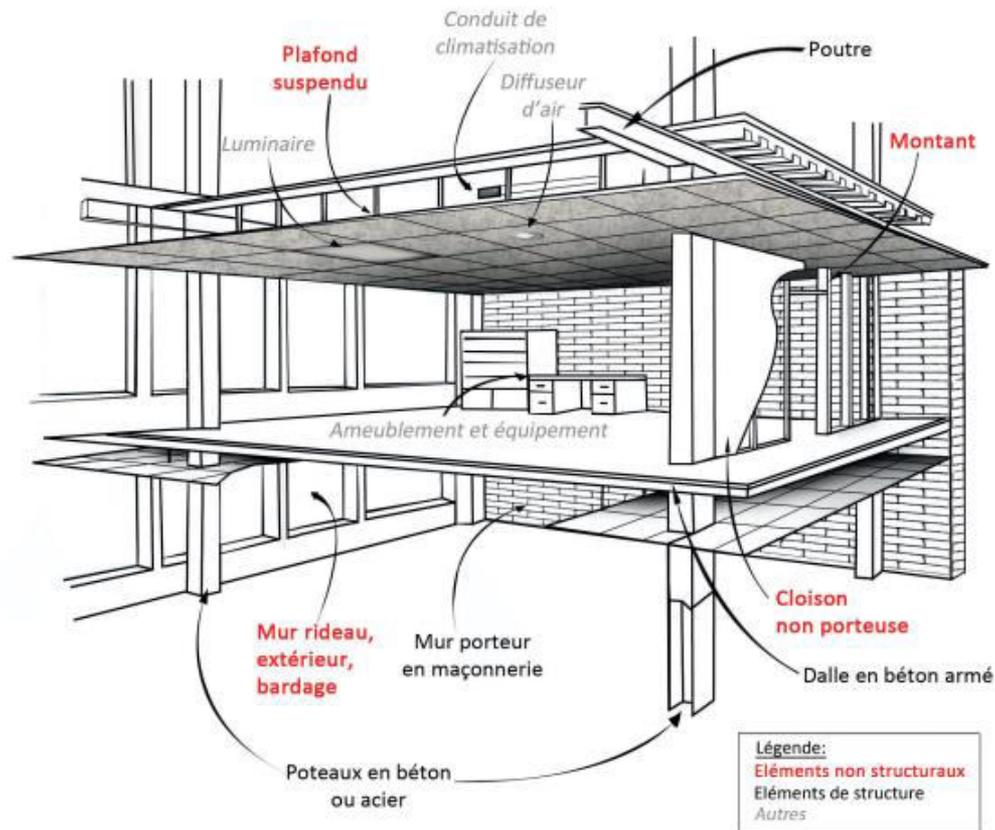


Image : AFPS

Description des ENS

Pourquoi réglementer les ENS ?

- ① En cas de séisme, ces éléments peuvent occasionner directement des **blessures** aux occupants ou gêner leur **évacuation**.
- ② La majorité des dommages ne concernent pas les structures mais les corps d'état secondaires comme les ENS.
- ③ Pour les bâtiments de catégorie IV, assurer la continuité de fonctionnement

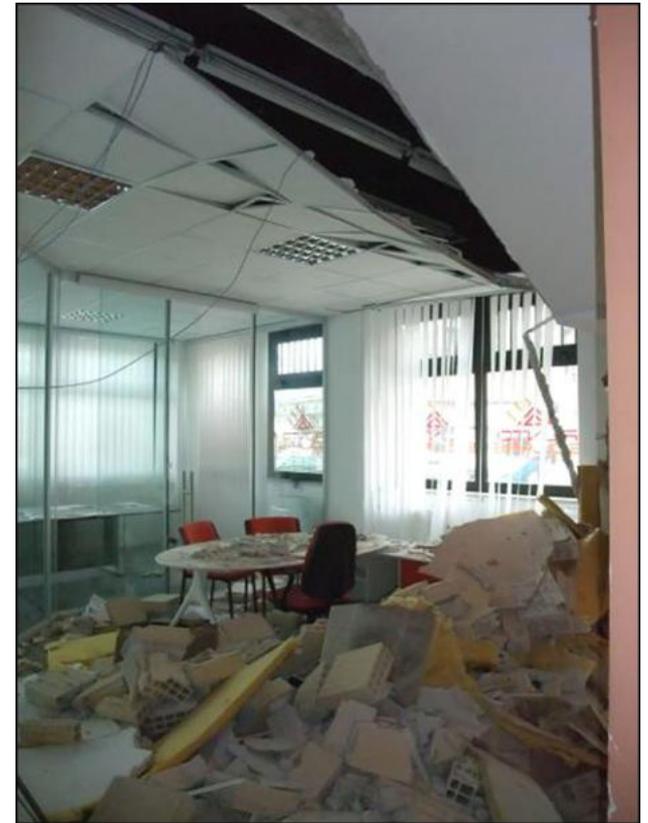
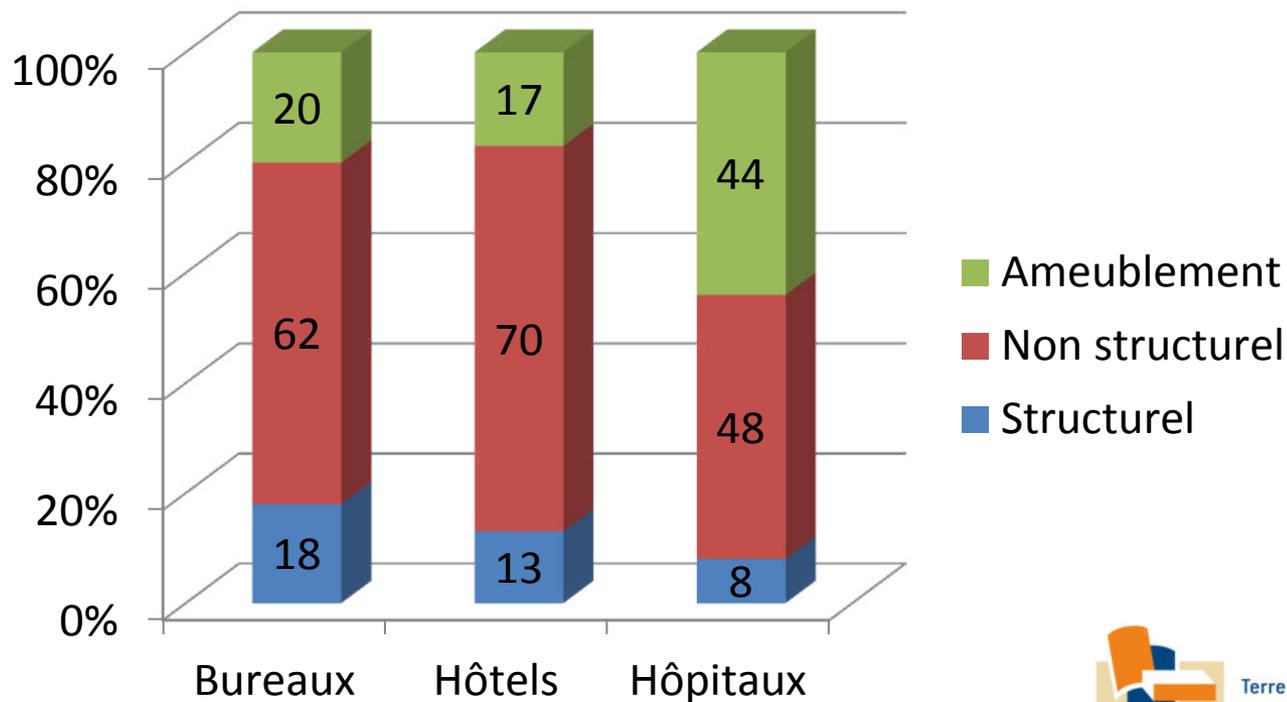


Photo : AFPS

Description des ENS

Pourquoi réglementer les ENS ?

Extrait du guide FEMA : « Répartition des investissements dans la construction d'un bâtiment »



La réglementation des ENS

S'agit-il d'une nouvelle réglementation ?

La sécurité des éléments non structuraux faisait **déjà l'objet** de vérifications parasismiques dans les règles **PS 92** et dans les **PSMI**.

Extrait PS92 :

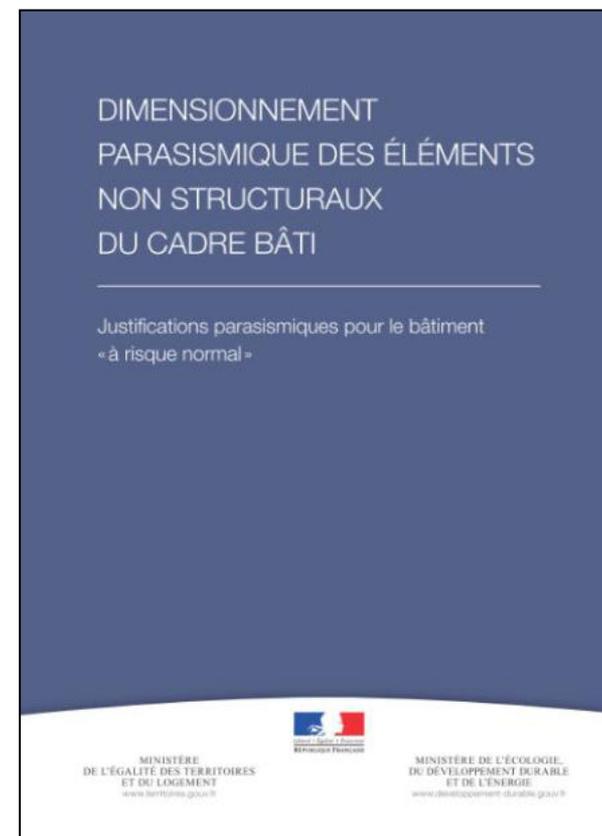
« Il doit être justifié que les éléments non structuraux dont le comportement peut présenter un danger grave pour la sécurité des personnes, ainsi que leurs fixations, sont aptes à supporter les actions locales mentionnées dans le paragraphe 2.3.1. »

⇒ **ENS visés par la précédente réglementation sismique, mais les objectifs de comportement ont été précisés**

La réglementation des ENS

Quels sont les nouveaux textes ?

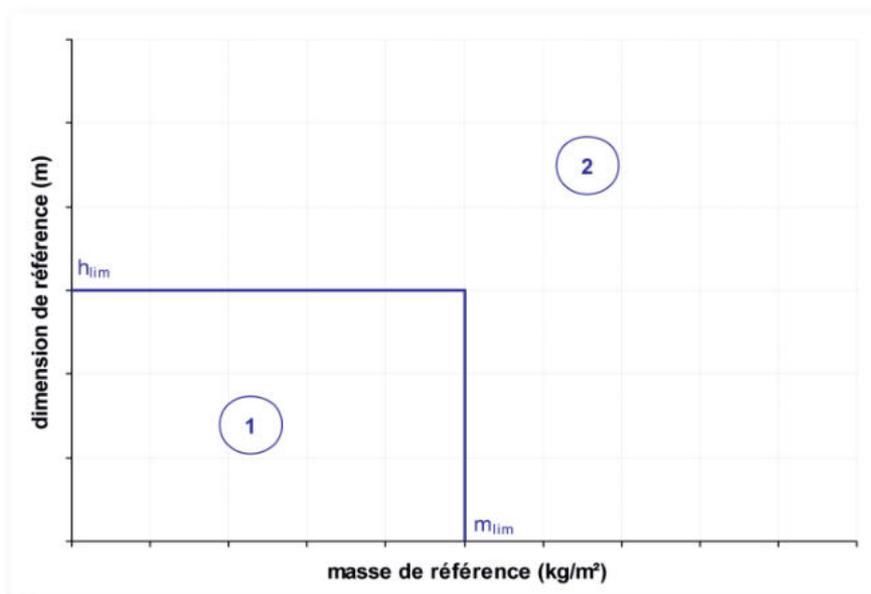
- ① **Arrêtés sismiques et décrets associés**
- ② **Eurocode 8-1 + Annexe Nationale**
- ③ **Guide édité par la DHUP en 2013**
<http://urlz.fr/rNS>
- ④ **Guide d'un groupe de travail de l'AFPS**
(CTI, CSTB, BE, DHUP, CT)



La réglementation des ENS

Les nouveautés introduites par le guide DHUP

Domaine d'application pour la prise en compte du séisme selon un **diagramme masse/hauteur** fonction de la famille de l'ENS



Extrait du guide ENS DHUP

La construction parasismique en pierre naturelle - 25 juin 2014

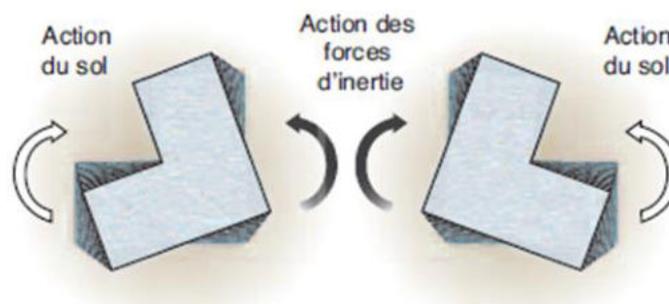
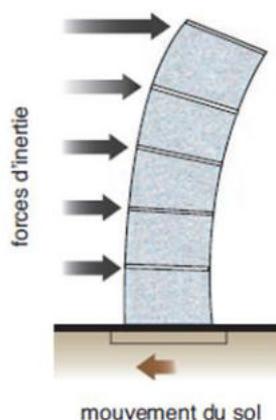
Egalement : Pas de prise en compte du séisme si l'ENS à l'aplomb d'une **aire de chute à occupation nulle** ou d'un **auvent de protection**

La réglementation des ENS

Les nouveautés introduites par le guide DHUP

Objectifs de comportement d'un ENS = sécurité des personnes + limitation des dommages

Sécurité des personnes = prise en compte des effets de l'action sismique (effets inertiels) et du déplacement entre étages du bâtiment (déformations du bâtiment) : **pas d'effondrement de l'ENS**



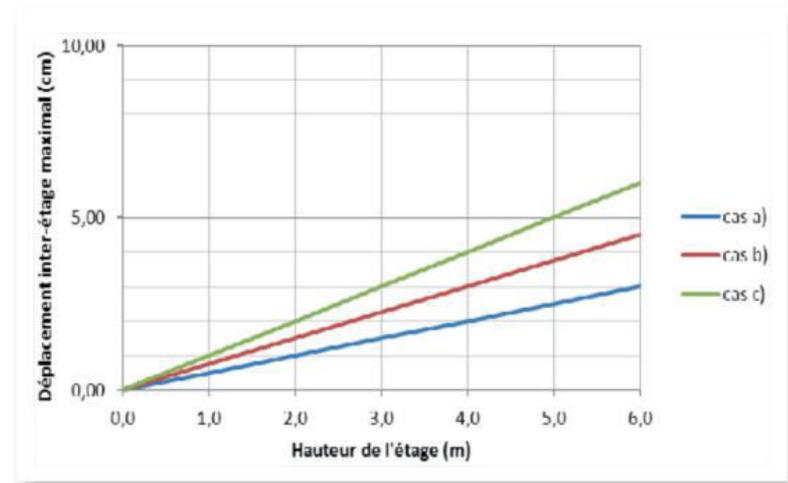
Images : AFPS

La réglementation des ENS

Les nouveautés introduites par le guide DHUP

Limitation des dommages = permet de limiter le coût des réparations suite à un séisme de période de retour plus faible (donc plus fréquent) que le séisme de référence.

Concrètement, limiter la valeur du déplacement inter-étages du bâtiment à un seuil fonction de la ductilité de l'ENS (a, b ou c)



La réglementation des ENS

Et le guide ENS AFPS ?



**Guide ENS de l'AFPS
(Spécifications, REX)**

**Décret et arrêtés sismiques
Guide ENS de la DHUP**

**Déclinaison par les professionnels
(ex : complément sismique au DTU)**

Les ENS en pierre naturelle

Les ENS en pierre ayant fait l'objet d'études au CTMNC...

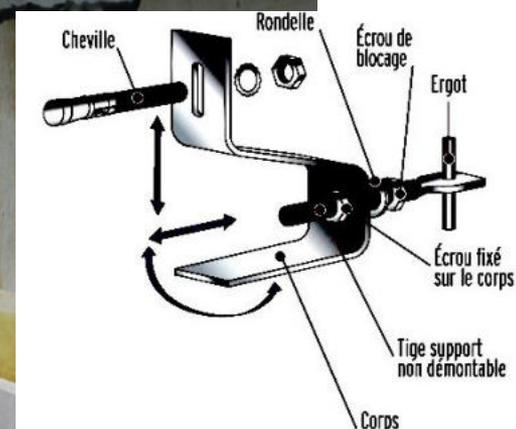
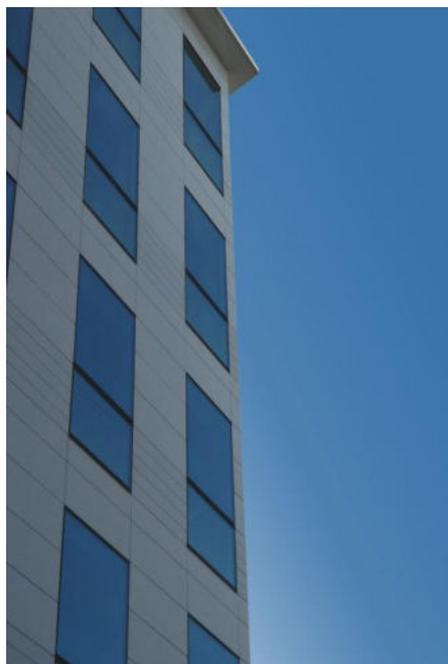
- Les pierres attachées
 - essais CSTB, 2008
 - annexe guide ENS de l'AFPS
 - complément au DTU
- Les murs doubles
 - essais CSTB, 2013
 - recommandations « RAGE »
- Les couvertures en petits éléments (ardoise)
 - essais projet « SISBAT », 2013
 - Annexe guide ENS de l'AFPS



Les Pierres Attachées en zone sismique

Rappel du procédé

Le procédé fait l'objet du **DTU 55.2** :



Photos : HALFEN

Les Pierres Attachées en zone sismique

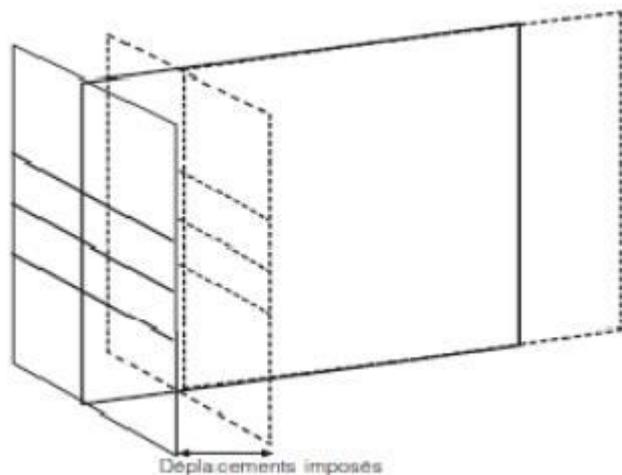
La démarche...

- 2008 : Projet d'études avec le CSTB
Campagne d'essais en grandeur réelle
- 2012 : Finalisation d'un projet de cahier de prescriptions techniques
- 2013 : Participation au groupe de travail ENS de l'AFPS
En parallèle, constitution d'un groupe de travail « sismique »
en marge de la commission de révision du DTU 55.2
- 2014 : Parution des textes (?)

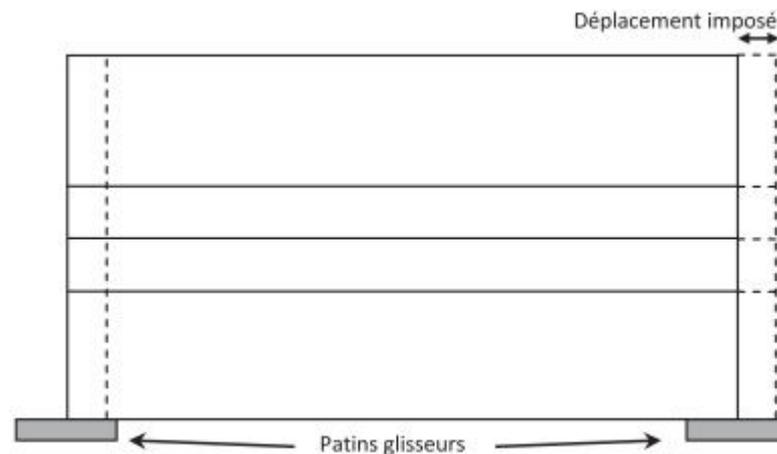
Les Pierres Attachées en zone sismique

Quels essais ?

Sollicitations **perpendiculaires**
au plan du support



Sollicitations **parallèles**
au plan du support



Les Pierres Attachées en zone sismique

Quels résultats ?



Pierres Attachées - Essais séisme - part 1.avi



Pierres Attachées - Essais séisme - part 2.avi

Les Pierres Attachées en zone sismique

Quels résultats ?

Les différents **modes de ruine** constatés :

- **Trop grande souplesse** des attaches dans le sens horizontal
 - ⇒ Echappement des ergots (dans les chants verticaux)
 - ⇒ Entreoquement des plaques entre elles
- Défaut de conception des attaches (fixées à une seule extrémité)
 - ⇒ Sous l'effet des sollicitations perpendiculaires au plan du support, **effet « rebond »** qui fragilise les liaisons aux ergots

Les Pierres Attachées en zone sismique

Les dispositions recommandées en situation sismique

- Domaine visé : **attaches métalliques, joints vides**
- Contre le risque d'échappement des ergots :
 - ⇒ Disposer les ergots dans les **chants horizontaux**
- Contre l'effet « rebond » :
 - ⇒ Conception des attaches **empêchant le décollement** du support
- Contre le risque d'entrechoquement :
 - ⇒ Prendre en compte la **déformation des attaches**
 - ⇒ Vérifier que le **joint** entre les pierres est **d'épaisseur suffisante**

Les Pierres Attachées en zone sismique

Les textes et outils à disposition

- L'annexe dédiée dans le **guide** à paraître du groupe de travail **ENS** de l'**AFPS** (fin 2014)
- Le **complément sismique au DTU 55.2**, élaboré par le groupe de travail sismique en marge de la révision de ce DTU (fin 2014)
- Logiciel d'application « **ROCVENT** » du CTMNC : calcul des charges de vent et des efforts de séisme

Les Pierres Attachées en zone sismique

Captures d'écran de « ROCVENT »

ROCVENT (calcul au vent selon NF DTU 55.2)

Fichier Edition Outils ?

Infos Pierre Ouvrage Résultats

CONFIGURATION DU REVETEMENT

Dimensions de la plus grande plaque :

Epaisseur e1 = cm Si différent pour la flexion (portée max.)

Longueur L1 = m Longueur L2 = m

Hauteur h1 = m Hauteur h2 = m

CONFIGURATION DE L'OUVRAGE

Hauteur du bâtiment et paramètres du site au vent :

Hauteur H = m Réf. du plan d'exécution :

Région de vent :

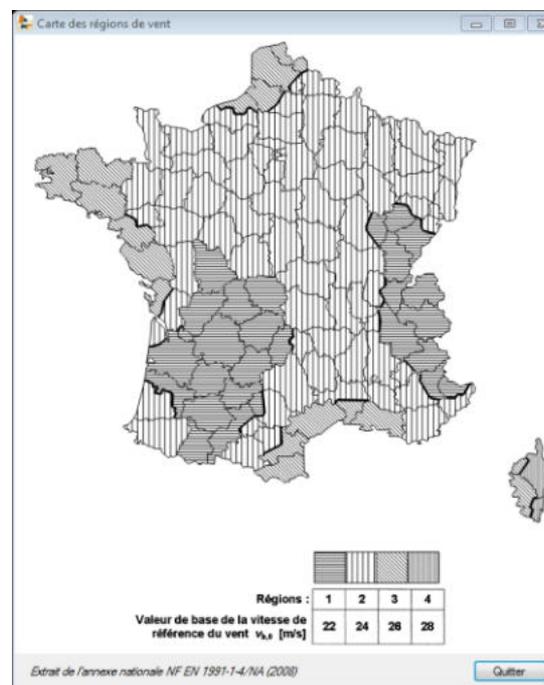
Zone de rugosité :

Afficher la carte de vent des régions de France

Afficher le détail des zones de rugosité

Quitter << Pierre Résultats >>

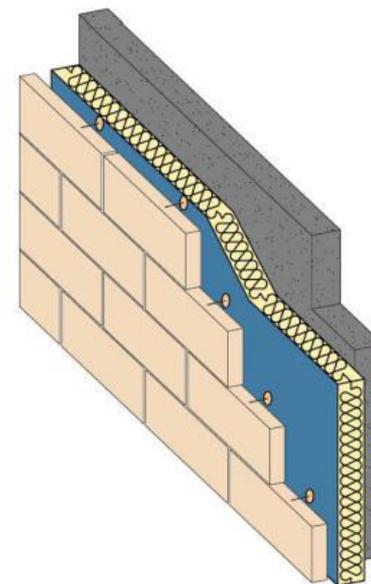
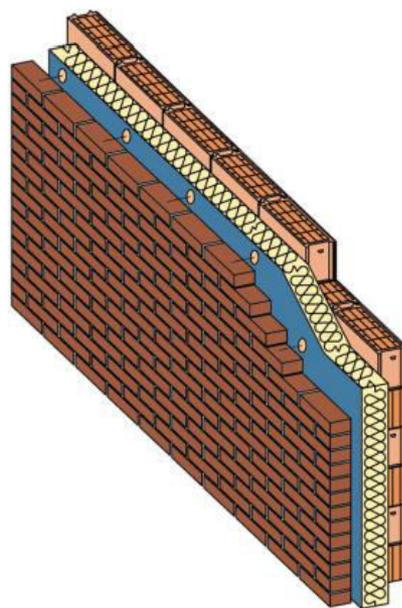
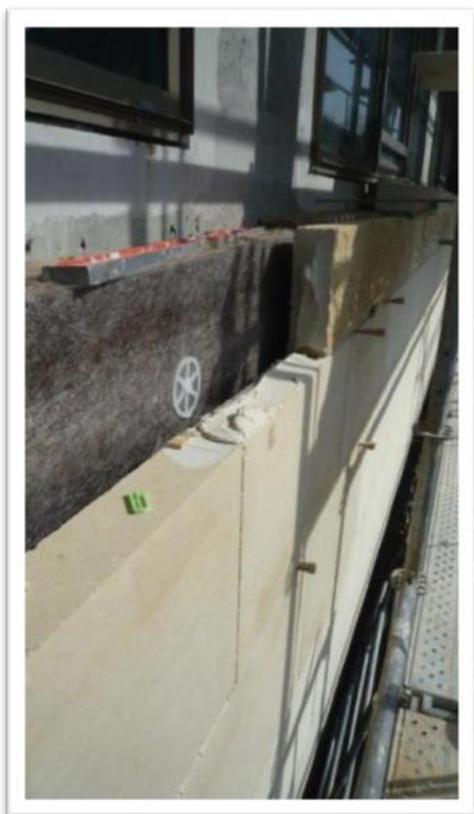
CTMNC - <http://www.ctmnc.fr>



⇒ A télécharger sur le **site du CTMNC** dès la parution du DTU 55.2 révisé

Les murs doubles en pierre naturelle

Description du procédé



⇒ Technique traditionnelle (DTU Maçonnerie)

Les murs doubles en pierre naturelle

Le document RAGE 2012 sur les murs doubles

- Recommandations professionnelles en complément du DTU 20.1
- Intègre des **détails de mise en œuvre, le traitement des points singuliers**, en complément de celles déjà présentes dans le DTU Maçonnerie
- Essais de comportement au CSTB pour la rédaction de **dispositions constructives compatibles avec la réglementation sismique**



PROGRAMME D'ACCOMPAGNEMENT DES PROFESSIONNELS
« Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 »

www.reglesdelart-grenelle-environnement-2012.fr



Les murs doubles en pierre naturelle

La démarche...

- 2012 : 1^{ère} phase – campagne d'essais au CSTB sur des murs doubles en briques de terre cuite
- 2013 : 2^{ème} phase – compléments sur des murs double en éléments de pierre naturelle
- 2014 : Parution des recommandations professionnelles intégrant les conclusions des essais

Les murs doubles en pierre naturelle

Quels résultats ?

1^{er} essai avec des attaches « traditionnelles » :



Les murs doubles en pierre naturelle

Quels résultats ?

2^{ème} essai avec des attaches munies d'ergot :



Les murs doubles en pierre naturelle

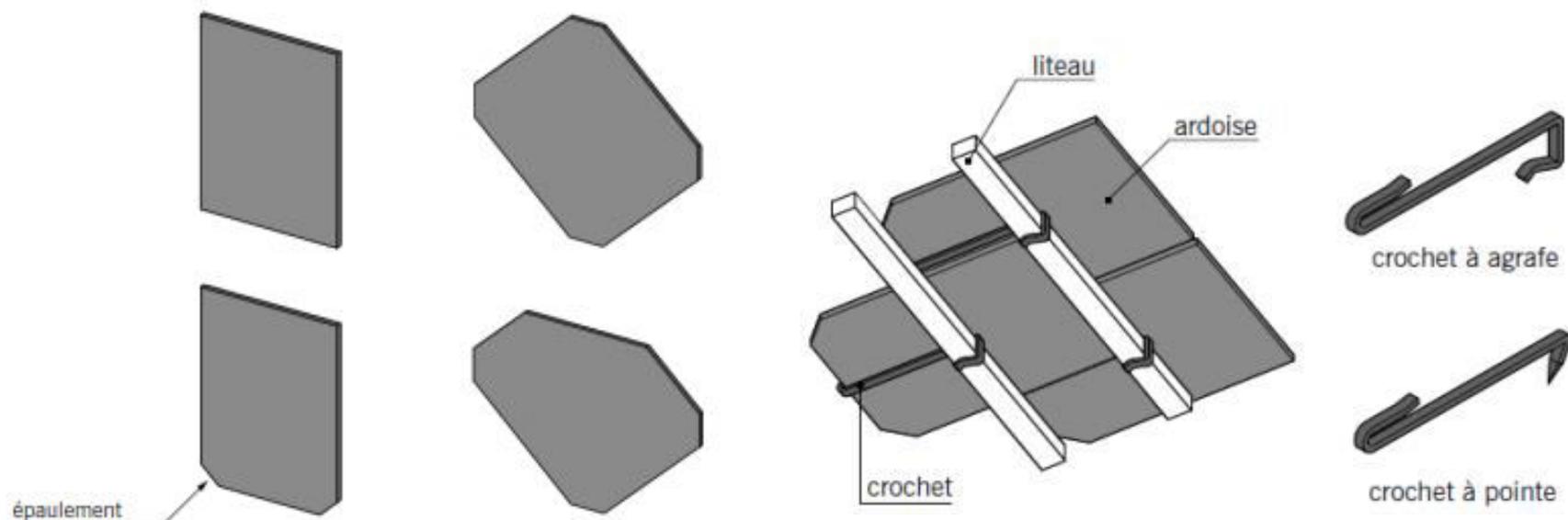
Les dispositions recommandées en zone sismique

- ⇒ Vide d'air jusqu'à 20 cm
- ⇒ Fractionnement à chaque étage
- ⇒ Éléments en pierre naturelle : système de fixation avec ergots
- ⇒ Attaches réparties de façon homogène sur la surface du mur

Les couvertures (ardoises)

Description du procédé

Voir DTU 40.11 sur les couvertures en ardoises



Les couvertures (ardoises)

Les dispositions recommandées en zone sismique

- Tenue au séisme validée par des essais sur table vibrante (3D) dans le cadre du projet SISBAT (FCBA)



Les couvertures (ardoises)

- Le CTMNC a calculé que, pour les petits éléments de couverture ($< 80 \text{ kg/m}^2$), l'action du vent est supérieure à l'action sismique
 - ⇒ **En zone 2 ou 3**, pas de dispositions particulières
 - ⇒ **En zone 4**, il faut suivre les prescriptions des DTUs pour les couvertures en **situations exposées**.

Conclusions

Références à connaître pour la tenue des ENS en situation sismique :

- « Dimensionnement parasismique des éléments non structuraux du cadre bâti », guide de la DHUP (bientôt réglementaire ?)
- « Comportement des éléments non structuraux sous séisme », guide de l'AFPS
- Complément sismique au DTU 55.2 pour la pose des pierres attachées en zone sismique
- Recommandations RAGE 2012 sur les murs doubles

C'est terminé...

Merci de votre attention !





ROCAMAT Retours d'expérience

Jean-Louis Marpillat



Sommaire

- **Le groupe ROCAMAT**
- **La pierre attachée**
- **Les solutions pierres attachées en zones sismiques**
- **Essais sismiques produits**
- **Autres solutions**





Le Groupe ROCAMAT

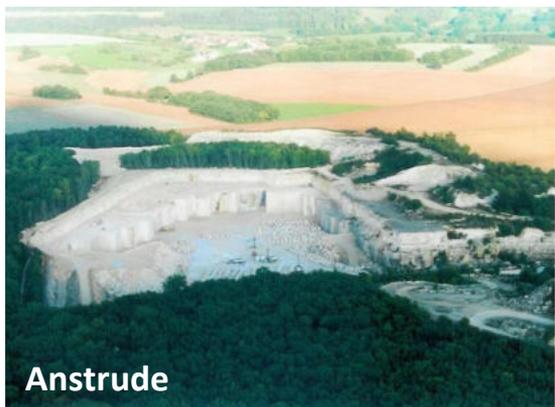
- **Le groupe ROCAMAT, fondé en 1853, est spécialisé dans l'extraction et la transformation des matériaux naturels.**
 - **ROCAMAT PIERRE NATURELLE**
 - ✓ 30 carrières de calcaire en France
 - ✓ 5 usines de transformation
 - ✓ 350 personnes
 - ✓ 43 M€ de chiffre d'affaires en 2013
- **Rocamat est coté au marché Euronext Paris tableau C**





ROCAMAT Pierre Naturelle

Nos Principales Carrières en France



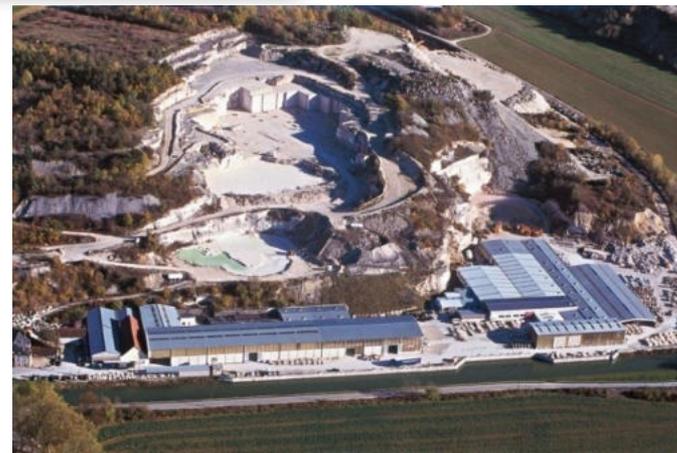


ROCAMAT Pierre Naturelle

Nos Usines en France



Site industriel de Saint Maximin (60)



Site industriel de Ravières (89)



Site industriel de Corgoloin (21)



Site industriel de Chauvigny (86)



Site industriel de Vilhonneur (16)





La pierre attachée

Le marché de la pierre attachée

- Revêtement de façade en pierre attachée selon DTU 55.2
 - Pierres calcaires ou granits (résistance attaches > 500 N en 3 ou 4 cm)
 - Éléments maxi 1 m², généralement de 3 à 4 cm d'épaisseur.
- Cible: logements collectifs , tertiaire public, tertiaire privé
 - Un marché de 14 Mm² en neuf dont 4 Mm² avec ITE (*)
 - **Sismique : Bâtiment de type II et III essentiellement**
- Estimation du marché français 500 000 m² par an
- Part Rocamat 100 000 m²
 - 60% en fourniture et pose
- Répartition sismique des ventes Rocamat
 - **40% en zone 1**
 - **30% en zone 2**
 - **30% en zone 3**
 - **Sismique : 40% de notre marché potentiellement hors DTU**





Les solutions pierres attachées en zones sismiques

Ce que nous réalisons en France

- **Des chantiers sous ATEX ou Avis de chantier**
 - Pattes avec bracon type IFS, en joints horizontaux
- **Des chantiers avec des procédés sous Avis Techniques**
 - La pierre fixée sur ossature
 - La pierre collée sur panneaux nid d'abeille
- **Développement de solutions ROCAMAT en cours de validation sismique**
 - **ROCACLIP**
 - Vêture isolante **VET3**





Les solutions pierres attachées en zones sismiques

Pattes avec bracon



architecte : G. Gouin

photo : ARCHIGUIDE
Guide architecture

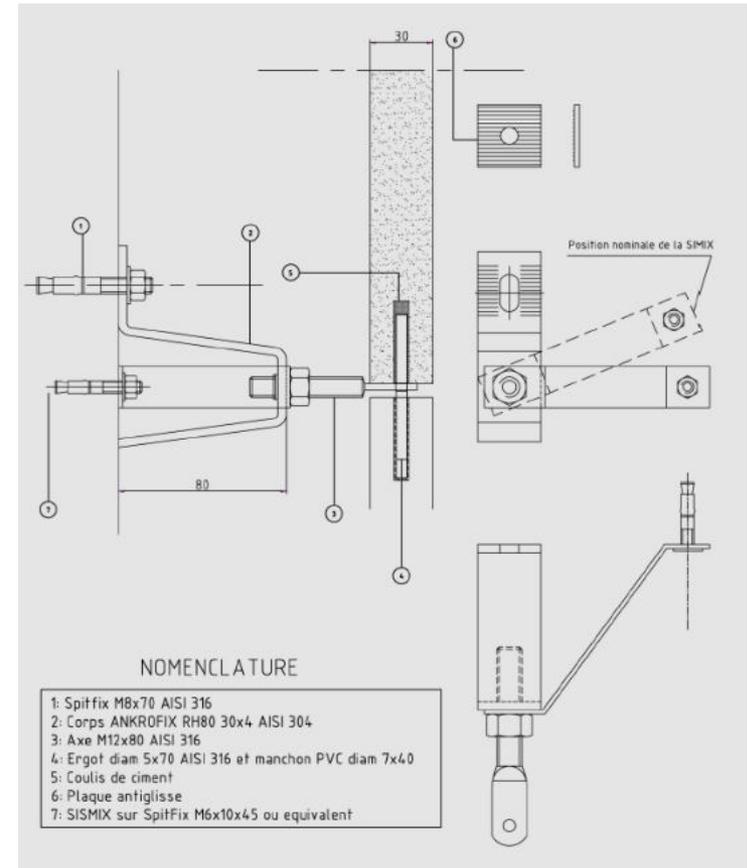
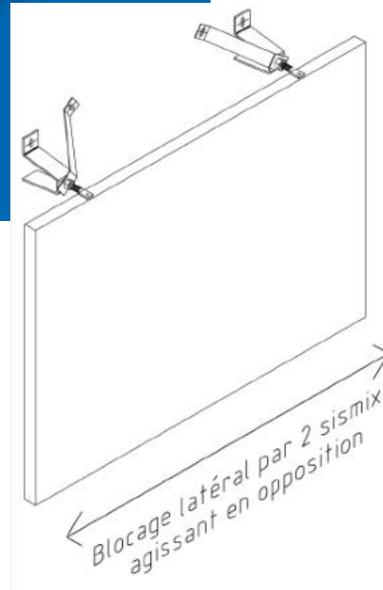
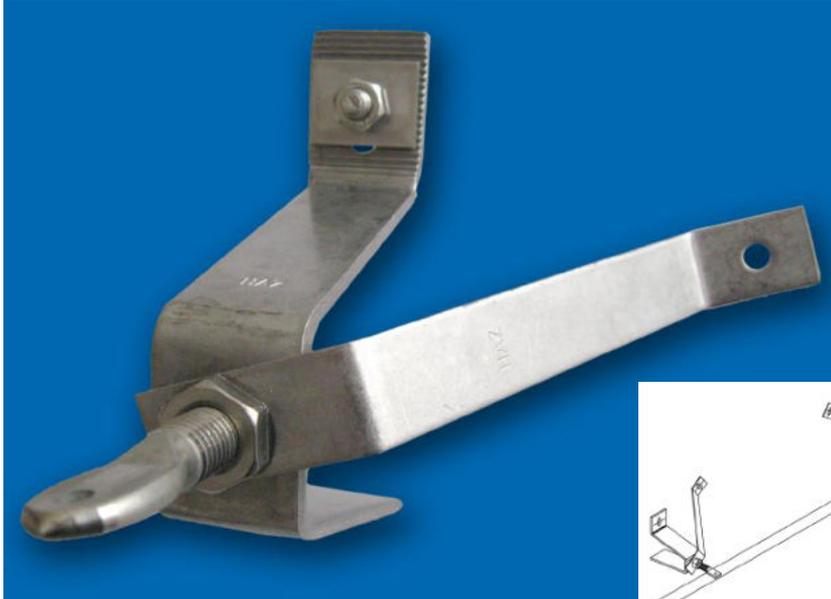
- Banque de France Avignon (zone 3)
- Réalisation 2008/2009
- Avis de chantier pattes bracon IFS
- 1350 m² Pierre de Lens
- 100 mm d'isolant





Les solutions pierres attachées en zones sismiques

Pattes avec bracon IFS





Les solutions pierres attachées en zones sismiques

Pattes avec bracon



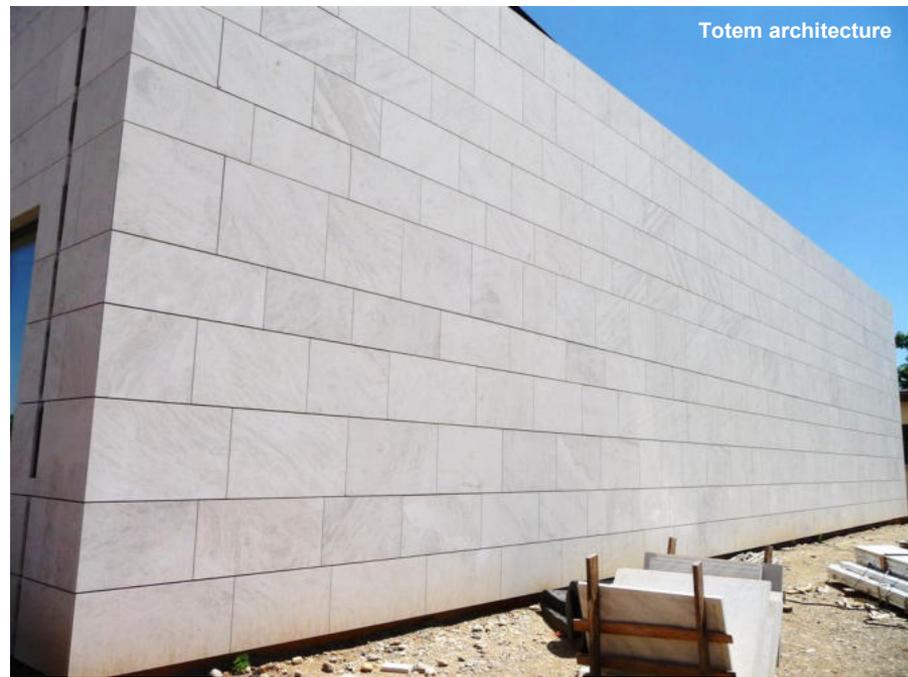
- Immeuble à Thonon les Bains (zone 4)
- Avis de chantier pattes bracon IFS
- 500 m² de pierre d'Anstrude en 3 cm d'épaisseur
- 16 cm d'isolant
- Réalisation 2013/2014





Les solutions pierres attachées en zones sismiques

Pose sur ossature



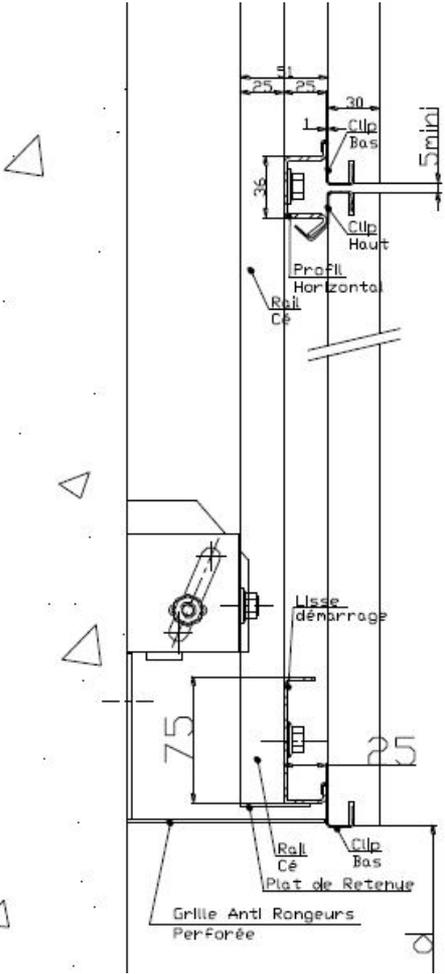
- Groupe scolaire Brenier Saint Priest (69) (zone 3)
- Procédé Vclip Labelfaçade sous Avis Technique
- 1600 m² de pierre de CHARMOT en 3 cm d'épaisseur
- 200 mm d'isolant
- en cours de réalisation.





Les solutions pierres attachées en zones sismiques

Pose sur ossature : pierre clipsée sur rail



d=50mm pour
d=150mm pour

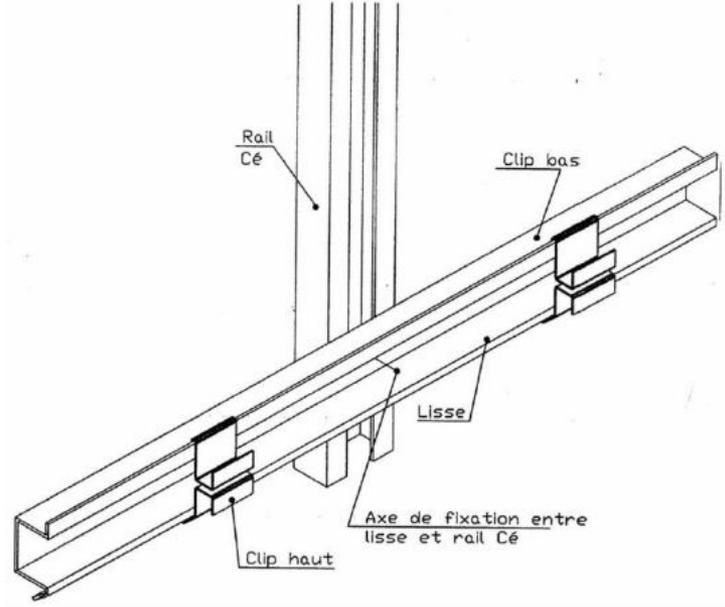


Figure 1 - Vue en 3 dimensions du système des clips ABL





Les solutions pierres attachées en zones sismiques

Pose sur ossature



SARL d'Architecture B B P

- EHPAD Adelaïde Perrin Vénissieux (zone3)
- Avis de chantier système ROCACLIP
- 320 m² de revêtement sur rails
- 22 cm d'isolant
- Réalisation 2014





Essais sismiques

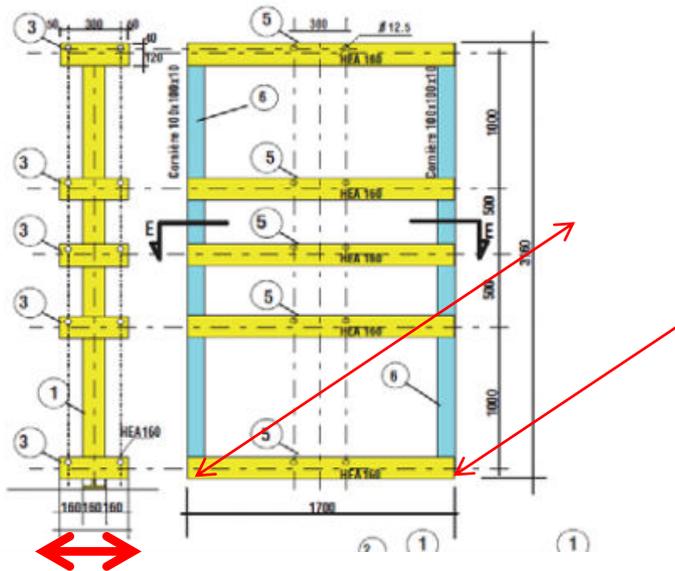
Les essais réalisés par ROCAMAT

- Vêture isolante (VET2) en 2007 au CSTB
- Pierre sur Nid d'abeille (ROCASTONE) en 2007 au CSTB
- Pierre clipsée sur ossature (ROACLIP) en cours au CSTB
- Essais patte bracon IFS dans le cadre d'une ATEx en 2012 à SOPEMEA





Excitation perpendiculairement au support



- Un essai en 8 phases (balayage conventionnel)
- 3 séquences de 20 cycles par phase
- Les séquences sont en ordre croissant de fréquence et d'amplitude

	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4	Phase 5	Phase 6	Phase 7	Phase 8
	Accélération a_i en m/s^2							
f en Hz	3,5	5	6,4	8	9,3	11,2	14	16,5
1								
2	22,2 20 cycles	31,7 20 cycles	40,5 20 cycles	50,7 20 cycles				
3					26,2 20 cycles	31,5 20 cycles	39,4 20 cycles	46,4 20 cycles
4								
5	3,5 20 cycles	5,1 20 cycles	6,5 20 cycles					
6				5,6 20 cycles				
7					4,8 20 cycles	5,8 20 cycles		
8	1,4 20 cycles						5,5 20 cycles	6,5 20 cycles
9		1,6 20 cycles						
10			1,6 20 cycles					
11				1,7 20 cycles				
12					1,6 20 cycles			
13						1,7 20 cycles		
14							1,8 20 cycles	
15								1,9 20 cycles





Essais CSTB

Essais de mise en parallélogramme



- Essai en 6 phases
- 1 essai statique par phase
- 1 essai dynamique de 20 cycles par phase

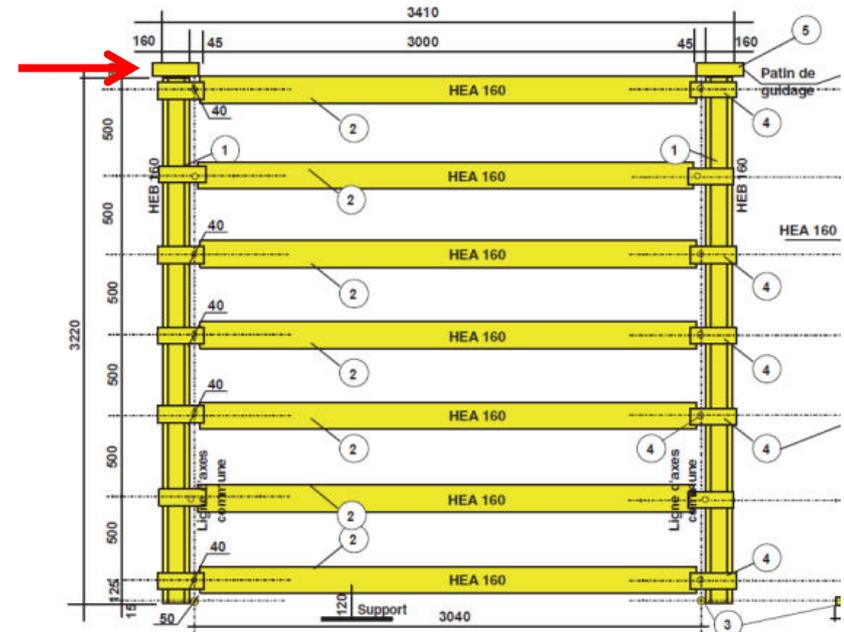


Figure 16 - Schéma du dispositif pour les essais de mise en parallélogramme

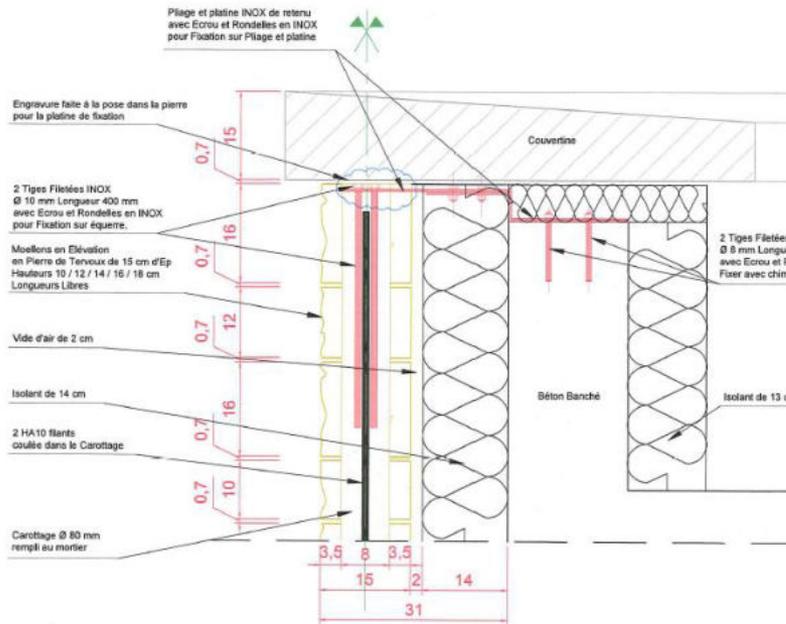
Phase	1	2	3	4	5	6
Déplacement statique	± 10 mm 1 cycle f = 0,02 Hz	± 20 mm 1 cycle f = 0,02 Hz	± 30 mm 1 cycle f = 0,02 Hz	± 40 mm 1 cycle f = 0,02 Hz	± 50 mm 1 cycle f = 0,02 Hz	± 60 mm 1 cycle f = 0,02 Hz
Déplacement dynamique	± 10 mm 20 cycles 0,2 Hz ≤ f ≤ 1 Hz	± 20 mm 20 cycles 0,2 Hz ≤ f ≤ 1 Hz	± 30 mm 20 cycles 0,2 Hz ≤ f ≤ 1 Hz	± 40 mm 20 cycles 0,2 Hz ≤ f ≤ 1 Hz	± 50 mm 20 cycles 0,2 Hz ≤ f ≤ 1 Hz	± 60 mm 20 cycles 0,2 Hz ≤ f ≤ 1 Hz
Déplacement statique	± 10 mm 1 cycle f = 0,02 Hz	± 20 mm 1 cycle f = 0,02 Hz	± 30 mm 1 cycle f = 0,02 Hz	± 40 mm 1 cycle f = 0,02 Hz	± 50 mm 1 cycle f = 0,02 Hz	± 60 mm 1 cycle f = 0,02 Hz

Mesures des efforts lorsque le support est mis en parallélogramme pendant les 6 phases



Autres solutions en zones sismiques

Mur double en pierre naturelle (DTU 20.1)



- Pole petite enfance Niort (zone 3)
- Avis de chantier
- Mur double 15 cm + chaînage + 5 attaches /m², 14 cm d'isolant
- 450 m² de moellons en pierre de Tervoux





Autres solutions en zones sismiques

Panneaux préfabriqués sur structure métallique



