

BÉTON & CONFORT



Syndicat National
du Béton Prêt à l'Emploi

CIMbéton

CENTRE D'INFORMATION SUR
LE CIMENT ET SES APPLICATIONS





Conception parasismique des immeubles d'habitation collective en béton armé

Avant-propos

● La France a connu des séismes majeurs dans le passé. Actuellement, les séismes forts n'y sont pas aussi fréquents qu'en Grèce, en Turquie, en Indonésie ou au Japon, mais la possibilité qu'un séisme destructeur s'y reproduise et engendre des victimes et des dégâts importants est avérée. Un séisme du même type que celui qui s'est produit à Lambesc près de Salon-de-Provence le 11 juin 1909, qui avait une magnitude comparable à celui de L'Aquila survenu en Italie le 6 avril 2009, pourrait causer de 400 à 1 000 morts et 700 millions d'euros de coûts économiques directs. La date anniversaire du centenaire de ce séisme a d'ailleurs donné lieu, en juin et juillet 2009, à une commémoration nationale, destinée à rappeler que la menace n'a pas disparu. Là où la terre a tremblé, elle tremblera à nouveau.

La vulnérabilité aux séismes des sociétés augmente avec leur développement et l'accroissement du nombre de personnes, de biens et d'activités exposés. Or il est possible d'engager des actions efficaces à titre préventif. Les connaissances sur le risque sont suffisantes pour prendre des mesures efficaces. À ce titre, le gouvernement a lancé en 2005 un programme national de prévention du risque sismique étalé sur 6 ans, piloté par le ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire (MEEDDAT). Son objectif est de réduire le risque sismique, c'est-à-dire de préserver les vies humaines et de limiter les pertes en cas de séisme majeur.

Ce programme de prévention porte sur quatre domaines, appelés « chantiers » :

- Chantier 1 : approfondir les connaissances scientifiques sur les séismes ainsi que sur les risques qu'ils représentent, et améliorer l'information des professionnels et du public.
- Chantier 2 : améliorer la prise en compte du risque sismique dans la construction.
- Chantier 3 : concerter, coopérer et communiquer entre tous les acteurs du risque.
- Chantier 4 : contribuer à la prévention du risque de tsunami.

Le moyen le plus efficace de se protéger des effets d'un séisme majeur est la construction parasismique car, dans la plupart des cas, ce sont les constructions qui tuent en s'effondrant sur les occupants. Depuis 1969, la France dispose d'un zonage sismique et de règles de construction parasismique, révisés depuis, suivant ainsi l'évolution de l'expérience et des connaissances scientifiques. Dernièrement, dans le cadre de la concertation européenne, un nouveau zonage sismique français et de nouvelles règles de construction parasismique (Eurocode 8), ont été élaborés. Le présent livret est basé sur ces textes. Il présente et explique les mesures à prendre. Il devrait également permettre d'adopter une démarche rationnelle adéquate dans des situations qui n'ont pas été traitées. En effet, une application « aveugle » de textes réglementaires conduit parfois à des mesures inadaptées, pouvant être une source de dommages sismiques.

Sommaire

● 1 - Sismicité de la France	7
-------------------------------------	----------

● 2 - Qu'est-ce qu'un séisme ?	11
2.1 - Genèse des séismes	12
2.1 - Magnitude	13
2.3 - Intensité macrosismique	14
2.4 - Effets de site	14
2.5 - Effets induits	17

● 3 - Comportement dynamique des constructions exposées à un séisme	19
3.1 - Oscillations horizontales	20
3.2 - Oscillations verticales	21
3.3 - Oscillations de torsion	22

● 4 - Réglementation parasismique	23
--	-----------

● 5 - Conception d'ensemble (parti architectural)	27
5.1 - Incidence de l'architecture sur le comportement des bâtiments exposés aux séismes	28
5.2 - Oscillations asynchrones des différentes parties du bâtiment	29
5.3 - Effet de « niveau souple »	34
5.4 - Effet de « poteau court »	36
5.5 - Porte-à-faux	38

● 6 - Conception de la structure (parti constructif)	41
6.1 - Structure principale et structure secondaire	42
6.2 - Choix de la structure pour un immeuble d'habitation collective situé en zone sismique	42
6.2.1. Systèmes porteurs à murs en béton ou béton armé	42
6.2.2. Ossatures en poteaux et poutres de béton armé	43
6.2.3 - Structures mixtes en portiques et voiles	44
6.3 - Conception des ossatures contreventées	46
6.3.1 - Principe du contreventement	46
6.3.2 - Conception des éléments verticaux de contreventement	47
6.4 - Conception des structures en portiques bidirectionnels	52
6.5 - Conception des systèmes à murs porteurs	59

● 7 - Dispositions constructives	61
7.1 - Objectif des dispositions constructives parasismiques	62
7.2 - Ossatures en portiques coulés en place	63
7.3 - Voiles coulés en place	69
7.4 - Planchers	73

● 8 - Conclusions	75
--------------------------	-----------

● 9 - Glossaire	79
------------------------	-----------

● 10 - Annexe	85
Répartition des communes en zones de sismicité (décret n° 2010-1255 du 22 octobre 2010)	86



Chapitre

1

Sismicité de la France



Chapitre

2

Qu'est-ce qu'un séisme ?

2.1 - Genèse des séismes

Un séisme, terme synonyme de « tremblement de terre », est une secousse plus ou moins violente du sol, due le plus souvent à la rupture d'une faille, activée par les lents mouvements tectoniques qui animent en permanence la croûte terrestre. Cette rupture émet des ondes qui, en se propageant, engendrent des secousses à composantes horizontale et verticale. L'intensité des secousses verticales est en général plus faible que celle des secousses horizontales, mais ce n'est pas toujours le cas. Les vibrations verticales sont importantes près de l'épicentre du séisme, qui est le point de la surface terrestre à la verticale du « foyer », où la rupture de faille a été déclenchée (fig. 2).

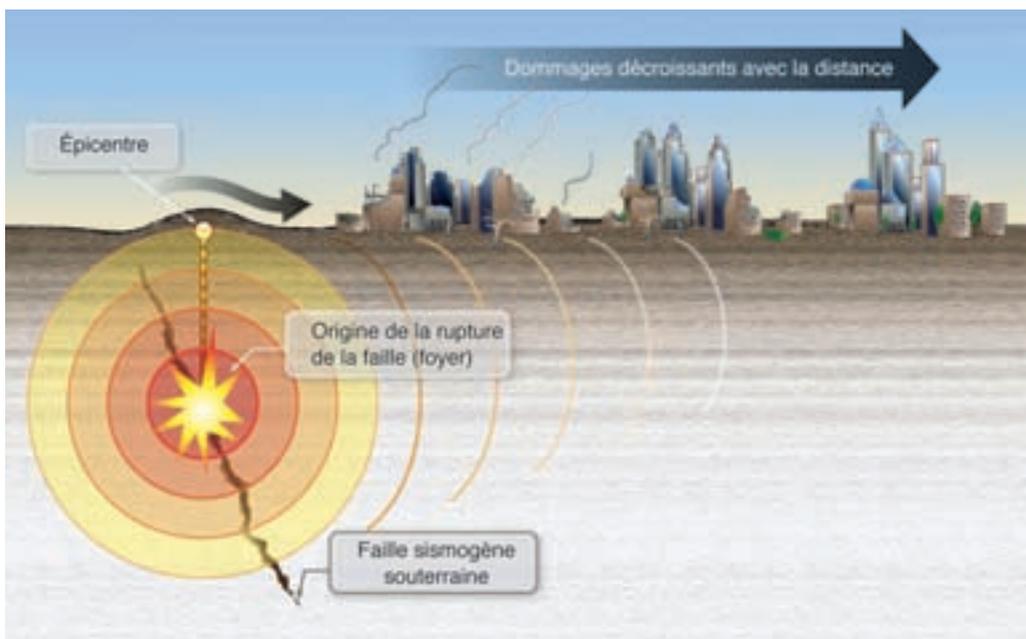


Fig. 2 - Épicentre et foyer d'un séisme. L'importance des dommages diminue avec la distance à l'épicentre

La rupture d'une faille est périodique (à des endroits différents) ; on parle donc de la période de retour des séismes. Celle-ci est évaluée statistiquement. Plus elle est longue, plus violent est le séisme. Les règles parasismiques visent la protection

contre les effets des séismes dont la période de retour est de 475 ans. Les bâtiments strictement conformes à ces règles seraient donc sous-dimensionnés en cas de survenance d'un séisme à période de retour plus longue, qui est plus fort. D'où l'importance de leur architecture, grâce à laquelle, lorsqu'elle est judicieuse, une construction peut posséder une réserve de résistance. En effet, l'architecture peut conférer à la construction un comportement dynamique favorable.

La force des séismes est couramment mesurée par leur magnitude (nombre sans unité de mesure) et par leur intensité macrosismique.

2.1 - Magnitude

La magnitude, appelée dans les médias "degré sur l'échelle de Richter", est une grandeur calculée à partir de mesures (et non déterminée par une échelle comportant des degrés), qui caractérise la puissance des séismes à leur foyer, indépendamment des dommages aux constructions qu'ils peuvent entraîner. Pour une même magnitude, ces dommages diminuent avec la profondeur du foyer (les séismes superficiels sont les plus meurtriers) et avec la distance des constructions à l'épicentre du tremblement de terre. Les magnitudes les plus grandes connues ont dépassé 9. Lorsque la magnitude s'élève de 1, la puissance du séisme est multipliée par 32 environ et elle double chaque fois que la magnitude croît de 0,2. La fig. 3 montre quelques magnitudes de séismes enregistrées dans le monde.

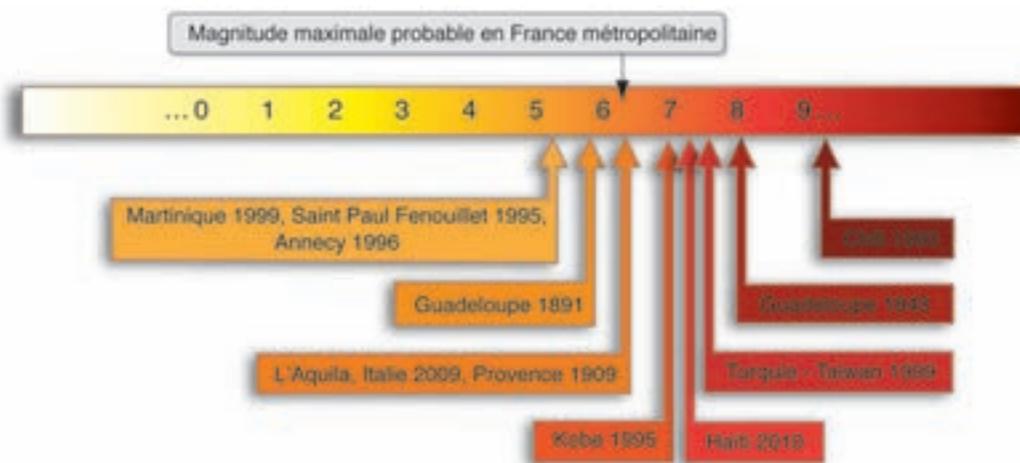


Fig. 3 - Exemples de magnitude de séismes

2.3 - Intensité macrosismique

L'intensité macrosismique caractérise l'importance des effets sismiques sur l'homme, les ouvrages et les sites naturels, indépendamment de la puissance du séisme (de sa magnitude). Ces effets sont évalués selon une échelle conventionnelle comportant 12 degrés, indiqués par des chiffres romains (fig. 4). En Europe, on utilise l'échelle EMS (European Macroseismic Scale). L'intensité épiscopale du dernier séisme meurtrier en France (Lambesc près d'Aix-en-Provence, 1909) était de VIII/IX. Sa magnitude, non mesurée à l'époque, est évaluée à 6,2. On considère que les charges sismiques sur les constructions sont multipliées par 2 lorsque l'intensité macrosismique augmente de 1 degré. Il n'y a pas de corrélation générale entre la magnitude et l'intensité macrosismique. En effet, un séisme de magnitude moyenne peut avoir une intensité élevée si son foyer est peu profond et situé dans une zone où le bâti est ancien et vulnérable. A contrario, un séisme de forte magnitude mais profond ou déclenché sous la mer peut n'entraîner que des dégâts nuls ou négligeables, comme cela a été souvent le cas au Japon. Cependant, une corrélation locale peut être établie.

Les dommages sismiques, donc aussi l'intensité macrosismique, diminuent avec la distance des constructions à l'épicentre (fig. 2), mais ils peuvent être localement aggravés par des effets de site ou par des effets induits par les séismes, comme la liquéfaction du sol (cas des sables lâches saturés d'eau), un glissement de terrain ou un éboulement.

2.4 - Effets de site

Certaines caractéristiques de site peuvent considérablement amplifier les oscillations du sol. Les bâtiments qui y sont implantés peuvent parfois subir des charges sismiques jusqu'à cinq fois plus élevées que les constructions similaires situées dans une zone moins dangereuse. Les destructions y sont donc fréquentes. L'amplification se produit essentiellement :

- sur les reliefs et en haut d'une brisure de pente (effet topographique, fig. 5) ;
- à la frontière entre des sols rocheux et des sols mous (piégeage d'ondes, fig. 6) ;
- dans les sols mous de forte épaisseur (effet lithologique, fig. 7) ;

Intensité	Constructions armées et bonnes constructions en bois	Constructions en brique, bloc de béton, maçonnerie et bois - pierres appareillées	Maisons en pisé	
I	Secousses non ressenties.		Idem	Idem
II	Secousses ressenties par peu de personnes et surtout aux étages élevés.		Idem	Idem
III	Secousses ressenties par quelques personnes. Vibration des vitres et balancement d'objets.		Idem	Idem
IV	Secousses ressenties par de nombreuses personnes à l'intérieur. Craquements des planchers et des cloisons, vibrations de fenêtres, des portes et de la vaisselle.		Idem	Idem
V	Secousses ressenties par toute la population. Réveil de nombreux dormeurs. Projection de liquides. Balancement des objets suspendus.		Idem	Idem
VI	Réveil de tous les dormeurs, des personnes sortent des maisons, tintement de toutes les sonnettes. Arrêt des pendules. Oscillation des arbres. Oscillation des pendules.		Fissurations et chute de débris et de plâtras.	Fissurations des murs. Chute de tuiles et de cheminées.
VII	Fissuration et chute de débris et de plâtras.		Fissurations de murs. Chute de tuiles et de cheminées.	Brèches dans les murs, effondrements partiels. Destruction cloisons intérieures.
VIII	Lézardes profondes dans les murs, chute de cheminées.		Brèches dans les murs, effondrements partiels. Destruction des cloisons intérieures.	Effondrement total de la construction.
IX	Brèches dans les murs. Effondrements partiels, destructions de cloisons intérieures.		Effondrement total de la construction.	
X	Effondrement total de la construction.			
XI	Catastrophe générale			
XII	Modification profonde du paysage			

Fig. 4 - Échelle d'intensités macrosismiques (présentation simplifiée)

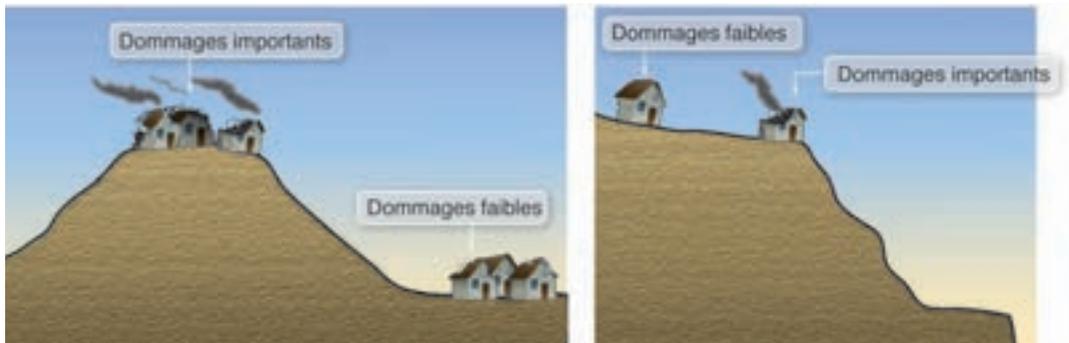


Fig. 5 - Effet de site topographique : sur les sommets, crêtes et brisures de pente, les secousses sismiques sont amplifiées ; les constructions peuvent y subir des dommages importants

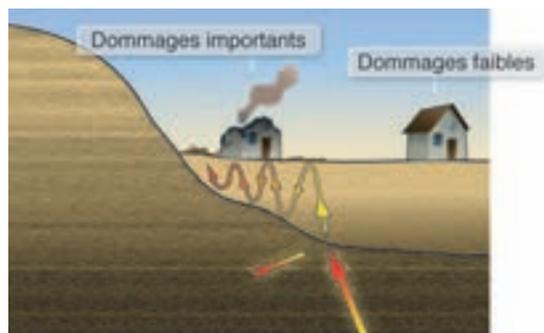


Fig. 6 - Piégeage d'ondes entre le rocher et les sols mous : l'intensité des secousses y est plus élevée et les dommages aux constructions fréquents

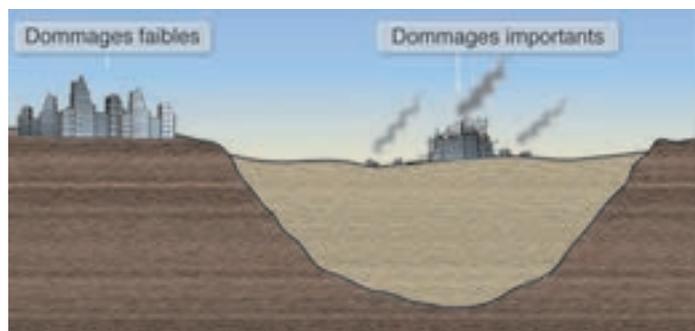


Fig. 7 - Destruction des constructions fondées sur des sols mous de forte épaisseur (plus de 15 m) : il s'y produit en général une amplification importante des amplitudes d'oscillation

2.5 - Effets induits

Les effets induits sont des grands mouvements de sols ou de l'eau déclenchés par les secousses sismiques. Ils peuvent provoquer la perte de toute construction, parasismique ou non. Il s'agit principalement des phénomènes suivants :

- liquéfaction du sol, fig. 8 ;
- glissement de terrain, fig. 9 gauche ;
- éboulement rocheux (chute de blocs), fig. 9 droite ;
- tsunami (raz-de-marée), fig. 10 ;



Fig. 8 - Affaissement et inclinaison des constructions sur un sol liquéfié : les constructions qui y sont fondées basculent ou s'enfoncent dans le sol



Fig. 9 - Sur les versants, les glissements de terrain et les éboulements rocheux déclenchés par un tremblement de terre sont assez fréquents. Ils peuvent entraîner la perte totale des ouvrages qui y sont implantés. Même un séisme de faible intensité peut provoquer un glissement de terrain ou un éboulement

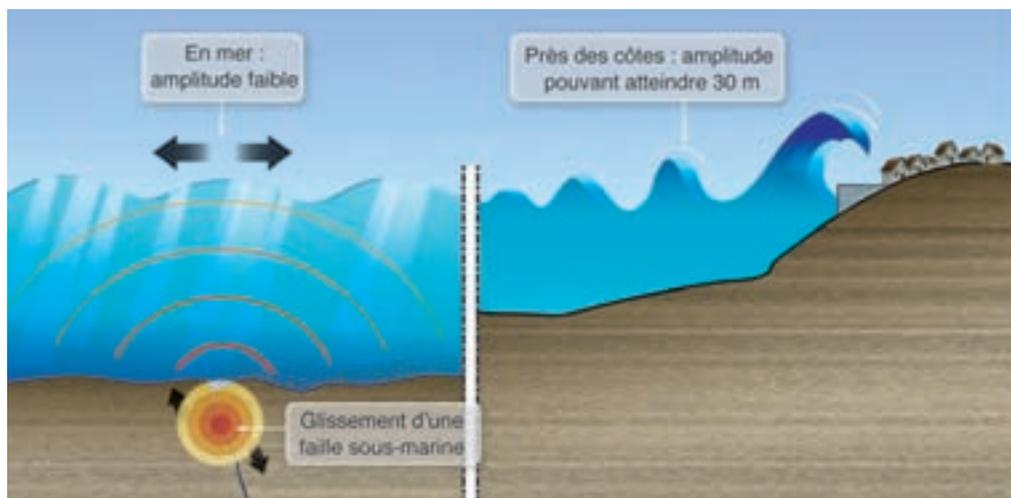


Fig. 10 - Les séismes déclenchés sous la mer peuvent engendrer des raz-de-marée, connus sous le nom japonais de tsunami. Les tsunamis traversent les mers et les océans à la vitesse d'un avion et ravagent les côtes



Chapitre

3

Comportement dynamique des constructions exposées à un séisme

Lors des tremblements de terre, les constructions subissent des oscillations horizontales, verticales, et de torsion. Ces oscillations sont provoquées par des mouvements du sol d'assise, qui imposent donc aux ouvrages des déformations, et non des forces extérieures.

Pour les besoins du calcul, des forces d'inertie (charges sismiques) sont associées aux déformations imposées (fig. 11). Aux déformations d'ensemble du bâtiment peuvent s'ajouter des déformations différentielles, résultant d'oscillations asynchrones de ses différentes parties. Leur importance dépend de la conception d'ensemble (conception architecturale), qui est exposée au chapitre 4.

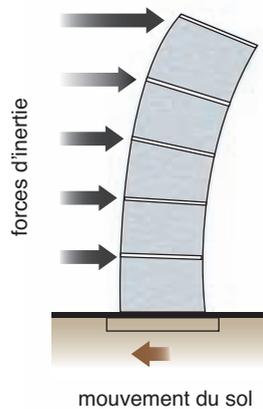


Fig. 11 - Forces d'inertie constituant des charges sismiques

3.1 - Oscillations horizontales, fig. 12

Ces oscillations sont relativement mal supportées par les constructions, plus particulièrement lorsque celles-ci entrent en résonance avec le sol. Bien que les constructions soient contreventées (ou autocontreventées) pour résister au vent, vis-à-vis des tremblements de terre, ce contreventement s'avère souvent insuffisant (le séisme est « dimensionnant »). Il doit donc être renforcé.

Dans le cas de la résonance avec le sol, les amplitudes d'oscillation de la construction sont très importantes et provoquent souvent l'effondrement de l'ouvrage. La résonance se produit lorsque les oscillations libres d'une construction ont une fréquence proche de celles du sol. Ses amplitudes d'oscillation s'accroissent alors d'une manière considérable, à l'instar d'une balançoire mise en mouvement par

des impulsions d'une fréquence précise. Les dommages dus à la résonance sont souvent très importants (fig. 13).

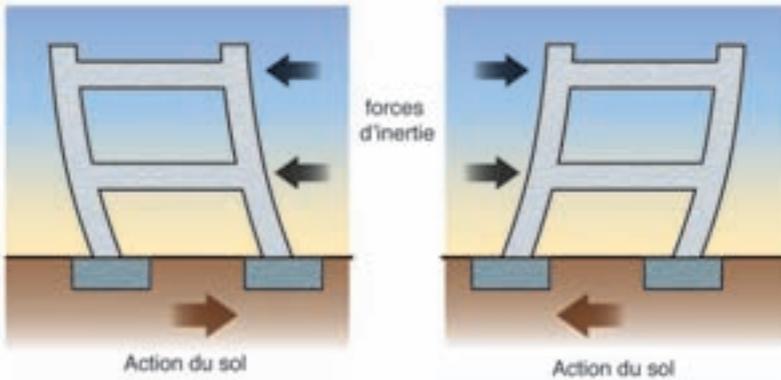


Fig. 12 - Oscillations horizontales des constructions



Fig. 13 - Dommages dus à la résonance du bâtiment avec le sol (Kobé, Japon 1995)

3.2 - Oscillations verticales, fig. 14

Ces oscillations sont bien supportées par les constructions, car elles sont conçues pour résister aux charges gravitaires, qui sont verticales. Seuls les éléments pouvant subir des déformations verticales importantes sont assez vulnérables : poutres de grande portée et balcons présentant un porte-à-faux de plus de deux mètres, plus particulièrement lorsqu'ils sont lourds (fig. 15) ou portent une jardinière à leur extrémité.

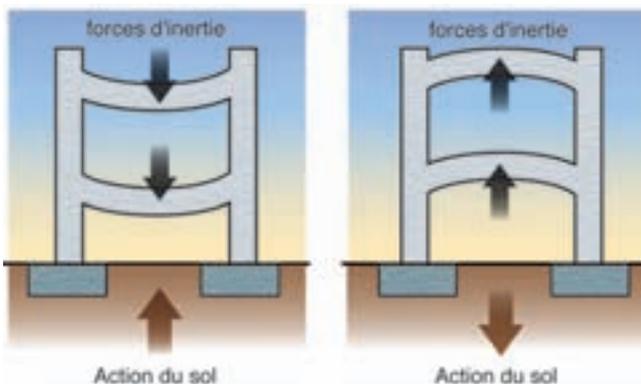


Fig. 14 - Oscillations verticales



Fig. 15 - Rupture de porte-à-faux, séisme de San Fernando, Californie 1971

3.3 - Oscillations de torsion, fig. 16

Les oscillations de torsion sont dues à la « mauvaise » conception des constructions, car le sol ne tourbillonne pas. Lors des séismes, les parties plus déformables des ouvrages vrillent autour des parties plus rigides. Ce phénomène est expliqué plus loin. Les bâtiments supportent très mal les oscillations de torsion. Il s'agit d'un des phénomènes les plus destructeurs (fig. 17).

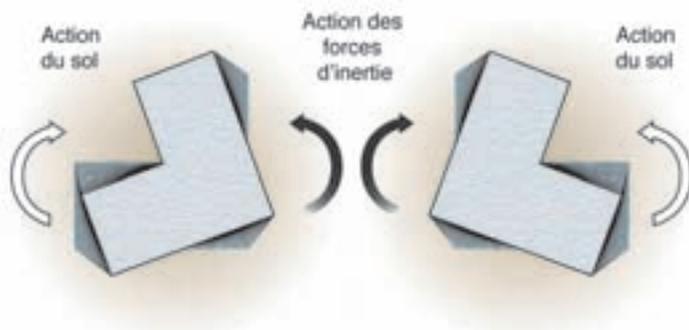


Fig. 16 - Oscillations de torsion



Fig. 17 - Effondrement dû à la torsion, El Asnam 1980



Chapitre

4

Réglementation parasismique

La plupart des pertes en vies humaines lors d'un tremblement de terre étant dues à l'effondrement des bâtiments et de divers autres ouvrages, dans de nombreuses communes françaises, il est obligatoire d'appliquer les règles (normes) parasismiques en vigueur. Le degré de protection varie selon les zones, qui sont définies par décret. L'appartenance des communes à une zone fait l'objet du décret n° 2010-1255 du 22 octobre 2010 et figure en annexe de ce livret. Le zonage mentionné dans les chapitres qui suivent, ainsi que les diverses dispositions réglementaires citées, découlent de ce décret et de son arrêté d'application (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 »).

Le zonage sismique divise le territoire national en cinq zones, de 1 à 5 par ordre croissant de sismicité (fig. 18). Toutefois, le mouvement sismique (caractérisé par l'accélération du sol) pour lequel une construction doit être dimensionnée ne dépend pas seulement de la zone de sismicité, mais aussi du type de sol et de l'importance du bâtiment pour la société. À cet effet, le décret distingue quatre catégories d'importance des bâtiments à risque normal (pour lesquels les conséquences d'un séisme demeurent circonscrites à leurs occupants et à leur voisinage immédiat).

- Catégorie d'importance I : bâtiments dont la défaillance ne présente qu'un risque minime pour les personnes ou l'activité économique (bâtiments dans lesquels est exclue toute activité humaine nécessitant un séjour de longue durée).
- Catégorie d'importance II : bâtiments dont la défaillance présente un risque dit moyen pour les personnes (bâtiments d'habitation individuelle, établissements recevant du public des 4^e et 5^e catégories, bâtiments dont la hauteur est inférieure ou égale à 28 m, bâtiments d'habitation collective, etc.).
- Catégorie d'importance III : bâtiments dont la défaillance présente un risque élevé pour les personnes et ceux présentant le même risque en raison de leur importance socio-économique (établissements recevant du public des 1^{re}, 2^e et 3^e catégories, établissements scolaires, bâtiments dont la hauteur dépasse 28 mètres, etc.).
- Catégorie d'importance IV : ceux dont le fonctionnement est primordial pour la sécurité civile, pour la défense ou pour le maintien de l'ordre public (bâtiments abritant les moyens de secours, bâtiments contribuant au maintien des communications, bâtiments de production ou de stockage d'eau potable, etc.).

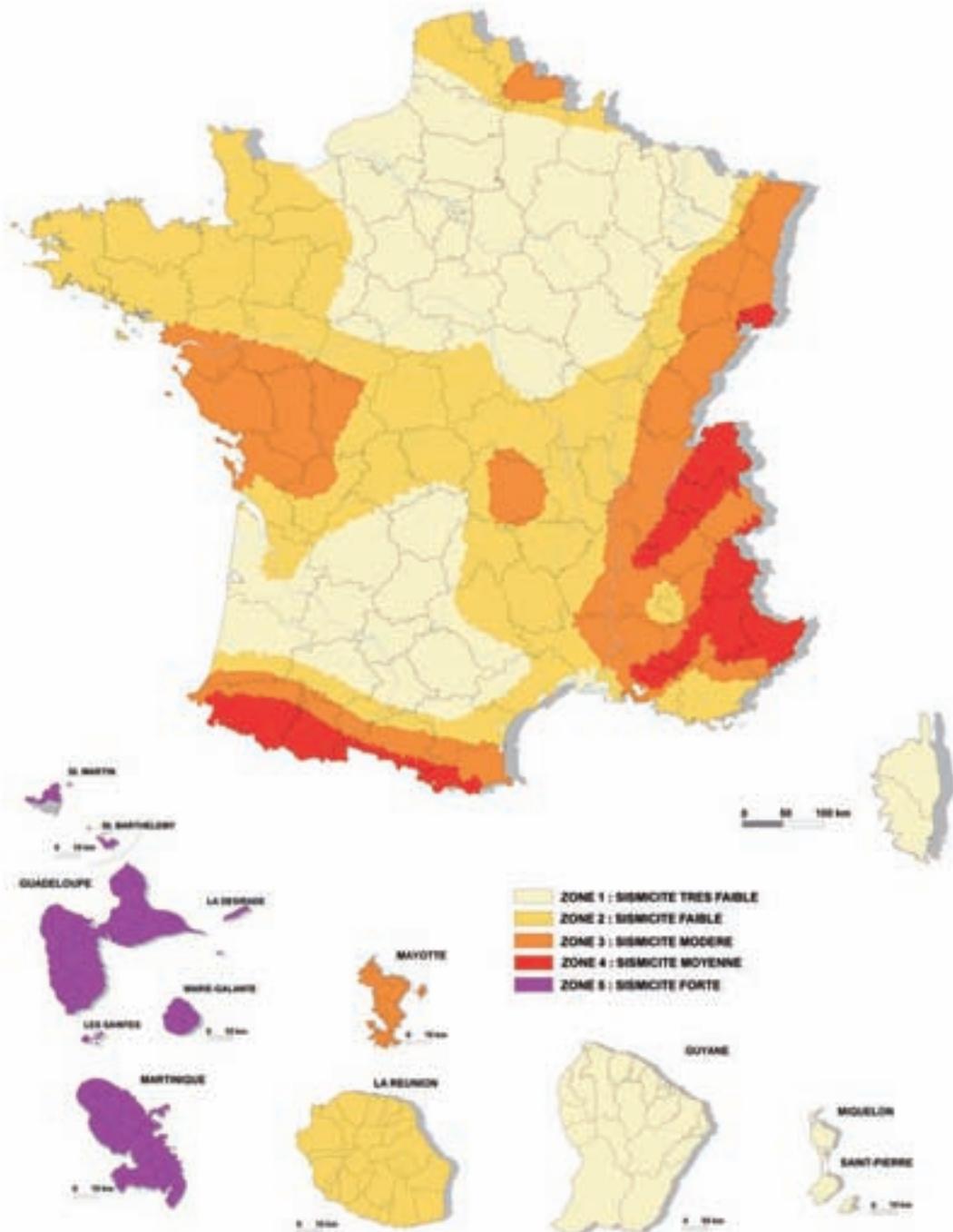


Fig. 18 - Nouveau zonage sismique de la France

Hormis les tours d'une hauteur supérieure à 28 m, les bâtiments d'habitation collective sont donc classés en catégorie d'importance II.

Seules les constructions à risque normal situées en zone 1 et les bâtiments des catégories d'importance I et II en zone 2 ne sont pas assujettis à l'application des règles parasismiques. Dans les autres cas, on doit appliquer l'**Eurocode 8** (normes NF EN 1998-1, NF EN 1998-3 et NF EN 1998-5) accompagné des annexes nationales correspondantes (NF EN 1998-1/NA, NF EN 1998-3/NA et NF EN 1998-5/NA), ce qui implique un dimensionnement aux séismes et une vérification de la sécurité vis-à-vis de l'effondrement.

Mais dans certains cas, des règles simplifiées, qui dispensent de vérifier la sécurité, peuvent être appliquées. Il s'agit des règles suivantes.

- **En zone de sismicité 2**, à la place de l'Eurocode 8, les Règles PS-MI 89 révisées 92 peuvent être utilisées pour les établissements scolaires (qui appartiennent à la catégorie d'importance III) remplissant les conditions du domaine d'application des règles: limitations concernant le nombre de niveaux, la hauteur d'étage, la portée des balcons, la configuration, la capacité portante du sol, etc.
- **En zones de sismicité 3 et 4**, on peut utiliser les « Règles PS-MI 89 révisées 92 » pour les bâtiments de la catégorie d'importance II entrant dans leur domaine d'application.
- **En zone de sismicité 5**, le « Guide CP-MI Antilles », portant sur la construction parasismique des maisons individuelles aux Antilles appartenant à la catégorie II, peut être utilisé pour les maisons respectant son domaine d'application.

Le décret et l'arrêté cités entrent en vigueur en mai 2011. Cependant, à titre transitoire, les règles parasismiques PS 92 (qui précèdent l'Eurocode 8) pourront continuer à être utilisées pendant 2 ans suivant la date de publication de l'arrêté pour la plupart des bâtiments.



Chapitre

5

Conception d'ensemble (parti architectural)

5.1 - Incidence de l'architecture sur le comportement des bâtiments exposés aux séismes

La manière dont oscillent les bâtiments exposés à un séisme dépend de l'architecture du système porteur, qui est étroitement liée à la forme du bâtiment, à la disposition des éléments lourds et rigides comme les murs ou autres éléments participant au contreventement, ainsi qu'au choix du matériau de structure (maçonnerie, béton, acier, bois) dont dépend l'amortissement des mouvements oscillatoires. Le fait de placer un mur, un poteau, un escalier ou une ouverture à un endroit plutôt qu'à un autre peut modifier considérablement le comportement d'une construction soumise à un tremblement de terre.

Tous ces éléments participent de la conception architecturale et relèvent donc du parti architectural recherché, dont le choix est opéré dès l'esquisse. L'application de la norme parasismique a pour but de conférer aux ouvrages un certain niveau de protection vis-à-vis de cette action, qu'elle soit optimisée ou non par la conception. Qu'il le sache ou non, l'architecte joue donc un rôle important dans la protection parasismique des bâtiments. Il devrait revendiquer ce rôle et le faire-valoir auprès des maîtres d'ouvrage.

La protection réglementaire n'est pas totale. La norme parasismique vise « une probabilité raisonnablement faible d'effondrement ou de désordres structuraux majeurs » sous les actions sismiques de calcul qui, en plus, sont inférieures au séisme maximal plausible. L'application de la norme ne garantit donc pas l'absence de dommages graves en cas de séisme destructeur. Ainsi, des bâtiments conformes à la norme parasismique se sont effondrés (fig. 19). Cependant, lorsque les règles parasismiques sont appliquées, les dommages graves sont heureusement très rares. Par ailleurs, les maîtres d'ouvrage sont libres d'opter pour une protection supérieure à la protection réglementaire.

L'objectif principal de la réglementation parasismique est de préserver les vies humaines, mais il est possible de préserver également les constructions, même en cas de séisme majeur, et s'inscrire ainsi dans la démarche du développement durable. Pour cela, il est nécessaire de concevoir l'architecture de l'ouvrage de manière à minimiser l'impact des séismes, car elle conditionne, pour un tremblement de terre donné, l'importance des oscillations. En outre, dans le cas où l'architecture ne favorise pas la résistance de la construction aux séismes, le coût de la protection réglementaire peut être élevé. Le comportement dynamique défavorable « coûte cher ».



Fig. 19 - Effondrement d'un bâtiment d'habitation conforme aux règles parasismiques, séisme de Kobé, Japon 1995

Les paragraphes suivants attirent l'attention sur des choix d'architecture défavorables et montrent des solutions permettant d'optimiser le comportement dynamique des constructions. Bien que la simplicité et la symétrie des volumes et des éléments structuraux offrent la meilleure performance, une solution « parasismique » peut être trouvée pour toute configuration de bâtiment. La prise en compte de la résistance aux séismes ne limite donc pas la liberté créatrice.

5.2 - Oscillations asynchrones des différentes parties du bâtiment

Lorsque le plan du bâtiment est en forme de L, T ou X sans joints de dilatation ou de tassement, ou si l'ouvrage présente des étages en retrait, ses diverses parties oscillent d'une manière non synchronisée, allant parfois dans les sens contraires les unes par rapport aux autres (fig. 20). Dans les angles rentrants à la jonction des ailes ou de toute partie ayant une rigidité différente, c'est-à-dire au droit des volumes en retrait ou en saillie, les dommages sismiques sont souvent importants (fig. 21). Les constructions s'effondrent parfois.

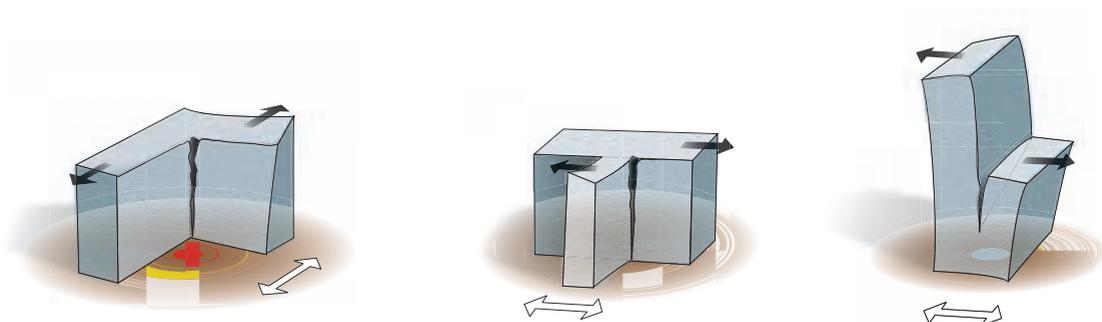


Fig. 20 - Oscillations asynchrones (différentielles) en plan et en élévation



Fig. 21 - Dommages dus à des oscillations différentielles en plan et en élévation, séisme de Kobé, Japon 1995

Quatre types de solutions, décrites ci-après, permettent de supprimer ou du moins de limiter ces phénomènes.

a) Fractionnement du bâtiment en blocs de forme rectangulaire (fig. 22). Ce fractionnement s'effectue au moyen de joints de séparation vides de tout matériau, appelés joints sismiques. La solution convient surtout dans les cas où des joints de dilatation thermique ou des joints de tassement différentiel (de rupture) sont nécessaires.

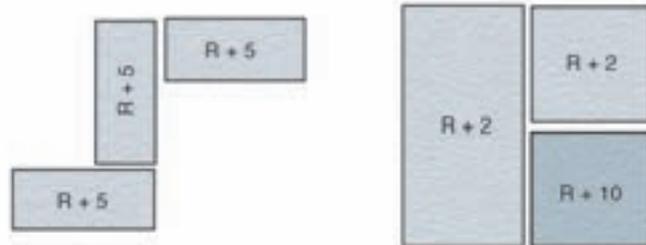


Fig. 22 - Fractionnement d'un bâtiment en blocs rectangulaires compacts

Créer des joints spécifiquement pour des raisons parasismiques est coûteux et difficilement envisageable pour les bâtiments-tours, car la largeur des joints doit être suffisante pour prévenir l'entrechoquement des blocs contigus. Cet entrechoquement peut entraîner des dommages graves allant jusqu'à l'effondrement (fig. 23). Dans le cas des immeubles de grande hauteur, la largeur minimale du joint peut atteindre plusieurs dizaines de centimètres. Lorsque les blocs contigus font partie d'une même propriété, à chaque niveau, l'Eurocode 8 exige une largeur de joint au moins égale à la somme quadratique des déplacements (racine carrée de la somme des carrés des déplacements) des planchers hauts du niveau. Si les planchers des blocs adjacents sont à la même hauteur, la largeur minimale du joint peut être réduite par un coefficient de 0,7 (fig. 24). L'Eurocode 8 ne précise pas de valeur minimum pour la largeur des joints sismiques, mais il est recommandé d'adopter comme minimales les largeurs exigées par les règles antérieures : 4 cm en zones 2 et 3, et 6 cm en zones 4 et 5.

Les joints devraient être vides de tout matériau (fig. 25). Même le polystyrène, habituellement utilisé pour les remplir, transmet les chocs (fig. 23, photo de gauche).



Fig. 23 - Dommages dus à l'entrechoquement de blocs contigus, séismes de Tokachi-Oki, Japon 1968 et de Boumerdès, Algérie 2003

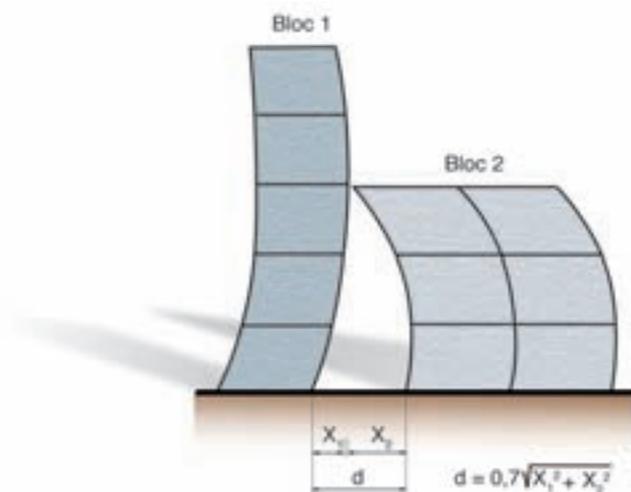


Fig. 24 - Largeur du joint sismique (Eurocode 8)



Fig. 25 - Exemple de joints sismiques vides de tout matériaux

b) Compensation de l'asymétrie de la forme du plan par une répartition symétrique de la rigidité de la structure, car *in fine*, c'est celle-ci qui assure la résistance du bâtiment aux séismes. Les zones potentiellement flexibles (de plus faible largeur ou profondeur), peuvent être raidies par des éléments de contreventement (fig. 26).



Fig. 26 - Pignons rigidifiés par des éléments de contreventement



c) Variation progressive de la largeur du bâtiment. Cette solution n'empêche pas les oscillations différentielles, mais limite considérablement leurs effets, car les angles rentrants, où se concentrent les contraintes, sont supprimés (fig. 27, 28).



Fig. 27 - Variation progressive de la rigidité horizontale des niveaux

Fig. 28 - Variation progressive de la rigidité des voiles supportant les étages en retrait



d) Isolation parasismique, qui consiste à faire porter la construction par des appareils d'appui souples, appelés aussi « isolateurs » (fig. 29, 30). Les déformations provoquées par les tremblements de terre se concentrent dans ce cas au niveau des appuis et la construction oscille comme une boîte quasi rigide, donc sans dommages structuraux.

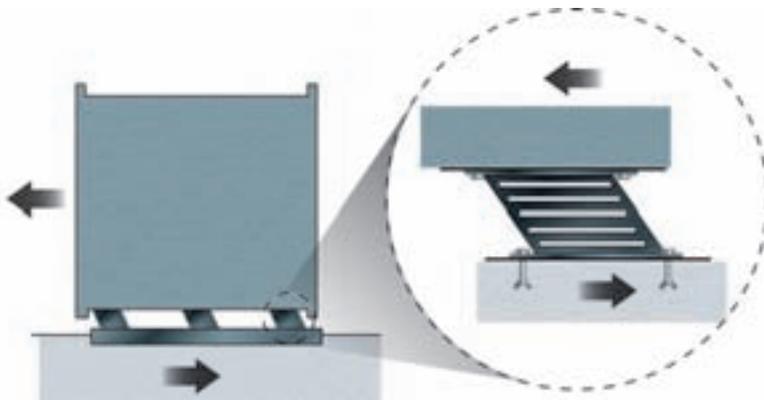


Fig. 29 - Principe d'isolation à la base d'un immeuble



Fig. 30 - Exemple d'isolateur sous un immeuble

5.3 - Effet de « niveau souple »

Les séismes imposent aux constructions des déformations (et non pas des charges externes comme le vent). Lorsqu'un niveau est significativement moins rigide que le niveau immédiatement supérieur (30 % de différence suffisent), il est appelé « niveau souple ». Les déformations de la construction provoquées par les séismes sont concentrées sur ce niveau (fig. 31). Si elles deviennent importantes, ce qui se produit lors de séismes forts ou moyens, la structure ne peut les tolérer. Une conséquence fréquente est l'écrasement du niveau (fig. 32).

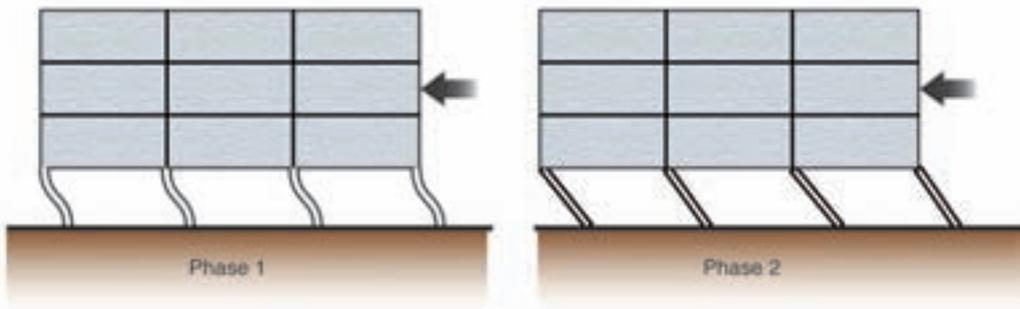


Fig. 31 - Effet de niveau souple



Fig. 32 - Dommages aux rez-de-chaussée « souples », séisme de Kobé, Japon 1995

L'effet de niveau souple se produit généralement en rez-de-chaussée d'immeubles, principalement pour deux raisons. D'une part, les rez-de-chaussée comportent souvent de vastes locaux sans cloisons, une façade vitrée ou de nombreuses ouvertures. D'autre part, leur hauteur est souvent plus grande que celle des autres niveaux. Or la rigidité latérale des éléments verticaux décroît avec le cube de leur hauteur. Lorsqu'on double la hauteur d'un poteau, à section égale, sa rigidité est divisée par 8.

Quatre types de solutions, décrites ci-après, permettent d'éviter l'effet de niveau souple tout en conservant de grands locaux et la « transparence » des façades.

a) Placer au moins deux murs en béton armé ou autre élément de contreventement dans chaque direction principale, d'une manière symétrique pour éviter la torsion d'ensemble sous charges horizontales. Ces éléments peuvent être situés en façade (solution plus efficace), ou à l'intérieur, formant un ou plusieurs noyaux rigides (fig. 33).

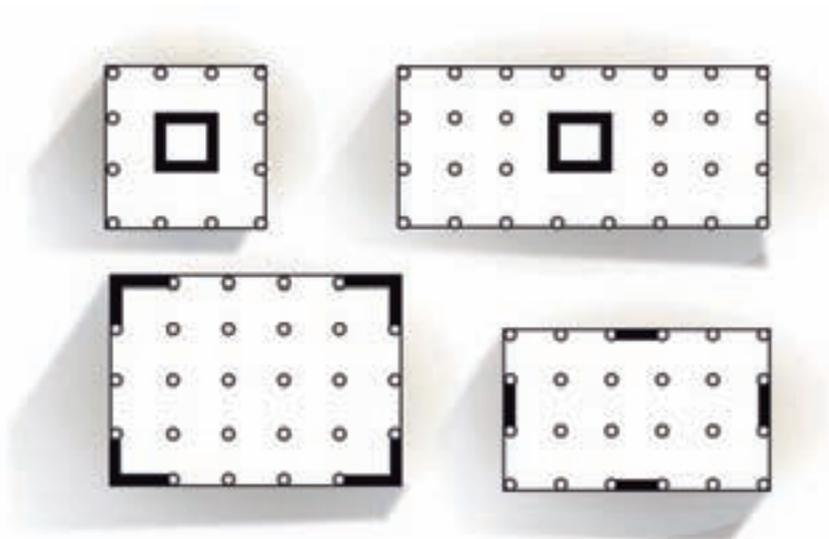


Fig. 33 - Murs en rez-de-chaussée destinés à prévenir l'effet de niveau souple

b) Augmenter progressivement vers le haut la rigidité des éléments porteurs verticaux (fig. 34). Cette solution peut prévenir l'écrasement du niveau souple, sans toutefois empêcher certains dommages en cas de séisme fort.



Fig. 34 - Variation progressive de la rigidité des porteurs verticaux

c) Prévoir une structure de même rigidité à tous les niveaux (fig. 35). Cela suppose l'emploi de cloisons et de façades légères, afin de ne pas limiter la capacité de déformation de certains poteaux.



Fig. 35 - Structure de même rigidité horizontale à tous les niveaux

d) Utiliser l'isolation parasismique. Le plan des isolateurs est beaucoup plus souple que le niveau dit « souple ». Par conséquent, les déformations imposées par le séisme s'y concentrent, épargnant les niveaux au-dessus. Les isolateurs sont conçus pour supporter de grandes déformations, ce qui n'est pas le cas du bâtiment.

5.4 - Effet de « poteau court »

Dans un bâtiment dont les planchers sont en béton armé, les efforts horizontaux dus aux séismes se distribuent sur les éléments de structure verticaux en proportion de leur rigidité latérale. Si, dans une structure en portiques, certains poteaux sont plus courts (comme ceux du vide sanitaire) ou si leur capacité de déformation est limitée par la présence d'allèges en maçonnerie, de paliers d'escalier intermédiaires, de mezzanines, de rampes ou d'autres éléments, ils sont beaucoup plus rigides que les autres poteaux. Ils sont donc nettement plus sollicités et peuvent être détruits par cisaillement. On parle de l'effet de « poteau court » (fig. 36 à 41). Pour



Fig. 36 - Dommages dus à l'effet de poteau court en vide sanitaire, séisme d'El Asnam, Algérie 1980

l'éviter, on peut opter pour un système contreventé, en plaçant des voiles en béton armé en façade ou à l'intérieur du bâtiment ou, dans le cas des allèges, utiliser des éléments industrialisés légers, possédant une faible rigidité (fig. 38).



Fig. 37 - L'effet de poteau court dû à la présence d'allèges en maçonnerie dans la structure principale en portiques, séisme d'El Asnam, Algérie 1980

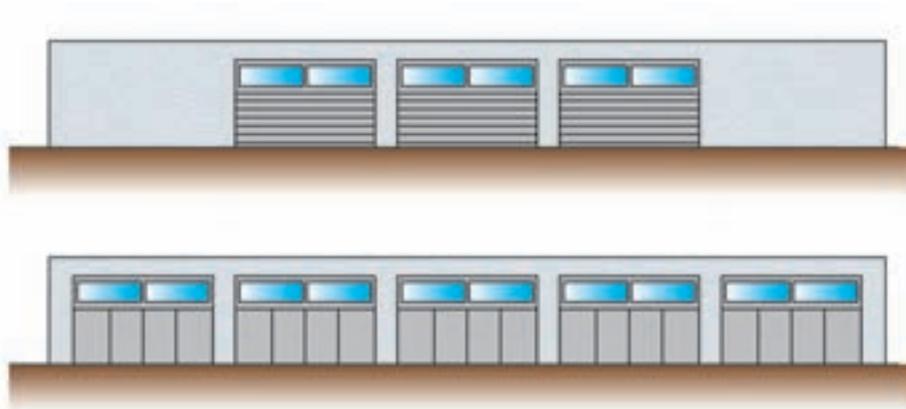


Fig. 38 - Solutions supprimant l'effet de poteau court dû à la présence d'allèges rigides : voiles en façade ou allèges non rigides (bardage)

Fig. 39 - L'effet de poteau court dû à la présence d'un palier d'escalier, séisme d'El Asnam, Algérie 1980

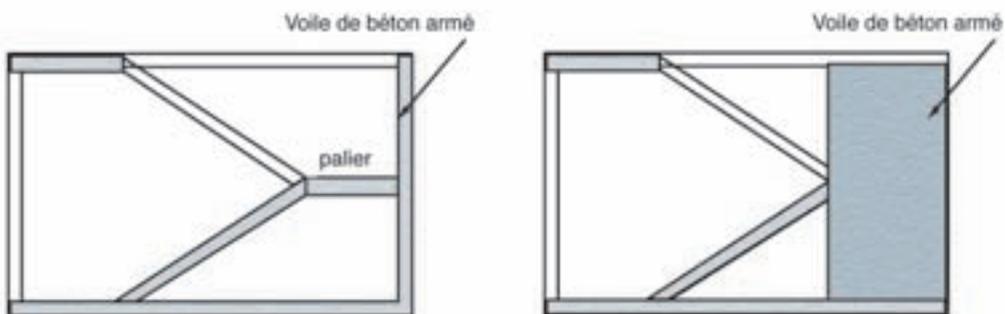


Fig. 40 - Solutions supprimant l'effet de poteau court dû aux paliers d'escalier : voiles en fond de la cage d'escalier ou voiles latéraux (meilleure solution)

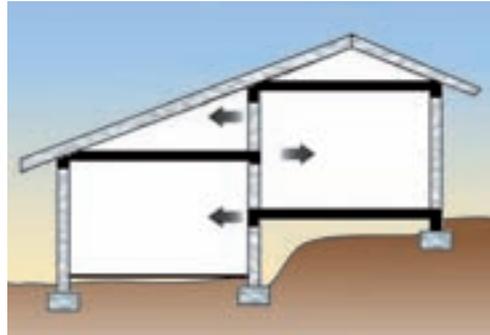


Fig. 41 - L'effet de poteau court dû à la présence de niveaux décalés

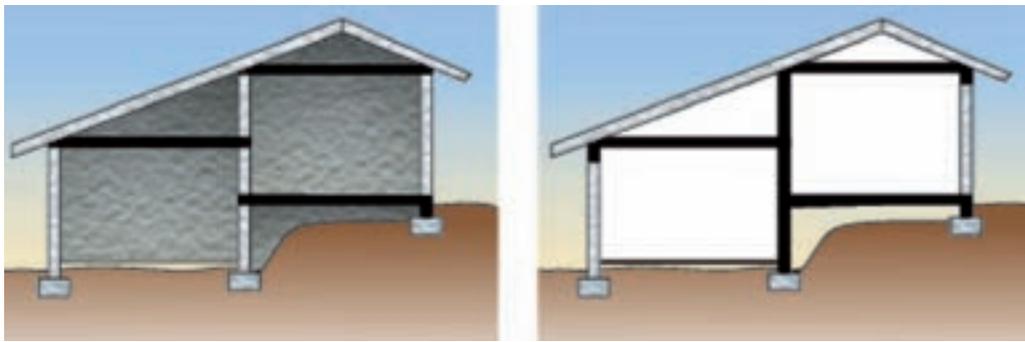


Fig. 42 - Solutions supprimant l'effet de poteau court dû à des niveaux décalés : voiles en béton armé parallèles ou perpendiculaires à la pente

5.5 - Porte-à-faux

Les éléments en porte-à-faux (dalles, poutres ou niveaux entiers) subissent sous l'action des composantes verticales des déformations différentes de celles du reste de la structure. Les concentrations de contraintes qui en résultent au droit de la façade sont en général acceptables lorsque la portée des porte-à-faux est faible et leur masse peu importante. En

revanche, les porte-à-faux dépassant 2 m sont relativement vulnérables aux séismes et leur rupture lors d'événements majeurs n'est pas rare (fig. 15, 43).



Fig. 43 - Rupture de porte-à-faux, séisme de San Fernando, États-Unis 1971

L'utilisation de grands porte-à-faux, comme ceux de la fig. 44, est donc déconseillée. Même lorsqu'ils sont dimensionnés pour les charges sismiques, ils possèdent une faible ductilité et, de ce fait, leur durée de résistance aux charges cycliques est très réduite. Pour cette raison, les poteaux discontinus portés par des porte-à-faux ne sont pas admis par l'Eurocode 8.



Fig. 44 - Grands porte-à-faux : architecture déconseillée en zone sismique (rampe hélicoïdale à Osaka et immeuble à Tokyo, Japon)



La meilleure solution pour porter les éléments ou niveaux en saillie par rapport à la façade consiste à prévoir des appuis extérieurs : poteaux, murs ou suspentes. Quand on opte pour des éléments en porte-à-faux, il est préférable d'utiliser des poutres en console portant des dalles (fig. 45), plutôt que des dalles en console. Lorsqu'on souhaite opter pour cette dernière solution, les dalles en porte-à-faux devraient être disposées en prolongement du plancher pour éviter de solliciter la poutre porteuse en torsion (fig. 46).

Fig. 45 - Dalles de balcon portées par des poutres en console. Ces poutres n'ont pas subi de dommages lors du séisme d'El Asnam, Algérie 1980. Les poteaux du vide sanitaire ont été cisailés par effet de poteau court

Le cas de la dalle en porte-à-faux située plus bas que le plancher du niveau (fig. 47), nécessite une vérification de la sécurité selon l'Eurocode 8 et ne permet pas l'utilisation des règles parasismiques simplifiées (« Dispositions constructives en zone de sismicité faible » et « Règles PS-MI 89 révisées 92 »).



Fig. 46 - Dalle de balcon en porte-à-faux : elle devrait être réalisée en prolongement du plancher du niveau

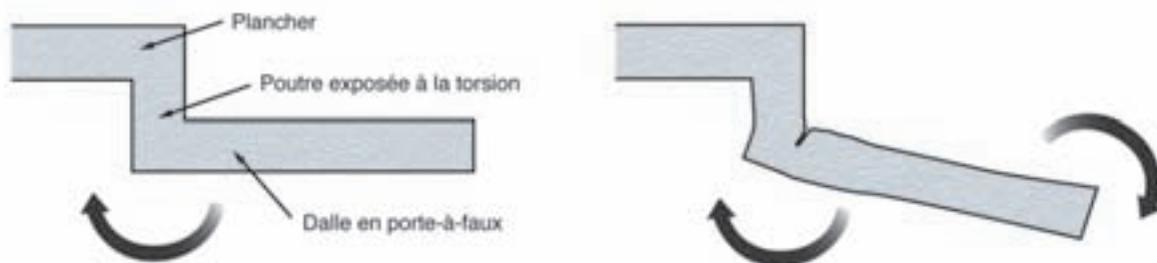


Fig. 47 - A éviter : poutre porteuse sollicitée en torsion par la dalle du balcon



Chapitre

6

Conception de la structure (parti constructif)

6.1 - Structure principale et structure secondaire

En matière de protection parasismique des bâtiments, il convient de distinguer la structure principale et la structure secondaire. La structure principale assure l'intégrité de l'ouvrage face aux actions sismiques et une certaine durée de résistance. Tous les éléments participant au contreventement en font partie. Quant aux éléments de la structure secondaire, ils doivent tolérer les déformations de la structure principale tout en continuant de remplir leur fonction. Par exemple, dans une ossature en béton armé articulée contreventée par des voiles, les poteaux sont considérés comme des éléments secondaires. La part des charges sismiques horizontales qu'ils reçoivent est en général négligeable, car dans les bâtiments à planchers en béton armé, les charges sismiques se répartissent sur les éléments de structure verticaux proportionnellement à leur rigidité latérale. Or un voile peut être mille fois plus rigide qu'un poteau et donc recevoir mille fois plus de charges.

Le comportement dynamique d'un ouvrage est déterminé par l'architecture de sa structure principale. Par conséquent, les inconvénients d'une forme de bâtiment défavorable, décrits au chapitre précédent, peuvent être corrigés par une disposition adéquate d'éléments de contreventement, ainsi que le montrent les solutions présentées au chapitre 5 pour les divers phénomènes préjudiciables.

6.2 - Choix de la structure pour un immeuble d'habitation collective situé en zone sismique

■ 6.2.1 - Systèmes porteurs à murs en béton ou béton armé

Ce système est le plus employé en France pour les immeubles de logements. Utilisé dans toutes les zones, il est particulièrement bien adapté à la résistance aux séismes. Même très endommagés, les murs en béton (voiles) parviennent à porter les planchers, préservant ainsi la vie des occupants, ce qui est l'objectif principal des règles parasismiques. La fig. 48 montre un tel cas. Mais lorsque les règles parasismiques actuelles sont appliquées, les dommages sismiques restent en général limités, facilement réparables, même après un tremblement de terre majeur (fig. 49).

Fig. 48 - Les voiles en béton parviennent en général à porter les planchers même après avoir subi des dommages importants (séisme d'Anchorage, Alaska 1964, magnitude 8,3)



Fig. 49 - Dommages aux voiles en béton facilement réparables, occasionnés par le séisme de Kôbé, Japon 1995 (6300 morts). L'immeuble est situé dans la zone la plus touchée par le tremblement de terre



Les structures à voiles conviennent particulièrement pour les bâtiments fondés sur les sols mous. Grâce à leur rigidité, leur période propre d'oscillation (temps d'une oscillation libre en secondes) est courte, éloignée de celle des sols mous, plus longue, ce qui prévient le risque de résonance. La résonance des bâtiments avec le sol est un phénomène très destructeur, souvent à l'origine d'effondrements d'immeubles.

■ 6.2.2 - Ossatures en poteaux et poutres de béton armé

Le comportement sous l'action sismique de ces ossatures diffère selon leur type.

Ossatures « articulées »

Les ossatures articulées doivent être contreventées. Lorsque leur stabilité horizontale est assurée par des voiles, elles se comportent sensiblement comme les systèmes porteurs à murs et conviennent donc très bien pour la construction parasismique. Les poteaux font partie de la structure secondaire (fig. 33). En revanche, lorsque le contreventement est réalisé en murs de blocs de béton, donc en maçonnerie, les dommages sismiques sont fréquents lors des séismes forts (fig. 50, 51).



Fig. 50 - Éclatement de panneaux de remplissage en maçonnerie lors du séisme de Boumerdès, Algérie 2008



Fig. 51 - L'éclatement de remplissages transforme les rez-de-chaussée en niveaux souples, dont l'écrasement est fréquent, séisme de Boumerdès, Algérie 2008

Les murs de contreventement en maçonnerie éclatent souvent sous l'effet des séismes, car il est difficile d'obtenir une liaison efficace entre les panneaux de maçonnerie et la poutre supérieure. Sans dispositions particulières (par exemple du béton projeté sur grillage en façade), il est fortement déconseillé de les utiliser au-delà de la zone de sismicité 2.

Structures en portiques bidirectionnels

Ces structures sont autostables, autocontreventées par effet de portique. Elles requièrent une bonne ductilité, permettant à leurs éléments de subir, lors des séismes majeurs, de grandes déformations au lieu d'une rupture brutale. Un niveau élevé de ductilité peut être conféré aux portiques par une architecture judicieuse, limitant des concentrations d'efforts, et par des dispositions constructives appropriées (cf. chapitre 7).

Les systèmes en portiques autostables sont relativement flexibles et devraient donc être utilisés sur des sols fermes. On ne devrait jamais les fonder sur des sols mous, sous peine de les exposer au risque de résonance. La résonance des bâtiments avec le sol peut donner lieu à des amplitudes d'oscillation importantes et à des dommages graves (fig. 13).

■ 6.2.3 - Structures mixtes en portiques et voiles

Ces structures possèdent un excellent comportement sous l'action sismique lorsque les voiles sont répartis symétriquement dans les deux directions principales. Ils peuvent former un ou plusieurs noyaux rigides (fig. 52 gauche) ou être placés en façade, ce qui est plus efficace, plus particulièrement lorsqu'ils sont situés dans les angles (fig. 53). Les structures mixtes possèdent deux lignes de défense. Lors d'un séisme, dans un premier temps, les voiles reprennent la quasi-totalité des charges latérales grâce à leur rigidité. Après la formation de grandes fissures, leur rigidité diminue et une plus grande part des charges se reporte sur

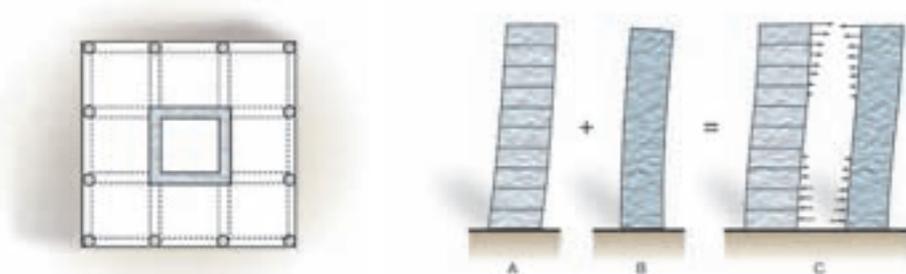


Fig. 52 - Comportement sous charges horizontales du système mixte à portiques et voiles

les portiques, dont la ductilité devrait prévenir la rupture. En outre, les déformations des voiles sont minimales en pied de la structure, où celles des portiques sont maximales. Au sommet de l'ouvrage, c'est le contraire (fig. 52 droite). L'interaction des voiles et des portiques est donc très favorable, à condition toutefois que les assemblages poutres-voiles soient ductiles et acceptent donc une déformation significative avant la rupture.

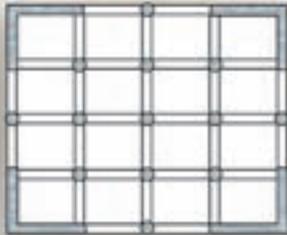


Fig. 53 - Voiles placés dans les angles d'une structure mixte: solution très efficace

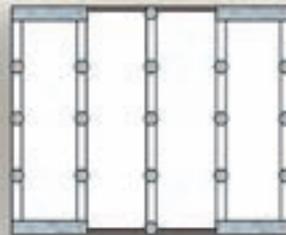


Fig. 54 - Portiques transversaux associés à des voiles longitudinaux: solution moins efficace que celle de la fig. 53

Les structures mixtes possédant les portiques placés dans une direction et les voiles dans l'autre (fig. 54), sont moins favorables à la résistance aux séismes que les précédents, mais ils conviennent très bien pour les zones sismiques.

Les structures mixtes consistant en une alternance verticale d'étages à portiques et d'étages à voiles (fig. 55), systématique ou non, sont à éviter impérativement, car elles sont exposées à l'effet de niveau souple, décrit au chapitre 5. On peut cependant réaliser les premiers niveaux en voiles et les suivants en portiques. Ceci est tout à fait normal lorsque les voiles constituent la structure des niveaux enterrés et les portiques celle de la superstructure. Par contre, un changement en superstructure est à éviter, car il entraîne une variation brutale de rigidité entre niveaux, ce qui est préjudiciable (fig. 55). La déformée de l'immeuble est « brisée », signe de fortes concentrations de contraintes dans la structure au droit du changement de rigidité latérale.

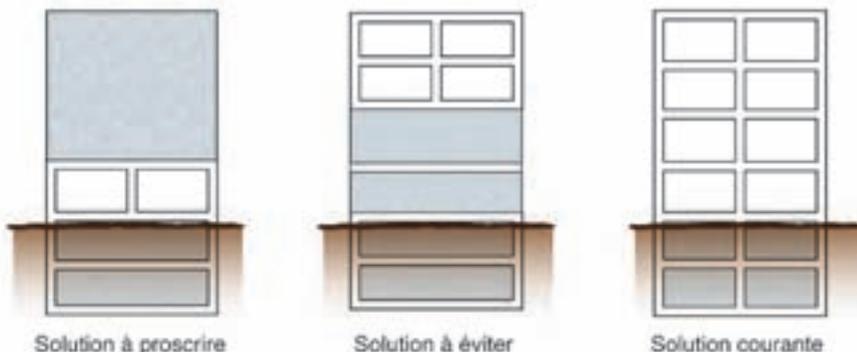


Fig. 55 - Alternance verticale de niveaux à voiles et de niveaux à portiques

6.3 - Conception des ossatures contreventées

■ 6.3.1 - Principe de contreventement

Tous les niveaux d'une structure doivent être contreventés, y compris le niveau des combles. En zone sismique, un système de contreventement comporte obligatoirement des diaphragmes, associés aux éléments verticaux du contreventement, qui constituent la structure principale vis-à-vis des charges latérales.

On appelle « diaphragme » un plancher ou un versant de toiture suffisamment rigide pour être capable de transmettre les charges horizontales aux éléments verticaux de contreventement qui, dans le cas des immeubles d'habitation collective, sont des murs réalisés de préférence en voiles de béton ou de béton armé (fig. 56).

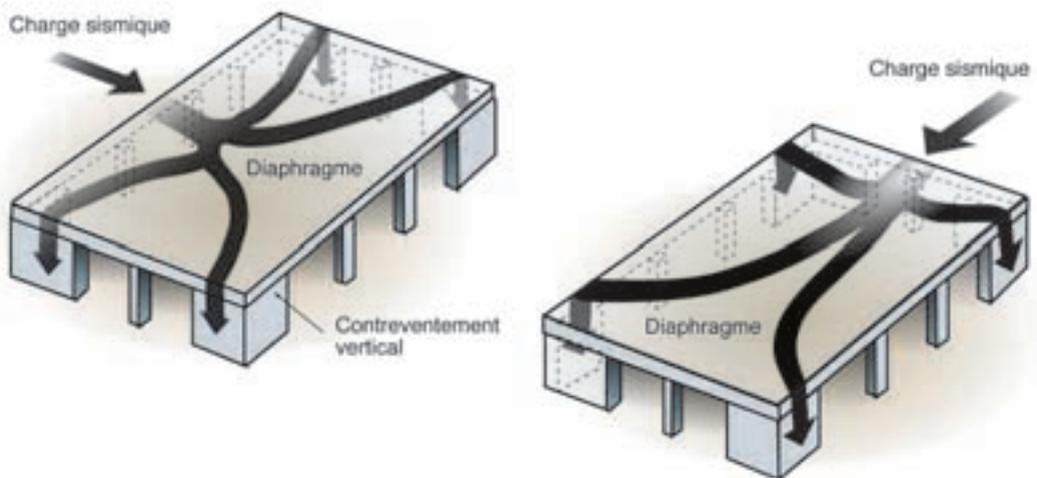


Fig. 56 - Contreventement d'un niveau : plancher rigide formant un diaphragme, associé à des murs de contreventement

Les planchers « travaillent » comme des poutres placées dans un plan horizontal, sur le principe des poutres au vent (fig. 57). Il est donc préférable de placer les percements importants, comme les trémies d'escalier, loin des façades, à proximité de l'axe neutre de la « poutre » qu'ils forment. En effet, sous charges horizontales, les efforts les plus importants se produisent en périphérie du plancher ; les trémies devraient donc être situées dans des zones les moins sollicitées car elles affaiblissent le diaphragme.

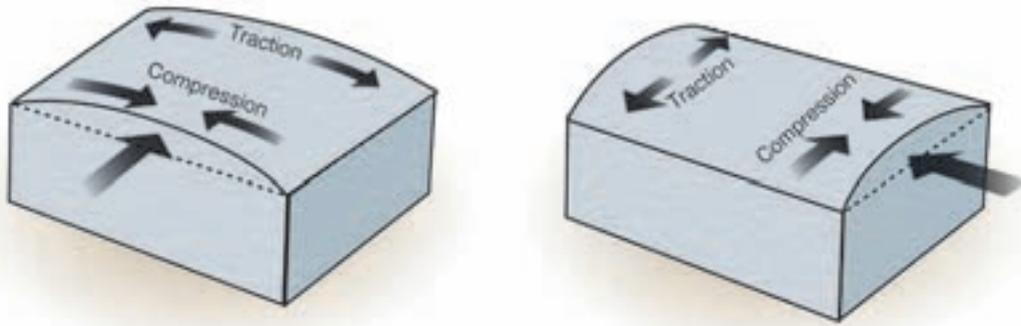
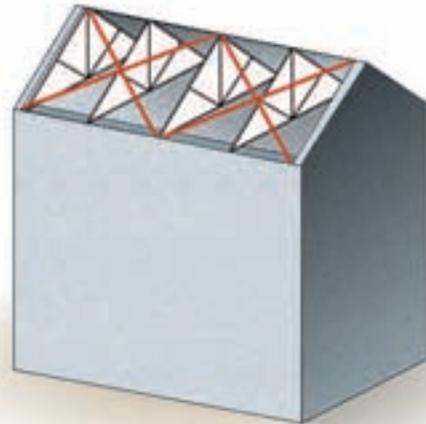


Fig. 57 - Principe d'action des diaphragmes : analogie avec une poutre

Lorsque le plancher haut du dernier niveau reçoit une toiture inclinée, les versants doivent également former des diaphragmes transmettant les charges horizontales sur les chaînages des pignons. Ils nécessitent donc un contreventement (fig. 58).

Fig. 58 - Diaphragme en toiture



Quant aux éléments verticaux de contreventement, chaque niveau devrait posséder au moins deux murs dans chaque direction principale (le minimum théorique étant de trois murs en tout). Il est souhaitable de répartir la résistance aux charges horizontales sur un grand nombre de voiles afin d'augmenter la redondance du système et d'accroître ainsi sa fiabilité.

■ 6.3.2 - Conception des éléments verticaux de contreventement

Concevoir un contreventement conformément aux lois de la statique ne suffit pas pour assurer à la construction un bon comportement sous charges dynamiques. Afin d'optimiser ce comportement, les principes suivants devraient être respectés.

Répartition symétrique de la rigidité de chaque niveau

Le respect de ce principe est de première importance car en cas d'une répartition asymétrique de la rigidité latérale des éléments verticaux, la construction peut être exposée à une torsion d'ensemble, qui a été la cause d'effondrement de nombreux immeubles lors des séismes passés (fig. 59).



Fig. 59 - Dommages sismiques dus à la torsion d'ensemble, séismes de Tokachi-Oki, Japon 1968 et du Mexique, 1985

Plus précisément, on devrait chercher à faire coïncider, à chaque niveau, le centre de gravité du niveau avec son centre de rigidité, car la résultante des charges sismiques passe par le premier et la réaction résultante par le second. Lorsque les deux centres sont décalés, l'action et la réaction le sont aussi. Les deux forces forment alors un couple, qui soumet l'ouvrage à la torsion (fig. 60). Les éléments plus flexibles ont tendance à vriller autour des éléments plus rigides (fig. 61). Le centre de rigidité constitue le centre de torsion.

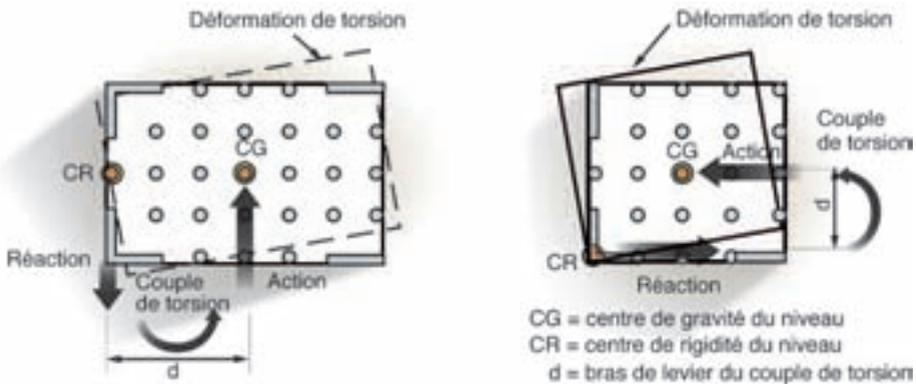


Fig. 60 - Répartition incorrecte des éléments de contreventement : la résultante de l'action sismique et celle de la réaction de la structure forment un couple de forces torsion

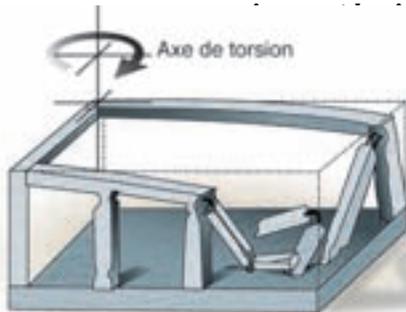
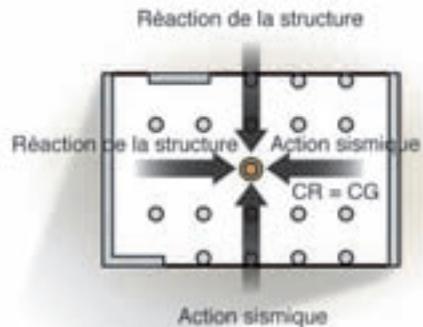


Fig. 61 - L'axe de torsion passe par le centre de rigidité du niveau

Le centre de gravité d'un niveau est proche du centre de gravité du plancher haut, car les planchers représentent les masses les plus importantes et rendent la différence entre celle des poteaux et des murs peu significative. Le centre de rigidité est le barycentre des rigidités latérales des éléments verticaux du niveau. Dans chaque direction, la distance entre les deux centres représente le bras de levier du couple de torsion, qui est donc variable selon la direction de l'action sismique horizontale. Dans le cas de la structure de la fig. 60 gauche, le couple de torsion est maximal pour une action dans la direction transversale et nul pour un séisme longitudinal, car dans ce dernier cas, les deux centres sont situés sur l'axe longitudinal. Plus grand est le bras de levier, plus importants sont les effets de torsion.

Par conséquent, il est souhaitable de disposer les murs de contreventement (deux par direction au moins) de manière à assurer, dans chaque direction principale, une répartition symétrique de la rigidité par rapport à l'axe passant par le centre de gravité des planchers. La symétrie doit être considérée séparément dans chaque direction, car généralement, un élément qui contrevente dans une direction ne contrevente pas dans une autre. Ainsi, sur la fig. 62, la symétrie de rigidité est respectée dans les deux directions, bien qu'un regard superficiel puisse faire penser le contraire.

Fig. 62 - Symétrie des rigidités par rapport aux axes passant par le centre de gravité du niveau, respectée dans chacune des deux directions principales. La structure n'est pas exposée à une torsion d'ensemble



Grande distance entre murs de contreventement parallèles

Même si les centres de rigidité et de gravité sont parfaitement confondus dans un projet, ce qui est relativement rare, une torsion accidentelle peut encore se produire en raison de mouvements différentiels du sol, de la présence de cloisons réparties d'une manière asymétrique, de défauts d'exécution, etc. La résistance à la torsion des niveaux dans une direction est assurée par des murs de contreventement placés dans cette direction. Pour être efficaces, ces murs doivent se trouver à une distance significative, car cette distance constitue le bras de levier du couple résistant. Il est souhaitable que les murs parallèles les plus éloignés se trouvent au moins aux 2/3 de la longueur de la façade perpendiculaire

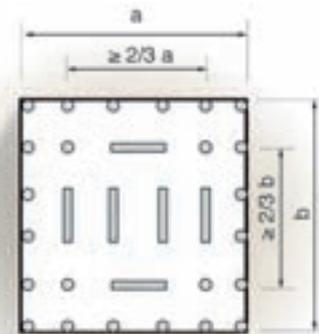


Fig. 63 - Distances minimales recommandées entre murs de contreventement parallèles

(fig. 63). La meilleure disposition consiste donc à placer les murs de contreventement en façade, car leur éloignement est dans ce cas maximal (fig. 64).

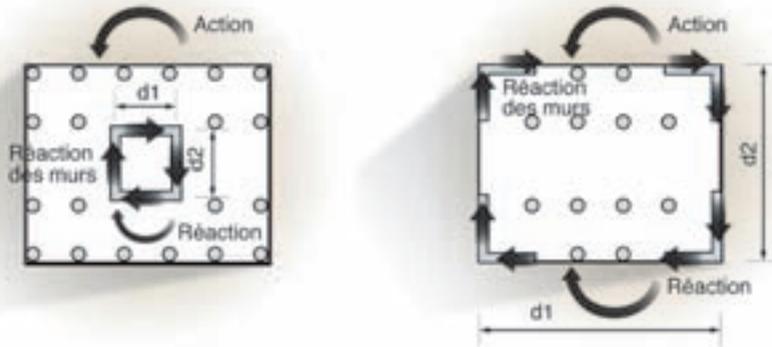


Fig. 64 - L'efficacité des murs de contreventement placés en façade est beaucoup plus grande que celle des murs rapprochés, car le bras de levier des couples résistants (d_1 , d_2) est maximal entre les façades

Murs de contreventement larges

Les murs de contreventement étroits sont peu efficaces. Ils sont relativement déformables et subissent des contraintes élevées. Il est donc souhaitable de placer des murs dans plusieurs travées d'une file, contiguës ou non, et de répartir ainsi la résistance aux charges horizontales sur un certain nombre d'éléments (fig. 65).

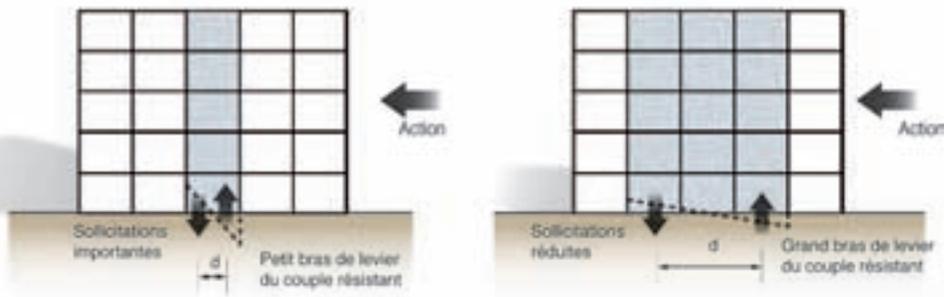
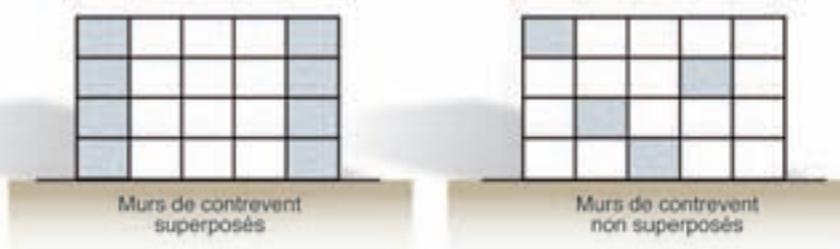


Fig. 65 - Les murs de contreventement larges procurent une meilleure résistance

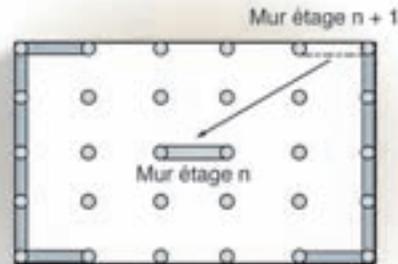
Superposition des murs de contreventement

Lorsque les murs de contreventement sont superposés, la descente de charges dans les fondations est directe, ce qui est favorable (fig. 66). La non-superposition des murs donne lieu à une descente de charges en forme de baïonnette, qui sollicite les planchers par des efforts horizontaux additionnels, ce qui est particulièrement préjudiciable lorsque les murs ne sont pas situés dans un même plan vertical (fig. 67).



**Fig. 66 - La superposition des murs de contreventement est préférable.
La non-superposition est possible, mais déconseillée**

Fig. 67 - Sollicitation des planchers par le transfert d'efforts horizontaux entre murs de contreventement non superposés



Faible variation de rigidité latérale des niveaux

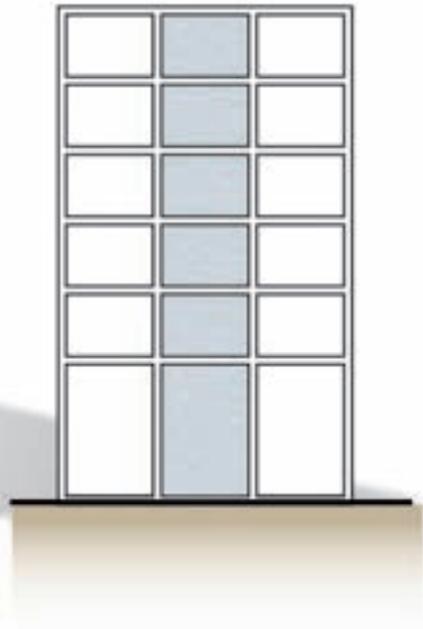
Les niveaux possédant des rigidités différentes ont tendance à osciller d'une manière asynchrone lors des séismes, ce qui est une cause de dommages sismiques (cf. chapitre 5). La différence de rigidité peut être due à des retraits d'étage (fig. 68), à une longueur cumulée inégale, dans une direction donnée, des murs de contreventement d'un étage à l'autre, ou à une hauteur plus importante d'un niveau, ce qui n'est pas rare en rez-de-chaussée (fig. 69). Ainsi qu'il a été précisé plus haut, à section égale, la rigidité transversale d'un élément vertical sollicité à la flexion par des forces horizontales décroît proportionnellement au cube de sa hauteur. Toujours à sections égales, un niveau deux fois plus haut qu'un autre est donc huit fois moins rigide et constitue un niveau « souple », très vulnérable aux séismes. Or il est préférable que la différence de rigidité entre deux niveaux ne

dépasse pas 30 %. Dans le cas des niveaux de hauteur plus importante que l'étage courant, on devrait donc augmenter les sections de poteaux ou ajouter des éléments de contreventement de manière à conférer aux différents niveaux une rigidité comparable.



Fig. 68 - Dommages dus aux oscillations différentielles entre les étages en retrait et les niveaux inférieurs, séisme du Mexique, 1985

Fig. 69 - Hauteurs de niveau inégales : la différence de rigidité entre deux niveaux ne devrait pas dépasser 30 %



6.4 - Conception des structures en portiques bidirectionnels

Afin d'optimiser le comportement dynamique des structures en portiques, il convient de respecter les principes suivants.

Régularité des trames

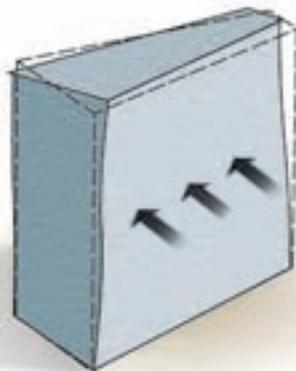
Il est souhaitable d'éviter une alternance de travées larges et de travées étroites (fig. 70), car ces dernières sont plus rigides et, de ce fait, attirent sur elles une partie plus importante des charges sismiques. Elles sont donc davantage sollicitées et plus vulnérables. Les traverses de portique courtes peuvent rompre par effet de

poutre courte, analogue à l'effet de poteau court, exposé au chapitre 5. La régularité des trames améliore la fiabilité des constructions vis-à-vis des séismes.

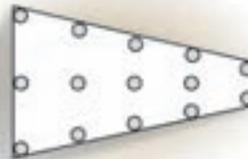
Fig. 70 - A éviter: trames irrégulières. Les trames étroites concentrent sur elles les charges sismiques en raison de leur plus grande rigidité



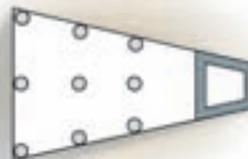
Lorsque l'irrégularité des trames est due à la forme du bâtiment, celui-ci peut être exposé à une torsion d'ensemble. Pour l'éviter, on peut placer des éléments rigides (voiles) dans la zone flexible de l'ossature afin d'obtenir une symétrie de la rigidité à chaque niveau (fig. 71). La torsion est commentée au paragraphe 6.3.2.



Torsion d'ensemble



Immeuble exposé à la torsion d'ensemble



Solution permettant de limiter la torsion

Fig. 71 - Torsion d'ensemble due à l'irrégularité de la trame structurale et solution permettant de limiter ou de supprimer le danger de torsion

Absence de points durs

Les poteaux ayant des sections nettement plus grandes que les autres poteaux possèdent une rigidité transversale très supérieure. Cette rigidité s'accroît, dans chaque direction, proportionnellement au cube de la dimension de la section dans cette direction. Ainsi, un poteau quatre fois plus large qu'un autre est 64 fois plus rigide dans la direction de sa largeur et reçoit dans cette direction une charge horizontale 64 fois plus élevée (fig. 72). Étant plus rigide, il constitue un point dur qui bloque localement les déformations de l'immeuble imposées par les séismes. Or sa résistance mécanique n'a augmenté que 16 fois, car elle est proportionnelle au carré des dimensions de la section. Lors des séismes forts, les points durs éclatent fréquemment. Par conséquent, il est fortement conseillé de s'abstenir d'en créer.

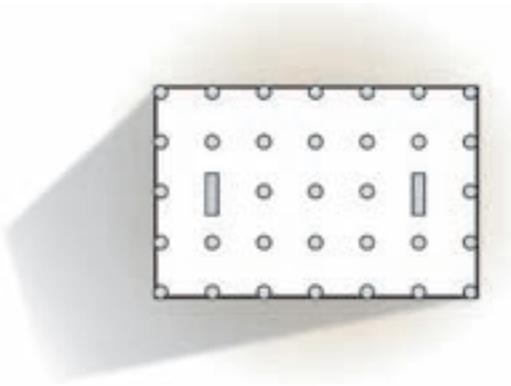


Fig. 72 - Poteaux formant des points durs dans la direction transversale : leur éclatement en cas de séisme fort est probable

Les poteaux bridés par des paliers d'escaliers (fig. 39), rampes, mezzanines ou autres éléments, présentés au chapitre 5, constituent également des points durs. Leur rigidité est due à leur capacité de déformation limitée. Ils périssent souvent par « effet de poteau court ».

Respect du principe « poteaux forts - poutres faibles »

Respecter le principe "poteau fort-poutre faible" consiste à concevoir les portiques de sorte que les poutres possèdent une résistance ultime inférieure à celle des poteaux et des nœuds. Le but est de localiser les dommages sismiques structuraux (rotules plastiques, cf. Glossaire) dans les poutres, facilement réparables, et de prévenir leur apparition dans les poteaux ou les nœuds, qui assurent la stabilité du bâtiment (fig. 73). Cette démarche est exigée par les règles parasismiques, mais elle peut être favorisée par des choix de conception judicieux. Par exemple, l'utilisation de poutres-allèges dans un système en portiques rend le respect du principe « poteaux forts - poutres faibles » pratiquement impossible (fig. 74). Toute option

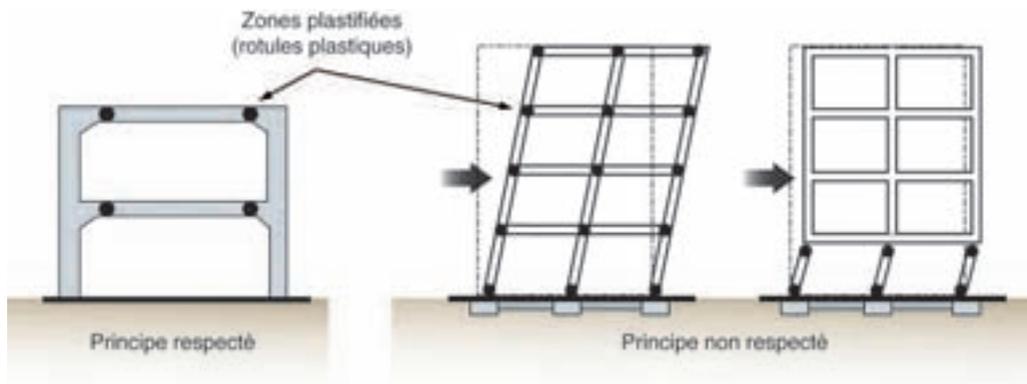


Fig. 73 - Principe « poteaux forts - poutres faibles ». Le non-respect du principe peut avoir pour conséquence l'effondrement de la structure



nécessitant des traverses de portiques hautes est donc déconseillée. Si on souhaite conserver l'architecture de poutres-allèges en zone sismique, le contreventement du bâtiment doit être assuré par des voiles et non par effet de portique.

Fig. 74 - Effondrements de bâtiment dû au non-respect du principe « poteaux forts - poutres faibles ». La résistance ultime des poutres-allèges en béton armé était supérieure à celle des poteaux. En outre, on peut observer l'effet de poteau court (séisme de Tokachi-Oki, Japon 1968 et d'Izmit, Turquie 1999)

Poteaux et poutres placés dans un même plan

Afin de souligner l'horizontalité ou la verticalité d'un bâtiment, les concepteurs font parfois ressortir les poutres ou les poteaux par rapport au plan de la façade. Vis-à-vis des séismes, cette démarche est en général neutre dans le cas des ossatures contreventées, mais préjudiciable lorsqu'il s'agit d'un système en portiques, car dans ce cas les poteaux et poutres font partie de la structure principale, assurant la résistance aux charges horizontales. Dans les nœuds des portiques, ces charges doivent suivre une descente de charges en forme de baïonnette, ce qui engendre de fortes contraintes de cisaillement. Cette situation donne en général lieu à une rupture fragile de nœuds, car leur capacité à se déformer plutôt que de rompre est faible (fig. 75). De tels nœuds supportent très mal les chargements cycliques.

Les configurations de nœuds de la fig. 76 devraient donc être évitées. Pour les portiques ductiles, l'Eurocode 8 limite l'excentricité des axes des poteaux et des poutres au quart de la plus grande dimension de la section du poteau perpendiculaire à la poutre. Pour limiter les concentrations de contraintes dans les nœuds, il est également souhaitable d'adopter des largeurs comparables des poteaux et des poutres (fig. 77).



Fig. 75 - Poteaux et poutres dans des plans différents : rupture de nœud

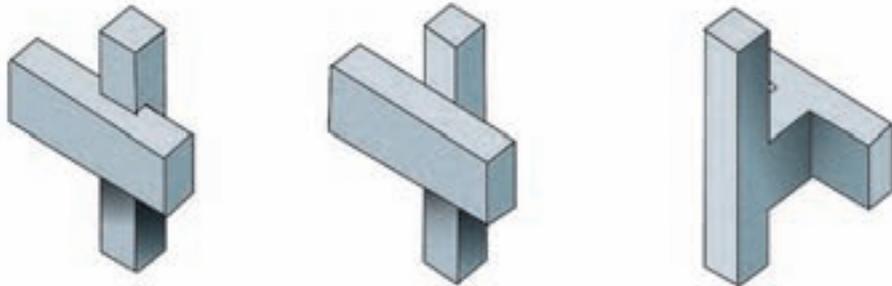


Fig. 76 - Configurations de nœuds à bannir

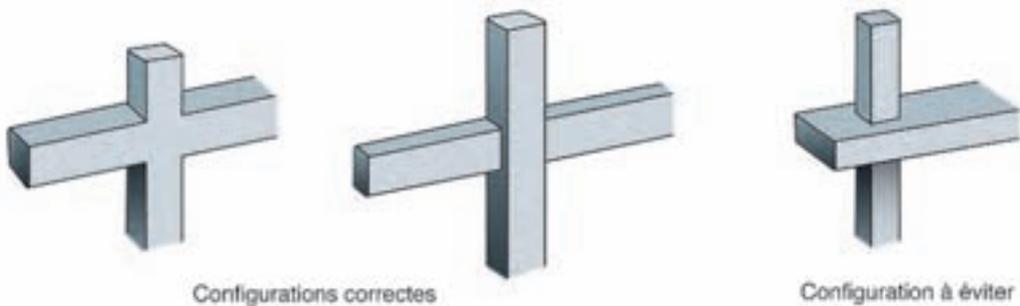


Fig. 77 - Largeurs respectives des poteaux et des poutres d'une ossature en portiques

Si on souhaite garder la modénature résultant des nœuds désaxés, on peut également opter pour une ossature contreventée par des voiles, dans laquelle la résistance aux séismes est assurée par ces derniers et non par des portiques.

Répartition équilibrée des trumeaux de maçonnerie situés en façade

Les bâtiments d'habitation à structure en portiques comportent généralement en façade des trumeaux en maçonnerie, considérés comme non participant au contreventement en raison de leur faible largeur et la présence de portes ou fenêtres. Cependant, ces trumeaux confèrent au bâtiment une certaine rigidité. Il convient donc, pour limiter la torsion d'ensemble, de veiller à ce que cette rigidité soit répartie d'une manière sensiblement symétrique dans chacune des directions principales (fig. 78).

Superposition des poteaux

Les poteaux non superposés sont en général portés par des poutres dimensionnées pour la descente de charges qui en résulte (fig. 79). En régime statique, cette situation est acceptable. Cependant, pendant un tremblement de terre, donc en



Fig. 78 - Bâtiments d'habitation à ossature en portiques de béton armé et façades non structurales en maçonnerie: la rigidité cumulée des panneaux de façade devrait être sensiblement symétrique dans chaque direction principale

régime dynamique, les tronçons courts des poutres situés entre deux poteaux, très sollicités en cisaillement, peuvent se rompre brutalement car leur ductilité, c'est-à-dire la capacité à subir de grandes déformations sous charges cycliques, est très faible (à la différence des sollicitations de flexion, celles de cisaillement n'autorisent pas une ductilité significative). La durée de résistance de l'ouvrage aux charges dynamiques est ainsi réduite. Il est donc préférable de superposer les poteaux de portiques. Lorsque des poteaux discontinus sont utilisés, il ne doit pas y avoir d'excentricité de leur axe par rapport à l'axe des poutres (Eurocode 8). Par ailleurs, l'Eurocode 8 n'admet pas que des poteaux soient portés par des poutres en porte-à-faux.



Fig. 79 - A éviter: portiques à poteaux discontinus

Faible variation de rigidité latérale des niveaux

De même que pour les autres types de structure, on devrait limiter les différences de rigidité latérale des niveaux à 30 % maximum. Ainsi qu'il est indiqué plus haut, cette différence peut résulter de la présence d'étages en retrait, qui possèdent également un autre inconvénient majeur: concentration de contraintes en pied des retraits, d'où des dommages fréquents. La situation est aggravée lorsque certains poteaux des portiques en retrait reposent sur des poutres du niveau inférieur (fig. 80).



Fig. 80 - Dommages sismiques dus à des retraits d'étage, séisme du Mexique, 1985

Les portiques en béton armé étant plus sensibles à l'action sismique que les voiles, il est particulièrement recommandé de respecter les critères de régularité en élévation de l'Eurocode 8 (fig. 81) :

- retraits successifs symétriques sur deux côtés du bâtiment : limités à $\leq 20\%$ de la dimension en plan du niveau inférieur dans la direction du retrait ;
- retraits non symétriques : limités à $\leq 10\%$ de la dimension en plan du niveau inférieur, et la somme des retraits de tous les niveaux à $\leq 30\%$ de la dimension en plan du premier niveau ;
- un seul retrait situé dans les 15 % inférieurs de la hauteur de la structure : limité à $\leq 50\%$ de la dimension en plan du niveau inférieur.

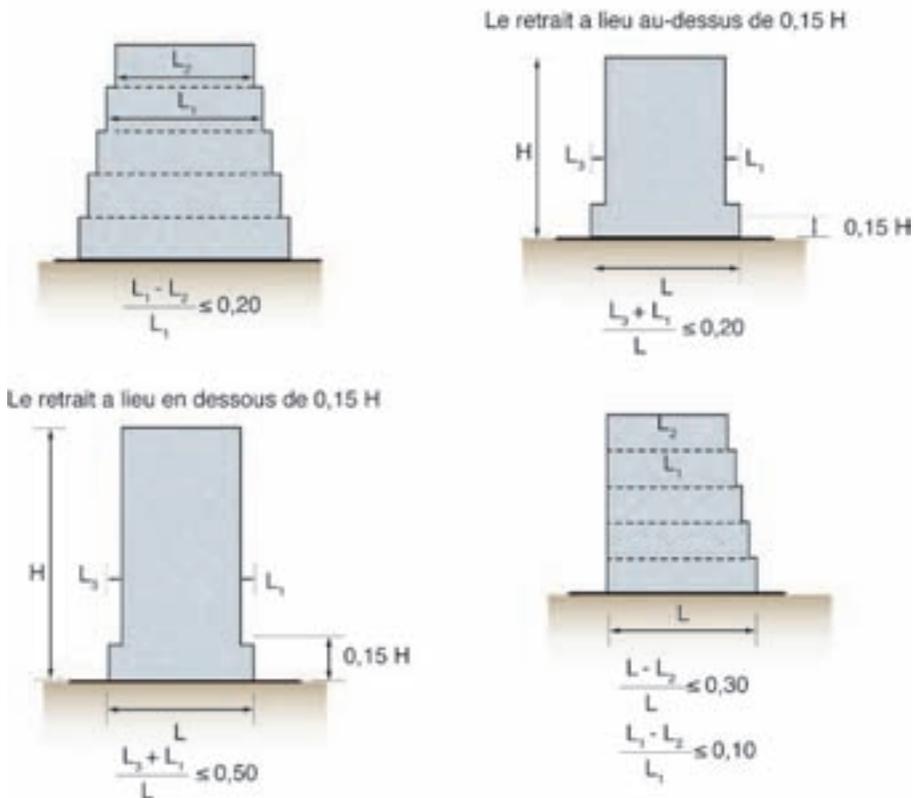


Fig. 81 - Critères de régularité en élévation relatifs aux étages en retrait (Eurocode 8)

La limitation des retraits entraîne une économie importante car selon l'Eurocode 8, les bâtiments irréguliers en élévation doivent être calculés pour des charges sismiques majorées de 20 %.

Les vides sanitaires dont la structure est en portiques représentent un cas particulièrement critique car leur rigidité est très différente de celle des autres niveaux. Lors du séisme d'El Asnam (Algérie), de nombreux vides sanitaires de bâtiments

d'habitation ont été écrasés (fig. 36, 82). Pour préserver leur intégrité, la présence de voiles en vide sanitaire est impérative. Ils devraient ceindre le bâtiment sur les quatre côtés. La fig. 83 montre une construction sans voiles en soubassement, vulnérable aux séismes.



Fig. 83 - A éviter : absence de voiles périphériques en vide sanitaire. Cette construction est particulièrement vulnérable aux séismes

Fig. 82 - Écrasement de la structure en portiques des vides sanitaires, séisme d'El Asnam, Algérie 1980



6.5 - Conception des systèmes à murs porteurs

Les systèmes porteurs à voiles de béton ou de béton armé résistent très bien aux séismes. Ils sont autocontreventés. Les murs doivent donc être disposés dans les deux directions principales (fig. 84). Il est préférable de réaliser en béton tous les murs participant au contreventement. Les structures à voiles transversaux et murs en maçonnerie longitudinaux sont hybrides et leur comportement sous séisme médiocre. Des dommages sismiques importants peuvent se produire à la liaison des deux types de mur.

Comme pour les systèmes à ossature, il convient d'assurer :

- distribution quasi symétrique de la rigidité dans les deux directions principales, afin de limiter la torsion d'ensemble ;
- rigidité comparable des différents niveaux afin de prévenir l'effet de niveau souple ;
- superposition des murs participant au contreventement, de manière à obtenir une descente de charges directe jusqu'aux fondations.

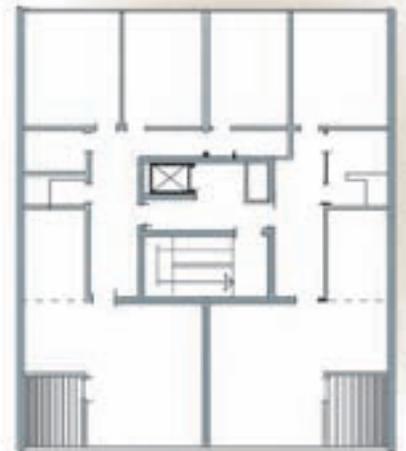


Fig. 84 - Bâtiment d'habitation à structure en voiles de béton : les murs contreventent le bâtiment dans les deux directions principales

Lors des séismes forts, la base des voiles conçus conformément aux règles parasismiques peut subir des déformations irréversibles (il s'agit de zones dites « critiques », où est principalement localisée la capacité de la structure à dissiper l'énergie). Dans ce cas, il peut être nécessaire de démolir le bâtiment. En revanche, dans le cas de voiles couplés de façon régulière par des linteaux (poutres-allèges, fig. 85), la dissipation d'énergie s'effectue dans ces derniers et non à la base des voiles, qui ne subissent que des déformations réversibles (fig. 86). L'ouvrage est donc en principe facilement réparable. Les poutres-allèges doivent posséder une bonne ductilité, obtenue par des dispositions constructives appropriées (fig. 103). En outre, il est impératif de prévoir des voiles couplés à tous les niveaux, car un voile plein à un étage constituerait un point dur sévèrement sollicité, voué à une rupture brutale en cas de séisme d'une certaine intensité (fig. 87).

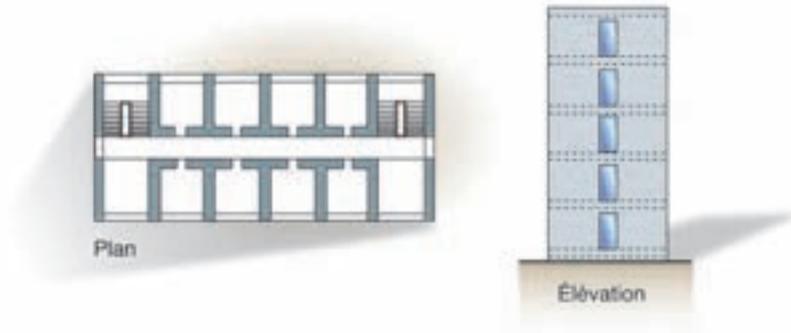
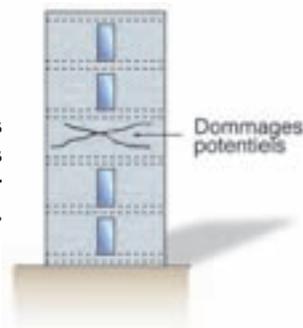


Fig. 85 - Structure à voiles couplés : les poutres-allèges jouent le rôle de « fusible » en cas de séisme fort



Fig. 86 - Rupture de poutres-allèges entre voiles couplés. Cet effet de fusible a préservé les voiles porteurs, mais si les linteaux avaient été armés pour avoir un comportement ductile, les dommages auraient pu être limités. Immeuble McKinley, séisme d'Alaska, 1964.

Fig. 87 - A proscrire : discontinuité des ouvertures sur la hauteur de l'immeuble. L'étage sans ouvertures constitue un point dur voué à éclater en cas de séisme fort.





Chapitre

7

Dispositions constructives

7.1 - Objectifs des dispositions constructives parasismiques

La stratégie de protection parasismique des bâtiments adoptée dans les règles parasismiques modernes, dont l'Eurocode 8, consiste à rechercher une grande capacité à dissiper l'énergie cinétique des oscillations. Dans ce but, il est admis qu'en cas de séisme majeur, les constructions puissent entrer dans le domaine postélastique et subir de ce fait des dommages, les déformations postélastiques étant en partie irréversibles. Ces dommages ne doivent pas compromettre la stabilité de la structure.

La dissipation d'énergie la plus importante est localisée dans les zones les plus sollicitées de la structure principale, appelées « zones critiques » ou aussi « régions critiques ». Ces zones doivent donc posséder une grande ductilité, car celle-ci permet de dissiper une partie importante d'énergie des oscillations par la formation de rotules plastiques (voir Glossaire). En complément de leur but habituel d'assurer la résistance et l'ancrage des éléments constructifs, les dispositions constructives parasismiques visent donc à assurer la ductilité des zones critiques.

Un comportement ductile de la structure procure également d'autres avantages importants, en plus de la dissipation d'énergie :

- il permet d'éviter une rupture brutale d'éléments porteurs, assurant ainsi une certaine durée de résistance (ni le caractère répétitif de l'action sismique, ni sa durée n'interviennent dans le dimensionnement aux séismes) ; en l'absence de rupture, les sections dont la résistance n'est pas encore épuisée prennent le relais des sections « plastifiées » ;
- les charges sismiques sont plafonnées par la plastification des sections les plus sollicitées à des valeurs jusqu'à huit fois plus faibles que celles des structures non ductiles, ce qui réduit notablement le coût de la protection.

L'Eurocode 8 distingue trois classes de ductilité. Les concepteurs sont libres d'opter pour une de ces classes :

- DCL (ductilité limitée) ;
- DCM (ductilité moyenne) ;
- DCH (haute ductilité).

En classe DCL, la conception et le dimensionnement des bâtiments s'effectuent en appliquant uniquement les règles de l'Eurocode 2 (Calcul des structures en béton) pour la situation sismique de calcul. Il n'y a pas de dispositions constructives particulières à appliquer en zone sismique. Pour les bâtiments sans appuis parasismiques, il est recommandé de n'opter pour la classe DCL qu'en zone de faible sismicité (pour les bâtiments sur appuis parasismiques, cette classe convient dans toutes les zones).

Pour les raisons évoquées plus haut, le choix de la classe DCM ou DCH est préférable, car il permet de conférer aux constructions une capacité de dissipation d'énergie importante et un comportement ductile global. Dans ce cas, le dimensionnement s'effectue « en capacité ». Il est associé à des dispositions constructives spécifiques. Les paragraphes suivants présentent ces dispositions pour les différents types de structure en béton armé.

7.2 - Ossature en portiques coulés en place

Les ossatures en portiques en béton armé ont été, par le passé, l'un des systèmes les plus meurtriers en cas de séisme, car pour résister aux secousses, le béton des poteaux et des poutres nécessite un confinement renforcé, non pratiqué avant la mise en place des règles parasismiques. En l'absence d'un tel confinement, l'ossature peut se disloquer facilement, d'où des effondrements spectaculaires (fig. 88).



Fig. 88 - Effondrement des ossatures en portiques de béton armé non confiné, de Boumerdès, Algérie 2003 et séismes d'Izmit, Turquie 1999

En revanche, correctement armées (confinées), les ossatures en béton armé montrent un comportement satisfaisant, car le confinement du béton permet de lui procurer une bonne ductilité et d'assurer le maintien de l'intégrité des structures exposées aux séismes. La fig. 89 montre un comportement fragile, caractérisé par des ruptures brusques, instantanées, et un comportement ductile, c'est-à-dire la déformation plastique de l'ossature. Celle-ci a évité la rupture des poteaux de façade, verticale à l'origine. La construction s'est effondrée en raison d'une rupture fragile, par effet de poteau court, des poteaux intérieurs portant une rampe (non visibles sur la photo), a réduit leur longueur libre.



Fig. 89 - Comparaison d'un comportement fragile (rupture instantanée) d'une ossature non confinée et du comportement ductile (plastique) d'une ossature confinée. L'effondrement de cette dernière construction est dû à un choix d'architecture défavorable et non à une erreur d'exécution : effet de poteau court à l'intérieur du bâtiment (séismes de Spitak, Arménie 1988 et de Northridge, Californie 1994)

Les zones critiques des portiques sont en général limitées aux extrémités des poteaux et des poutres, ainsi qu'aux nœuds (fig. 90). Lorsqu'elles ne sont pas confinées, elles peuvent éclater en cas de séisme (fig. 91). Si le séisme se poursuit, l'effondrement de l'ouvrage est inévitable (fig. 88).

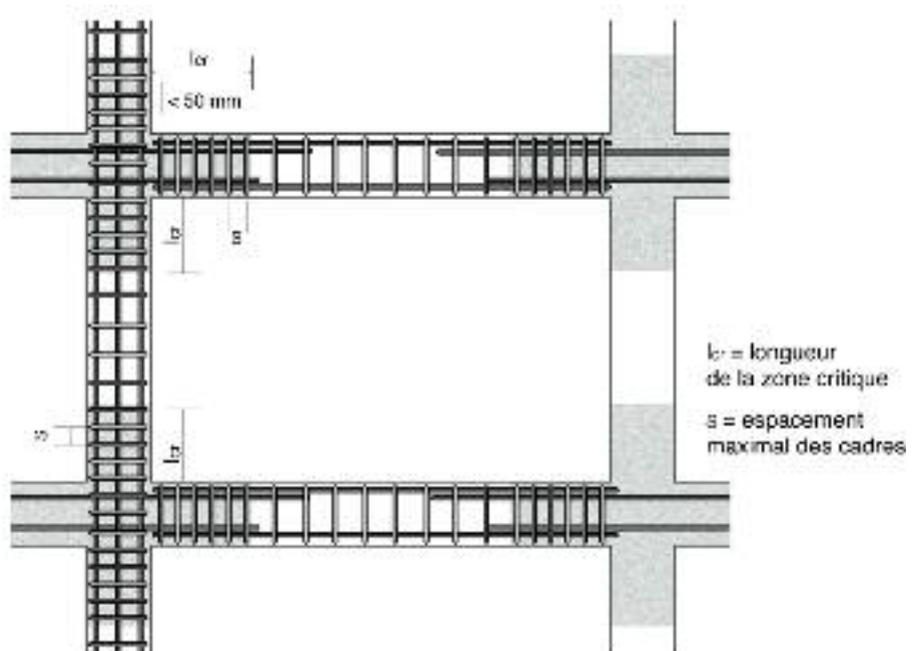


Fig. 90 - Zones critiques (grisées) d'un portique et armature de confinement



Anchorage 1964



Taiwan 1999



Chili 1960

Taiwan 1999



Fig. 91 - Éclatement de zones critiques: exemples de poutres, poteaux et nœuds de portique

Cependant, d'autres zones peuvent être soumises à des contraintes importantes et doivent être considérées comme des zones critiques : régions de part et d'autre de la base d'un poteau discontinu ou d'un changement brusque de section, toute la longueur des éléments courts, etc. L'Eurocode 8 précise, pour les classes de ductilité DCM et DCH, des critères permettant de déterminer la longueur minimale des zones critiques, ainsi que l'espacement maximal des armatures de confinement.

Pour assurer *le confinement des zones critiques*, l'armature doit constituer une « grille » à maille fine permettant de maintenir le béton à l'intérieur de l'élément structural. Les cadres, épingles ou étriers, à espacement réduit, doivent maintenir individuellement les armatures longitudinales comprimées espacées de plus de 15 cm, afin de s'opposer à leur flambement (fig. 92, 93). Les extrémités des armatures transversales doivent être munies de crochets présentant des retours d'une longueur minimale de 10 diamètres (fig. 94). Les cadres doivent être fermés (fig. 92, 95).

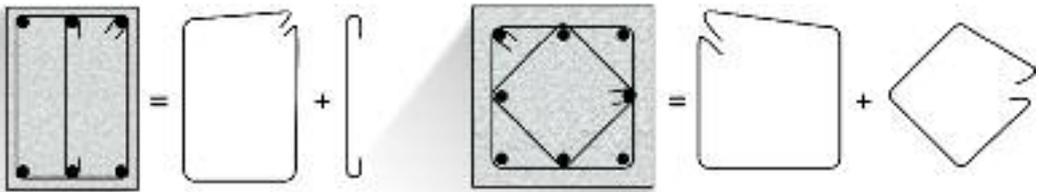


Fig. 92 - Maintien individuel des barres des poutres et des poteaux par des armatures transversales



Fig. 93 - Exemples d'armature de confinement des poutres et des poteaux

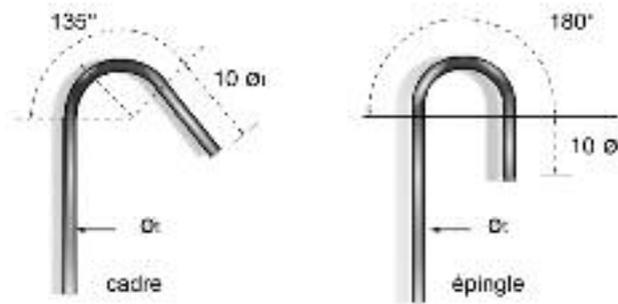


Fig. 94 - Crochets d'ancrage des armatures transversales

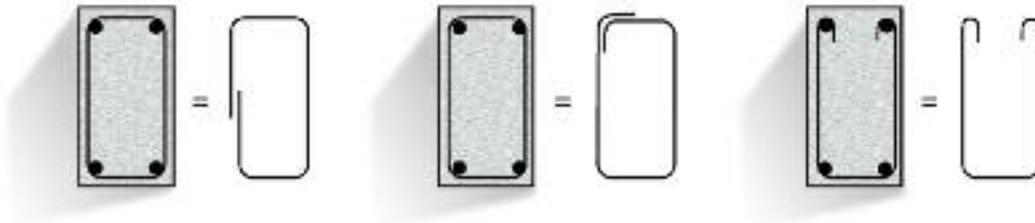


Fig. 95 - Cadres non admis pour le confinement du béton

Les nœuds poteau-poutre étant exposés à des efforts importants en raison de leur rigidité, ils doivent également être confinés de la même manière que les poteaux. Cependant, lorsque des poutres aboutissent au nœud sur ses quatre côtés et que leur largeur correspond à au moins les 3/4 de la largeur du poteau (fig. 96), l'espacement des armatures de confinement horizontales dans le nœud peut être doublé.

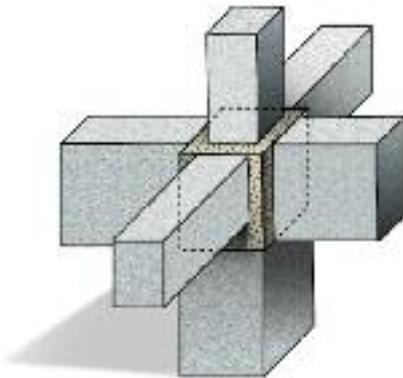


Fig. 96 - Cas de nœud recevant des poutres sur ses quatre côtés: lorsque la largeur des poutres correspond à au moins les 3/4 de la largeur du poteau, l'espacement des armatures de confinement horizontales dans le nœud peut être doublé

La continuité mécanique des armatures longitudinales peut être assurée :

- par recouvrement des barres ; dans la zone de recouvrement, l'espacement des armatures transversales de confinement ne doit pas dépasser le quart de la plus petite dimension de la section, avec un maximum de 10 cm ;
- par coupleurs mécaniques validés par des essais ;
- par soudage ; toutefois, les soudures ne sont pas admises à l'intérieur des zones critiques.

Ainsi qu'il a été précisé au paragraphe 6.2.2., il est conseillé de ne pas utiliser *des panneaux de remplissage en maçonnerie* qui, traditionnellement non fixés en partie haute faute de pouvoir introduire correctement du mortier sous la poutre, éclatent rapidement en cas d'action sismique violente, ce qui entraîne souvent l'instabilité de la construction. Les panneaux du rez-de-chaussée éclatent les premiers (fig. 50, 51) car les charges horizontales sont en général les plus grandes au niveau inférieur (cas d'une console verticale, dont la zone la plus sollicitée est l'encastrement), et le transforment en niveau souple, dont la vulnérabilité a été exposée plus haut.

Toutefois, si une liaison efficace entre les panneaux de maçonnerie et l'ossature peut être assurée, le comportement de la structure devient favorable.

Des dispositions destinées à prévenir l'éclatement des panneaux peuvent être prises, mais elles ne sont pas courantes (fig. 97). On peut également utiliser un bourrage au mortier sans retrait des joints entre les panneaux et les poutres supérieures ou des treillis soudés ancrés sur un côté du mur recevant un enduit hydraulique.

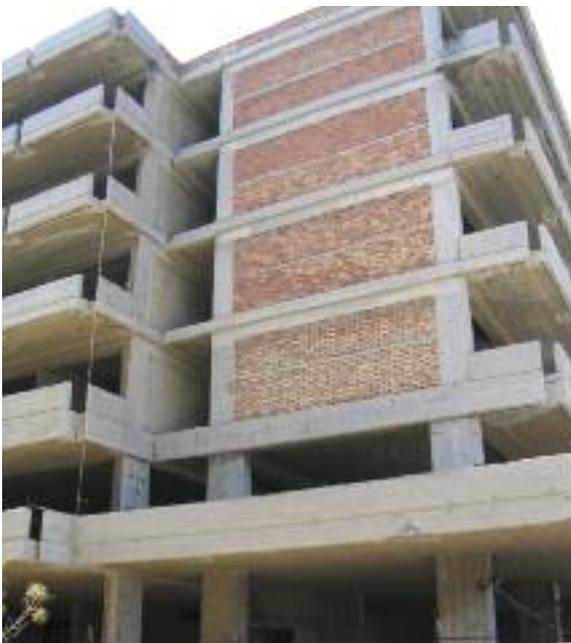


Fig. 97 - Raidisseurs en béton armé destinés à prévenir ou retarder l'éclatement des panneaux de remplissage en maçonnerie (à droite : après le séisme du Mexique, 1985)

Les poteaux dont la longueur libre est réduite par la présence d'allèges en maçonnerie doivent être considérés comme éléments courts dont la zone critique s'étend sur toute leur longueur fig. 98.

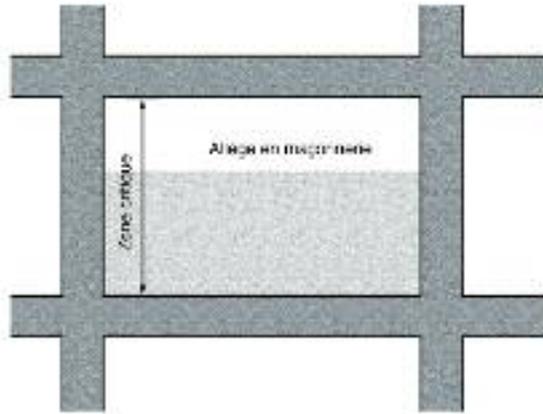


Fig. 98 - Zone critique des poteaux dont la longueur libre est limitée par des allèges en maçonnerie

7.3 - Voiles coulés en place

L'Eurocode 8 distingue deux types de voiles quant au comportement sous charge sismique : voiles ductiles et voiles de grandes dimensions en béton faiblement armé. Les voiles ductiles dissipent l'énergie dans les zones critiques. Par contre, les voiles de grandes dimensions horizontales, caractérisés par une longueur dépassant 4 m ou les $\frac{2}{3}$ de la hauteur totale du mur, ne présentent pas de zone critique car ils subissent lors des séismes forts de faibles soulèvements. L'énergie cinétique des oscillations est dissipée par le travail de soulèvement de la masse de l'immeuble et par les déformations plastiques du sol imposées lors des vibrations de l'ouvrage (fig. 99).

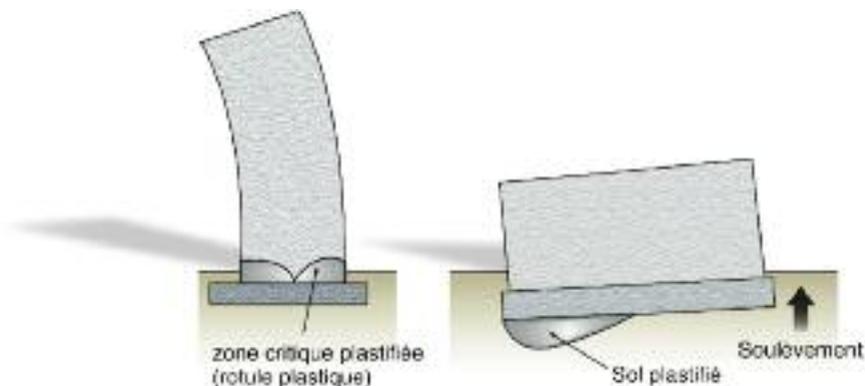


Fig. 99 - Comparaison du comportement des voiles ductiles et des voiles de grandes dimensions horizontales faiblement armés

Voiles ductiles

À l'instar des structures en portiques, une grande ductilité des zones critiques est requise. Dans le cas général, la zone critique d'un voile est situé immédiatement au-dessus de sa base. La base est définie comme le niveau des fondations ou de l'encastrement dans un sous-sol formant un caisson rigide. Selon l'Eurocode 8, la hauteur de la zone critique correspond à la plus grande des valeurs entre la longueur du mur et le sixième de sa hauteur totale, sans dépasser la hauteur libre du niveau (de deux niveaux pour R + 6 et plus) ni la longueur du mur. Les extrémités des voiles doivent former des éléments de rive pouvant prendre la forme de poteaux ductiles noyés ou non dans l'épaisseur du voile et présentant éventuellement un retour (membrure transversale, fig. 100).

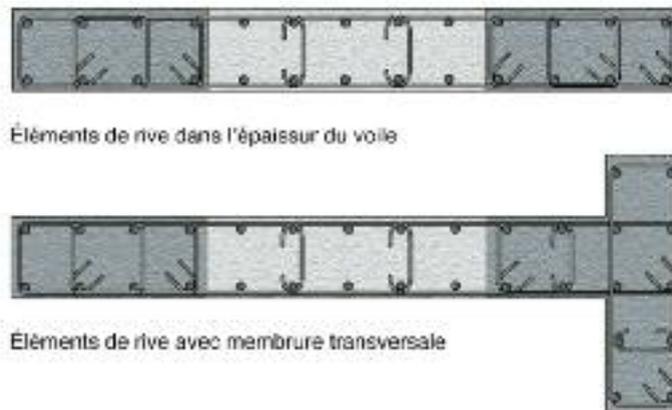


Fig. 100 - Éléments de rive d'un voile ductile

La ductilité des éléments de structure très minces est faible. L'Eurocode 8 fixe donc une épaisseur minimale des voiles : 15 cm jusqu'à une hauteur libre d'étage de 3 m et $1/20$ de cette hauteur au-delà.

Les voiles doivent être armés, sur chaque face, en plus des éléments de rive, par des quadrillages d'armature d'un diamètre minimal de 8 mm, sans dépasser $1/8$ de l'épaisseur du voile (fig. 101). L'espacement maximal des barres ne doit pas être supérieur à 25 cm ou 25 fois le diamètre des barres, en prenant la plus petite valeur. Lorsqu'on opte pour la classe de ductilité DCH, les quadrillages d'armature doivent être reliés par des épingle espacées d'environ 50 cm. En outre, dans les plans de reprise de coulage, des armatures de couture sont obligatoires car le retrait du béton frais affaiblit ces zones. Des dommages sismiques y sont fréquents (fig. 102).



Fig. 101 - Exemple de l'armature d'un mur ductile

Fig. 102 - Dégradation du béton au droit d'un arrêt de coulage, séisme d'Alaska, 1964



Dans le cas des voiles couplés, présentés au paragraphe 6.5, la dissipation d'énergie des oscillations s'effectue principalement dans les poutres-allèges. Afin de leur conférer un comportement ductile et prévenir les ruptures fragiles montrées sur la fig. 89, des cages d'armature diagonales de type « poteau » doivent être prévues. Il convient également qu'un quadrillage d'armature de confinement soit placé sur les deux faces des poutres-allèges, répondant aux exigences de l'Eurocode 2 relatives aux poutres hautes. Les armatures longitudinales doivent être simplement prolongées de 15 cm dans les murs couplés, sans y être ancrées (fig. 103).

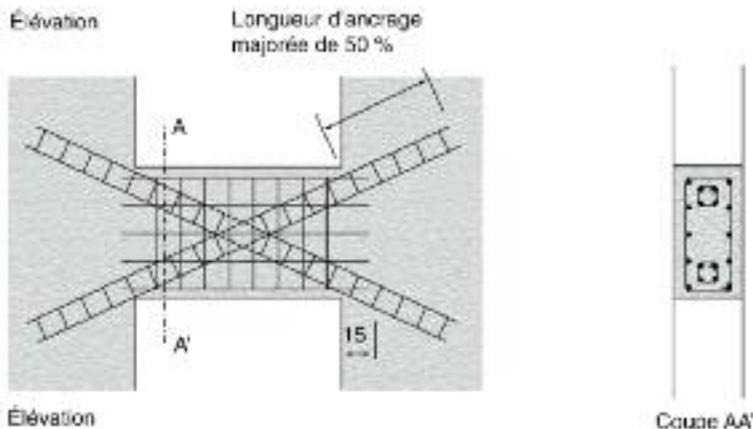


Fig. 103 - Armature des poutres-allèges reliant des voiles couplés

Voiles de grandes dimensions horizontales en béton faiblement armé

L'épaisseur minimale de ces voiles est la même que celle des voiles ductiles. Ils doivent comporter des chaînages continus dans les trois directions de l'espace, ainsi que des armatures d'encadrement des ouvertures (fig. 104, 105) :

- chaînages horizontaux au niveau des planchers, armature minimale $4\phi 10$ en façade et $2\phi 10$ dans les voiles intérieurs ;
- chaînages verticaux aux extrémités des voiles, armature minimale $4\phi 12$ dans l'étage inférieur et dans les étages en retrait de plus d'un tiers de la hauteur d'étage, $4\phi 10$ dans les autres cas ;
- armatures verticales continues au droit des ouvertures : $\geq 4\phi 10$;
- armature des linteaux : $\geq 2\phi 10$

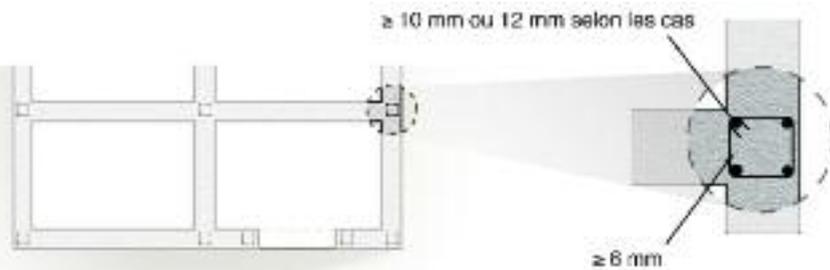


Fig. 104 - Voiles faiblement armés : disposition des chaînages en plan

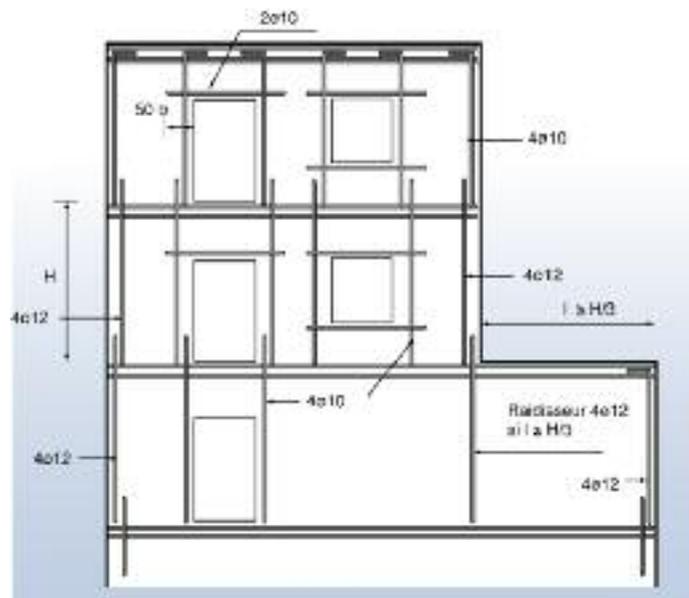


Fig. 105 - Voiles faiblement armés : chaînages et linteaux en élévation

7.4 - Planchers

Fonction diaphragme

Ainsi qu'il est précisé au paragraphe 6.3.1, les planchers doivent obligatoirement constituer des diaphragmes, c'est-à-dire des ouvrages capables de transmettre les charges horizontales aux éléments verticaux de contreventement (fig. 56). Ils raidissent également le niveau sous-jacent, améliorant ainsi sa résistance aux charges horizontales.

La fonction « diaphragme » implique :

- ancrage périphérique (sur les 4 côtés) des éléments porteurs du plancher (dalle de compression et prédalle par exemple) ;
- solidarisation des composants juxtaposés et superposés de manière que le plancher constitue un seul bloc solide ;
- continuité mécanique au-dessus des appuis intermédiaires, pour les mêmes raisons.

Ancrage périphérique

Les diaphragmes non ancrés peuvent glisser sous l'effet de secousses, perdre leur appui et s'effondrer sur le niveau inférieur (fig. 106).



Fig. 106 - Effondrement de planchers lors de secousses sismiques séisme de Spitak, Arménie 1988

La fig. 107 montre l'ancrage réglementaire des planchers à prédalles, respectivement dans le sens de portée et dans le sens non porteur. Aussi bien la dalle que la prédalle doivent être ancrées. Lorsque les armatures en attente de la prédalle ne possèdent pas la longueur requise pour l'encrage en zone sismique, la même solution que pour le sens non porteur peut être utilisée.

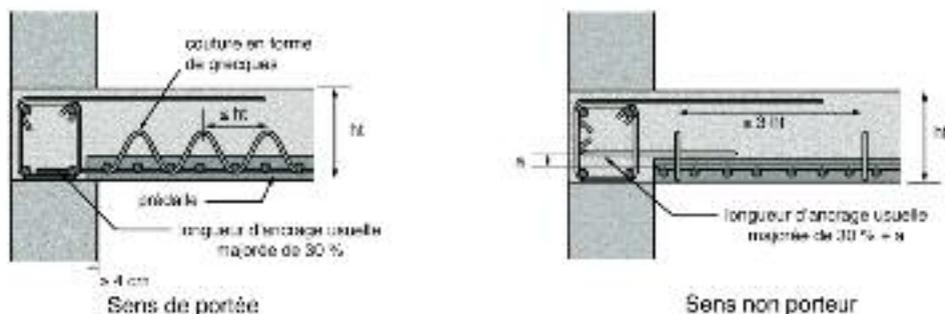


Fig. 107 - Ancrage des planchers à prédalles

Solidarisation des composants du plancher

Une continuité mécanique entre tous les composants, préfabriqués ou non, doit être assurée. Par conséquent, dans le cas des planchers à prédalle, il convient de prévoir des armatures de liaison entre la prédalle et la dalle (fig. 108), ainsi qu'entre des prédalles (fig. 109).

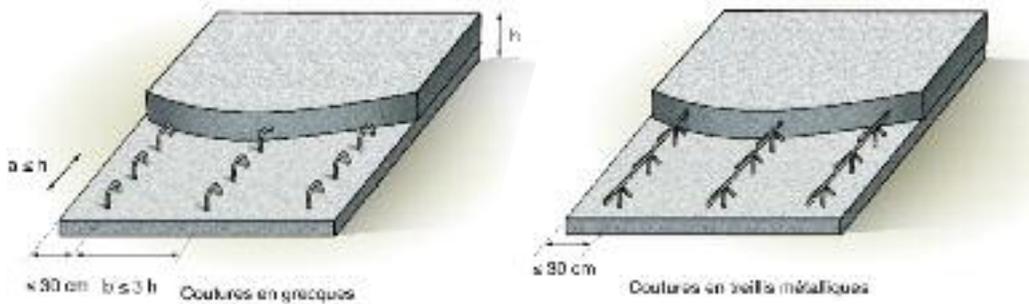


Fig. 108 - Solidarisation de la dalle avec la prédalle

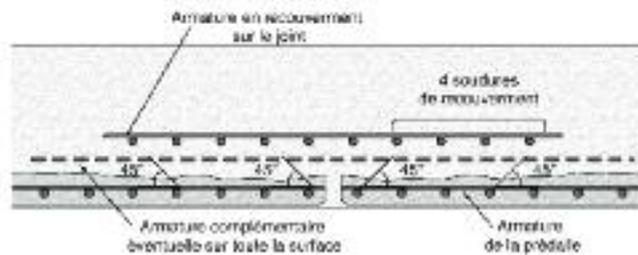


Fig. 109 - Solidarisation des prédalles

Continuité mécanique au-dessus des appuis

Les planchers doivent former un élément unique, courant au-dessus des appuis intermédiaires. En effet, une hyperstaticité maximale devrait être recherchée. La fig. 110 montre deux exemples relatifs aux prédalles.

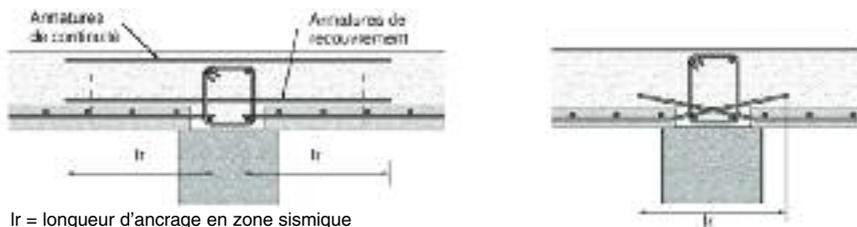


Fig. 110 - Continuité mécanique des prédalles au-dessus des appuis intérieurs



Chapitre

8

Conclusions

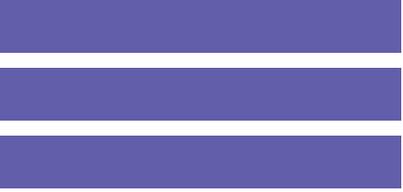
Les tremblements de terre sont récurrents et l'application des normes de construction parasismique est obligatoire dans de nombreuses communes. Les obligations réglementaires portent sur le dimensionnement des ouvrages aux séismes et sur des dispositions constructives. Cependant, il est judicieux de concevoir ces ouvrages, en amont, de manière à limiter les effets de l'action sismique.

La conception parasismique d'un bâtiment, ou plus généralement d'un ouvrage, consiste à opter pour une architecture qui lui confère un bon comportement lorsqu'il est exposé à un tremblement de terre. Sont concernés : forme d'ensemble du bâtiment et choix du système porteur, ainsi que son organisation en plan et en élévation, donc sa configuration et la disposition des éléments de la structure principale (murs, poteaux, escaliers...). Ces éléments participent nécessairement de l'architecture et relèvent donc du parti architectural recherché, dont le choix est opéré dès l'esquisse.

Pour un séisme donné, l'importance des oscillations auxquelles un bâtiment sera soumis, ainsi que leur nature, dépendent entièrement de son architecture. En cas de conception inadéquate, ces oscillations peuvent être très préjudiciables : torsion de l'ouvrage, oscillations asynchrones de ses différentes parties, concentrations des déformations sur certaines zones, etc. L'architecture d'un ouvrage détermine donc l'action sismique à laquelle il sera exposé lors d'un séisme. Or elle n'est pas réglementée ! Les normes parasismiques, quant à elles, ont pour but de conférer aux ouvrages un certain niveau de protection vis-à-vis de cette action, qu'elle soit optimisée ou non par la conception. L'application de la norme ne garantit donc pas l'absence de dommages graves en cas de séisme destructeur. Or l'architecte doit à son client un ouvrage qui présente toutes les garanties de confort et de sécurité, un ouvrage « sur mesure ». Il ne doit envisager aucun échec.

La norme parasismique impose le respect de dispositions constructives spécifiques. Nous avons vu que dans le cas des constructions en béton armé, il s'agit essentiellement d'assurer le confinement des zones de structure les plus sollicitées, appelées zones critiques, différentes selon le type de structure. Il apparaît ainsi que la résistance aux séismes est davantage une question de système porteur (architecture, dispositions constructives, dimensionnement) que du matériau.

Mais le béton armé, de par sa nature, autorise la conception et la réalisation de structures efficaces vis-à-vis des tremblements de terre. Il a fait ses preuves lors des séismes les plus violents, notamment au Japon, où la construction en béton est très répandue.



Chapitre

9

Glossaire

Aléa sismique

Probabilité qu'au cours d'une période de temps considérée (un an, cent ans, mille ans...) une secousse sismique atteigne ou dépasse, sur un site donné, une certaine intensité: intensité macrosismique, accélération maximale du sol, etc. L'aléa sismique est établi à deux niveaux: à l'échelle régionale (considérant que le sol est un rocher horizontal) et à l'échelle locale (tenant compte des caractéristiques du site et de la présence éventuelle de failles).

Centre de rigidité d'un niveau

Barycentre des rigidités latérales des éléments verticaux du niveau.

Conception architecturale parasismique

Choix de la forme d'ensemble du bâtiment, de ses éléments, de son système porteur, ainsi que de son organisation en plan et en élévation (disposition des murs, poteaux, escaliers...), permettant de minimiser l'impact des séismes auxquels il sera exposé et d'améliorer son comportement lors des secousses sismiques.

Confinement (de murs en maçonnerie)

Mise en place de chaînages horizontaux et verticaux en périphérie et à l'intérieur des murs, ne laissant subsister aucun bord libre en maçonnerie.

Confinement (d'un poteau ou d'une poutre en béton armé)

Mise en place d'armatures longitudinales (barres) et transversales (cadres, épingles ou cerces) à faible espacement, destinées à prévenir l'éjection du béton lors des secousses sismiques.

Contrainte

Tension interne dans un matériau provoquée par l'action des charges. En général, son intensité varie d'un point à l'autre.

Contreventement

Ensemble d'éléments de construction assurant la stabilité et la rigidité d'un bâtiment vis-à-vis des forces horizontales engendrées par le vent, les séismes ou autres causes. Il comprend des diaphragmes et des éléments verticaux (contreventement vertical).

Contreventement vertical (élément de)

Élément assurant la stabilité d'une file de poteaux ou de murs (perpendiculairement à leur plan). Il peut être constitué par un mur, par un portique ou par une travée triangulée.

Déformations plastiques

Déformations irréversibles des éléments constructifs réalisés en matériaux ductiles (voir « Ductilité »). Ce type de déformation se produit au-delà de la limite d'élasticité (voir ce terme) d'un élément et retarde sa rupture.

Déformée

Ligne caractérisant la déformation d'ensemble d'un élément ou d'une structure.

Diaphragme

Ouvrage plan horizontal (plancher) ou incliné (versant de toiture) possédant une rigidité suffisante pour transmettre les charges horizontales sur les éléments verticaux de contreventement.

Dimensionnement en capacité

Méthode de dimensionnement selon laquelle certains éléments structuraux sont choisis, conçus et étudiés en détail pour dissiper l'énergie cinétique grâce à des déformations importantes de la structure principale.

Dispositions constructives parasismiques

Dispositions spécifiques visant à ancrer les éléments constructifs dans leur support, à les solidariser mécaniquement et à leur conférer une bonne ductilité.

Domaine postélastique

Déformations au-delà de la limite d'élasticité (voir ce terme).

Ductilité

Capacité d'un matériau, et par extension celle d'un élément ou d'une structure, à subir avant rupture des déformations plastiques (voir ce terme), sans perte significative de résistance.

Échelle de Richter

Appellation indiquant la magnitude de Richter, qui est une manière de mesurer la puissance d'un séisme (voir « Magnitude »).

Échelle macrosismique d'intensité

Échelle conventionnelle permettant de mesurer l'intensité macrosismique d'un séisme (voir ce terme). En Europe, on utilise actuellement l'échelle EMS 98 (European Macroseismic Scale), comportant 12 degrés, dérivée de l'échelle MSK 64.

Effet de site

Amplification (cas général) ou atténuation du mouvement du sol en surface, causée par la topographie superficielle et souterraine du site, ainsi que par la nature du sol.

Effet induit (par un séisme)

Grand mouvement de sol ou de l'eau engendré par un séisme : glissement de terrain, éboulement, effondrement du plafond d'une cavité, liquéfaction du sol, tsunami, etc.

Épicentre (d'un séisme)

Point de la surface du globe situé à la verticale du foyer d'un séisme.

Faïlle

Fracture de l'écorce terrestre, provoquée par un glissement relatif de ses bords.

Foyer (d'un séisme)

Lieu de l'écorce terrestre où est amorcée la rupture des roches qui est à l'origine du tremblement de terre. Il est également appelé « hypocentre ».

Hyperstaticité

Degré de redondance des éléments structuraux et de leurs liaisons. La redondance permet d'assurer la résistance mécanique de la structure principale malgré la rupture de certains de ses éléments.

Intensité macrosismique (d'un séisme)

Importance des effets sur l'homme, les constructions et l'environnement, observés sur un site donné. Étant donné que les effets sismiques diminuent avec la distance à l'épicentre, l'intensité épiscopentrale est en général la plus élevée. L'intensité est déterminée par référence à une échelle conventionnelle dite « échelle macrosismique d'intensité » (voir ce terme).

Isolateur parasismique

Appui spécial placé entre une structure (ou un équipement) et ses fondations pour réduire l'amplitude des déformations qu'elle subit lors d'un séisme. Les secousses du sol ne sont transmises à l'ouvrage que partiellement.

Limite d'élasticité ou limite élastique

Intensité de la contrainte (voir ce terme) à laquelle se produit la rupture des matériaux fragiles ou au-delà de laquelle apparaissent des déformations irréversibles des matériaux ductiles (non fragiles).

Magnitude d'un séisme

Mesure de la puissance du séisme considérée à son foyer. Elle est généralement calculée à partir de l'amplitude des secousses du sol et augmente avec l'étendue de la rupture de la faille qui a déclenché le séisme. Dans les médias, elle est en général appelée « degré sur l'échelle de Richter ».

Ossature

Structure dont les éléments verticaux sont constitués de poteaux par opposition aux murs ou voiles.

Ossature articulée

Ossature dont les poteaux ne sont pas liés rigidement à la fondation ni aux poutres. De tels poteaux ne résistent pas seuls à une charge horizontale significative, ils doivent être contreventés.

Période propre d'oscillation

Période à laquelle oscille librement un bâtiment ou un sol dès l'arrêt des oscillations imposées et jusqu'à l'amortissement complet du mouvement.

Portique

Structure composée de poteaux et de poutres rigidement liés ensemble. L'angle qu'ils forment est donc conservé même lorsqu'ils sont déformés sous l'action de charges. Par opposition, les poteaux et les poutres articulés, dont l'angle peut varier lors des déformations, forment des cadres non rigides.

Résonance (d'un bâtiment avec le sol)

Oscillation en phase d'un bâtiment et de son sol d'assise. La résonance a pour conséquence une importante et rapide augmentation de l'amplitude des oscillations. Il s'agit d'un phénomène très destructeur.

Risque sismique

Probabilité, pour une période de référence, de pertes de biens, d'activités de production et de vies humaines, exprimée en coût ou en pourcentage. Il peut être évalué pour un ouvrage, une commune ou une région.

Rotule plastique

Zone plastifiée d'un élément de structure (poteau, poutre, voile...). Au-delà d'un seuil de sollicitation, une telle zone se comporte comme une rotule mécanique, autorisant la rotation sur son axe des autres parties de l'élément.

Rupture ductile

Rupture précédée de déformations plastiques notables.

Rupture fragile

Rupture soudaine et quasi instantanée.

Séisme

Secousse plus ou moins violente du sol, due le plus souvent à la rupture d'une faille, activée par les lents mouvements tectoniques qui animent en permanence la croûte terrestre. Cette rupture émet des ondes qui, en se propageant, font vibrer le sol horizontalement et verticalement.

Zonage sismique

Division d'un territoire en zones en fonction de sa sismicité. On distingue le « zonage physique » dont les limites des zones sont déterminées en fonction de l'aléa sismique, et le « zonage réglementaire », issu du zonage physique, dont les limites suivent le découpage administratif du territoire en communes.

Zone critique

Endroit d'une structure où sont principalement concentrées les sollicitations d'origine sismique. Au-delà de la limite d'élasticité, la zone aura un comportement ductile (voir « Ductilité ») ou subira une rupture fragile, qui est à éviter.



Chapitre

10

Annexe

Répartition des communes
en zones de sismicité
(décret n° 2010-1255
du 22 octobre 2010)

Les communes sont réparties entre les cinq zones de sismicité définies à l'article R.563-4 du code de l'Environnement conformément à la liste ci-après. L'appartenance d'un site donné à une zone sismique est déterminée par l'appartenance de ce site à une commune au découpage administratif valable le 1^{er} janvier 2008, quelles que puissent être les modifications ultérieures de découpage.

- AIN tout le département zone de sismicité Modérée sauf
 - les communes de Massignieu-de-Rives, Murs-et-Gélignieux, Nattages, Parves, Peyrieu : zone de sismicité Moyenne
 - les cantons de Bâgé-le-Châtel, Châtillon-sur-Chalaronne, Miribel, Montrevel-en-Bresse, Pont-de-Vaux, Pont-de-Veyle, Reyrieux, Saint-Trivier-de-Courtes, Saint-Trivier-sur-Moignans, Thoissey, Trévoux, Villars-les-Dombes : zone de sismicité Faible
 - les communes de Buellas, Montcet, Le Montellier, Montluel, Montracol, Le Plantay, Polliat, Saint-André-sur-Vieux-Jonc, Saint-Denis-les-Bourg, Sainte-Croix, Saint-Rémy, Vandeins : zone de sismicité Faible
- AISNE tout le département zone de sismicité Très faible sauf
 - les cantons de La Capelle, Hirson, Le Nouvion-en-Thiérache, Wassigny : zone de sismicité Faible
 - les communes de Aisonville-et-Bernoville, Any-Martin-Rieux, Aubencheul-aux-Bois, Aubenton, Autreppe, Beaume, Beaufort, Becquigny, Bellicourt, Besmont, Bohain-en-Vermandois, Bony, La Bouteille, Brancourt-le-Grand, Le Catelet, Estrées, Fresnoy-le-Grand, Gouy, Hargicourt, Iron, Joncourt, Landouzy-la-Ville, Lava-querresse, Lempire, Lesquielles-Saint-Germain, Leuze, Logny-lès-Aubenton, Malzy, Martigny, Monceau-sur-Oise, Montbrehain, Nauroy, Prémont, Ramicourt, Saint-Algis, Seboncourt, Serain, Vadencourt, Vendhuile, Villers-les-Guise : zone de sismicité Faible
- ALLIER tout le département zone de sismicité Faible sauf
 - le canton de Gannat : zone de sismicité Modérée
 - les communes de Brugheas, Charroux, Chouigny, Cognat-Lyonne, Ebreuil, Escuroles, Espinasse-Vozelle, Lalizolle, Mariol, Nades, Naves, Saint-Germain-de-Salles, Serbannes, Sussat, Valignat, Veauce, Vicq : zone de sismicité Modérée
- ALPES-DE-HAUTE-PROVENCE tout le département zone de sismicité Moyenne sauf
 - les cantons de Banon, Noyers-sur-Jabron : zone de sismicité Modérée
 - les communes de Allemagne-en-Provence, Aubenas-Alpes, Bras-d'Asse, Le Caire, Le Chaffaut-Saint-Jurson, Châteauredon, Claret, Curbans, Esparron-de-Verdon, Estoublon, Faucon-du-Caire, Lardières, Limans, Majastres, Melve, Mézel, Mison, Montagnac-Montpezat, La Motte-du-Caire, Moustiers-Sainte-Marie, Ongles, Oppedette, Puimoisson, Quinson, Riez, Roumoules, Sainte-Croix-à-Lauze, Sainte-Croix-du-Verdon, Saint-Etienne-les-Orgues, Saint-Jeannet, Saint-Julien-d'Asse, Saint-Jurs, Saint-Laurent-du-Verdon, Saint-Martin-de-Brômes, Sigoyer, Thèze, Vachères, Vaumeilh, Venterol : zone de sismicité Modérée

- HAUTES-ALPES tout le département zone de sismicité Moyenne sauf
 - les cantons de Barillonnette, Gap-Campagne, Gap-Centre, Gap-Nord-Est, Gap-Nord-Ouest, Gap-Sud-Est, Gap-Sud-Ouest, La Grave, Saint-Étienne-en-Dévoluy, Saint-Firmin, Tallard : zone de sismicité Modérée
 - les communes de Aspres-sur-Buëch, Bénévent-et-Charbillac, Buissard, Chabottes, Châteauneuf-d'Oze, Les Costes, La Fare-en-Champsaur, Forest-Saint-Julien, Furmeyer, Les Infournas, Laye, Lazer, Monétier-Allémont, Montmaur, La Motte-en-Champsaur, Le Noyer, Le Poët, Poligny, Ribiers, La Rochette, Saint-Auban-d'Oze, Saint-Bonnet-en-Champsaur, Saint-Eusèbe-en-Champsaur, Saint-Julien-en-Beauchêne, Saint-Julien-en-Champsaur, Saint-Laurent-du-Cros, Saint-Michel-de-Chaillol, Le Saix, Upaix, Ventavon : zone de sismicité Modérée
 - les cantons de Orpierre, Rosans, Serres : zone de sismicité Faible
 - les communes de Antonaves, Aspremont, Barret-sur-Méouge, La Beaume, Chabestan, Châteauneuf-de-Chabre, Eourres, Eyguians, La Faurie, La Haute-Beaume, Larnage-Montéglin, Montbrand, Oze, Saint-Pierre-Avez, Saint-Pierre-d'Argençon, Salérans : zone de sismicité Faible
- ALPES-MARITIMES tout le département Moyenne sauf
 - les cantons de Antibes-Biot, Antibes-Centre, Le Bar-sur-Loup, Cannes-Centre, Cannes-Est, Le Cannet, Grasse-Nord, Grasse-Sud, Mougins, Saint-Vallier-de-Thiery, Vallauris-Antibes-Ouest : zone de sismicité Modérée
 - les communes de Cannes, Mandelieu-la-Napoule : zone de sismicité Modérée
 - la commune de Théoule-sur-Mer : zone de sismicité Faible
- ARDECHE tout le département zone de sismicité Faible sauf
 - les cantons de Bourg-Saint-Andéol, Chomérac, Rochemaure, Saint-Péray, Tournon-sur-Rhône, Vallon-Pont-d'Arc, Villeneuve-de-Berg, Viviers : zone de sismicité Modérée
 - les communes de Alissas, Andance, Ardoix, Beauchastel, Beaulieu, Boffres, Boggy, Bozas, Champagne, Charmes-sur-Rhône, Charnas, Châteauneuf-de-Vernoux, Chauzon, Colombier-le-Cardinal, Colombier-le-Vieux, Coux, Le Crestet, Davézieux, Dunière-sur-Eyrieux, Félines, Flaviac, Freyssenet, Gilhac-et-Bruzac, Gilhoc-sur-Ormèze, Grospièrres, Labeaume, Limony, Lyas, Peaugres, Peyraud, Privas, Quintenas, Rompon, Saint-Alban-Aurillolles, Saint-André-de-Cruzières, Saint-Barthélemy-Grozon, Saint-Cierge-la-Serre, Saint-Cyr, Saint-Désirat, Saint-Etienne-de-Valoux, Saint-Fortunat-sur-Eyrieux, Saint-Georges-les-Bains, Saint-Jeure-d'Ay, Saint-Julien-

le-Roux, Saint-Laurent-du-Pape, Saint-Paul-le-Jeune, Saint-Priest, Saint-Romain-d'Ay, Saint-Sauveur-de-Cruzières, Saint-Victor, Saint-Vincent-de-Durfort, Serrières, Talencieux, Thorrenc, Vernosc-les-Annonay, Vernoux-en-Vivarais, Veyras, La Voulte-sur-Rhône : zone de sismicité Modérée

• ARDENNES tout le département zone de sismicité Très faible sauf

– les cantons de Charleville-Centre, Charleville-La Houillère, Fumay, Givet, Monthermé, Nouzonville, Renwez, Revin, Rocroi, Signy-le-Petit, Villers-Semeuse : zone de sismicité Faible

– les communes de Antheny, Aouste, Belval, Bosseval-et-Briancourt, Bossus-les-Rumigny, Cernion, Champlin, La Chapelle, Charleville-Mézières, Donchery, L'Echelle, Estrebay, Flaignes-Havys, Fleigneux, Floing, Francheval, Girondelle, Givonne, Glaire, Hannappes, Illy, Marby, Prez, Prix-les-Mézières, Rouvroy-sur-Audry, Rumigny, Saint-Menges, Sury, Villers-Cernay, Vrigne-aux-Bois, Warcoq : zone de sismicité Faible

• ARIEGE tout le département zone de sismicité Modérée sauf

– les communes de Antras, Aston, Aulus-les-Bains, Auzat, Ax-les-Thermes, Bethmale, Bonac-Irazein, Les Bordes-sur-Lez, Couflens, Gestières, L'Hospitalet-Près-l'Andorre, Lercoul, Luzenac, Mérens-les-Vals, Orgeix, Orlu, Perles-et-Castelet, Saint-Lary, Savignac-les-Ormeaux, Seix, Sentein, Siguer, Ustou : zone de sismicité Moyenne

– les cantons de Le Fossat, Pamiers-Est, Pamiers-Ouest, Saverdun : zone de sismicité Faible

– les communes de Artix, La Bastide-de-Besplas, La Bastide-de-Bousignac, Belloc, Besset, Les Bordes-sur-Arize, Calzan, Camon, Campagne-sur-Arize, Castex, Cazals-des-Bayles, Coussa, Coutens, Daumazan-sur-Arize, Fabas, Fornex, Lagarde, Lapenne, Loubaut, Malegoude, Manses, Méras, Mérigon, Mirepoix, Montégut-Plantaurel, Montfa, Moulin-Neuf, Rieucros, Rieux-de-Pelleport, Roumengoux, Sabarat, Saint-Bauzeil, Sainte-Croix-Volvestre, Sainte-Foi, Saint-Félix-de-Rieutord, Saint-Félix-de-Tournefort, Saint-Julien-de-Gras-Capou, Saint-Quentin-la-Tour, Teilhet, Thouars-sur-Arize, Tourtrol, Troye-d'Ariège, Vals, Varilhes, Verniolle, Vira, Viviès : zone de sismicité Faible

• AUBE tout le département zone de sismicité Très faible

• AUDE tout le département zone de sismicité Faible sauf

– les cantons de Alzonne, Carcassonne 2e Canton-Nord, Carcassonne 2e Canton-Sud, Carcassonne 3e Canton, Castelnaudary-Nord, Castelnaudary-Sud, Conques-sur-Orbiel, Mas-Cabardès, Saissac, Salles-sur-l'Hers : zone de sismicité Très faible

– les communes de Alairac, Arzens, Berriac, Bouilhonnac, Bram, Cabrespine, Carcassonne, Castans, Caunes-Minervois, Citou, Fanjeaux, Fonters-du-Razès, La Force, Laurac, Laure-Minervois, Lavalette, Lespinassière, Molandier, Montréal, Peyrefitte-sur-l'Hers, Peyriac-Minervois, Trausse, Villasavary, Villedubert, Villeneuve-Minervois, Villesisclé : zone de sismicité Très faible

– les cantons de Axat, Belcaire, Quillan : zone de sismicité Modérée

– les communes de Antugnac, Bugarach, Camps-sur-l'Agly, Cassaignes, Chalabre, Couiza, Coustaussa, Cubières-sur-Cinoble, Cucugnan, Duilhac-sous-Peyrepertuse, Festes-et-Saint-André, Fourtou, Montazels, Padern, Paziols, Puivert, Rennes-le-Château, Rennes-les-Bains, Rivel, Rouffiac-des-Corbières, Sainte-Colombe-sur-l'Hers, Saint-Jean-de-Paracol, La Serpent,

Serres, Sougraigne, Soulatgé, Tuchan, Villefort : zone de sismicité Modérée

• AVEYRON tout le département zone de sismicité Faible sauf

– les cantons de Belmont-sur-Rance, Camarès, Capdenac-Gare, Cornus, Montbazens, Najac, Nauccelle, Réquista, Rieupeyroux, Saint-Affrique, Saint-Rome-de-Tarn, Saint-Sernin-sur-Rance, La Salvetat-Peyralès, Villefranche-de-Rouergue, Villeneuve : zone de sismicité Très faible

– les communes de Alrance, Anglars-Saint-Félix, Aubin, Auriac-Lagast, Baraqueville, Boisse-Penchat, Boussac, Camboulazet, Cassagnes-Bégonhès, Castanet, Colombières, La Couvertourade, Decazeville, Flagnac, Gramond, Livinhac-le-Haut, Pradinas, Rignac, Sainte-Juliette-sur-Viaur, Saint-Parthem, Saint-Santin, Salmiech, Sauveterre-de-Rouergue, Viala-du-Tarn, Villefranche-de-Panat, Viviez : zone de sismicité Très faible

• BOUCHES-DU-RHONE tout le département zone de sismicité Modérée sauf

– les cantons de Lambesc, Pélissanne, Peyrolles-en-Provence, Salon-de-Provence : zone de sismicité Moyenne

– les communes de Aix-en-Provence, Alleins, Eguilles, Eyguières, Lamanon, Mallemort, Saint-Marc-Jaumegarde, Sénas, Venelles, Vernègues : zone de sismicité Moyenne

– les cantons de Allauch, Aubagne, La Ciotat, Port-Saint-Louis-du-Rhône, Roquevaire : zone de sismicité Faible

– les communes de Arles, Fuveau, Marseille, Mimet, Peynier, Puylobier, Rousset, Saintes-Maries-de-la-Mer, Trets : zone de sismicité Faible

• CALVADOS tout le département zone de sismicité Faible sauf

– les cantons de Blangy-le-Château, Cambremer, Douvres-la-Délivrande, Dozulé, Honfleur, Lisieux 1er Canton, Lisieux 2e Canton, Lisieux 3e Canton, Orbec, Pont-l'Évêque, Trouville-sur-Mer : zone de sismicité Très faible

– les communes de Amfreville, Auquainville, Les Authieux-Papion, Bavent, Bellou, Bénouville, Biéville-Quétiéville, Bréville-Les-Monts, Cabourg, Castillon-en-Auge, Cheffreville-Tonnencourt, Cléville, Colleville-Montgomery, Coupesarte, Courseulles-sur-Mer, Crèvecœur-en-Auge, Escoville, Fervaques, Gonnevilleneuve-en-Auge, Grandchamp-le-Château, Hérouvillette, Janville, Lécaude, Livarot, Merville-Franceville-Plage, Méry-Corbon, Le Mesnil-Durand, Le Mesnil-Germain, Le Mesnil-Mauger, Monteille, Les Moutiers-Hubert, Notre-Dame-de-Courson, Notre-Dame-de-Livaye, Ouistreham, Périers-sur-le-Dan, Petiville, Ranville, Saint-Aubin-d'Arquenay, Sainte-Marguerite-des-Loges, Saint-Julien-le-Faucon, Saint-Laurent-du-Mont, Saint-Loup-de-Fribois, Saint-Martin-du-Mesnil-Oury, Saint-Michel-de-Livet, Saint-Ouen-du-Mesnil-Oger, Saint-Ouen-le-Houx, Saint-Pierre-du-Jonquet, Sallenelles, Sannerville, Touffréville, Troarn, Varaville, Vieux-Pont-en-Auge : zone de sismicité Très faible

• CANTAL tout le département zone de sismicité Faible sauf

– les cantons de Jussac, Laroquebrou, Maurs, Pleaux : zone de sismicité Très faible

– les communes de Arches, Bassignac, Besse, Cayrols, Chalignac, Champagnac, Drugeac, Freix-Anglards, Jaleyrac, Marcolès, Mauriac, Méallet, Omps, Parlan, Pers, Le Rouget, Roumégoux, Saint-Cernin, Saint-Chamant, Saint-Cirgues-de-Malbert, Saint-Ilde, Saint-Mamet-la-Salvetat, Saint-Martin-Valmeroux, Saint-Paul-

des-Landes, Saint-Pierre, Saint-Saury, Salins, Sansac-de-Marmiesse, La Séglassière, Sourniac, Veyrières, Le Vigeon, Vitrac, Ytrac : zone de sismicité Très faible

• CHARENTE tout le département zone de sismicité Faible sauf

– les cantons de Aigre, Cognac-Nord, Gond-Pontouvre, Hiersac, Jarnac, Mansle, Rouillac, Saint-Amant-de-Boixe, Villefagnan : zone de sismicité Modérée

– les communes de Les Adjots, Agris, Angeac-Charente, Barro, Beaulieu-sur-Sonnette, Bioussac, Bourg-Charente, Brie, Chassiecq, Châteaubernard, Cognac, Condac, Coulgens, Couture, Fléac, Gensac-la-Pallue, Gondeville, Graves-Saint-Amant, Jauldes, Javrezac, Louzac-Saint-André, Mainxe, Merpins, Mesnac, Mosnac, Nanteuil-en-Vallée, Les Pins, Poursac, La Rochette, Ruelle-sur-Touvre, Ruffec, Saint-Georges, Saint-Gourson, Saint-Laurent-de-Cognac, Saint-Mary, Saint-Même-les-Carrières, Saint-Simeux, Saint-Simon, Saint-Sulpice-de-Ruffec, Segonzac, Taizé-Aizie, Verteuil-sur-Charente, Vibrac, Villegats : zone de sismicité Modérée

• CHARENTE-MARITIME tout le département zone de sismicité Modérée sauf

– les cantons de Archiac, Cozes, Gémozac, Jonzac, Mirambeau, Montendre, Montguyon, Montlieu-la-Garde, Pons, Royan-Est, Royan-Ouest, Saint-Genis-de-Saintonge, Saujon : zone de sismicité Faible

– les communes de Chermignac, Colombiers, Courcoury, Les Essards, Les Gonds, La Jard, Nieul-les-Saintes, Pessines, Pont-l'Abbé-d'Arnoult, Préguillac, Sainte-Gemme, Sainte-Radegonde, Saintes, Saint-Georges-des-Coteaux, Saint-Porchaire, Saint-Sulpice-d'Arnoult, Soulignonne, Thénac, Varzay : zone de sismicité Faible

• CHER tout le département zone de sismicité Très faible sauf

– les cantons de Les Aix-d'Angillon, Baugy, Bourges 1er Canton, Bourges 2e Canton, Bourges 3e Canton, Bourges 4e Canton, Bourges 5e Canton, Charenton-du-Cher, Chârost, Châteaumeillant, Châteauneuf-sur-Cher, Le Châtelet, Dun-sur-Auron, Graçay, Henrichemont, Levet, Lignières, Lury-sur-Arnon, Mehun-sur-Yèvre, Nérondes, Saint-Amand-Montrond, Saint-Doulchard, Saint-Martin-d'Auxigny, Sancoins, Saulzais-le-Potier, Vierzon 1er Canton : zone de sismicité Faible

– les communes de Apremont-sur-Allier, Bué, La Chapelle-Hugon, Charentonnay, Chaumoux-Marcilly, Le Chautay, Couy, Crézancy-en-Sancerre, Cuffy, Etréchy, Feux, Gardefort, Garigny, Germigny-l'Exempt, Groises, La Guerche-sur-l'Aubois, Jalognes, Lugny-Champagne, Massay, Menetou-Râtel, Méry-ès-Bois, Méry-sur-Cher, Le Noyer, Précy, Saint-Hilaire-de-Court, Saint-Laurent, Sancergues, Sens-Beaujeu, Sévry, Thénioux, Tarteron, Veaugues, Vierzon, Vignoux-sur-Barangeon, Vinon, Vouzeron : zone de sismicité Faible

• CORREZE tout le département zone de sismicité Très faible

• COTE-D'OR tout le département zone de sismicité Très faible sauf

– les cantons de Auxonne, Beaune-Nord, Beaune-Sud, Genlis, Nolay, Nuits-Saint-Georges, Pontailler-sur-Saône, Saint-Jean-de-Losne, Seurre : zone de sismicité Faible

– les communes de Antigny-la-Ville, Arc-sur-Tille, Aubaine, Barges, Beaumont-sur-Vingeanne, Belleneuve, Bessey-en-Chaume, Bessey-la-Cour, Bézouotte, Blagny-sur-Vingeanne, Bligny-sur-Ouche, Bressey-sur-Tille, Broindon, Chambolle-Musigny, Champagne-sur-Vingeanne, Champignolles, Charmes, Cheuge, Chevannes, Collonges-les-Bévy, Corcelles-les-Cîteaux, Crimolois, Cuiserey, Curtil-Vergy, Cussy-la-Colonne, Ecutigny, Epernay-sous-Gevrey, Féney, Jancigny, Lacanche, Licey-sur-Vingeanne, Lusigny-sur-Ouche, Maligny, Messanges, Mirebeau-sur-Bèze, Montceau-et-Echarnant, Montigny-Mornay-Villeneuve-sur-Vingeanne, Morey-Saint-Denis, Neuilly-les-Dijon, Noiron-sous-Gevrey, Oisilly, Pouilly-sur-Vingeanne, Remilly-sur-Tille, Renève, Saint-Philibert, Saint-Pierre-en-Vaux, Saint-Seine-sur-Vingeanne, Saulon-la-Chapelle, Saulon-la-Rue, Saussey, Savolles, Savouges, Segrois, Tanay, Thomirey, Trochères, Vic-des-Prés, Viévy : zone de sismicité Faible

• COTES-D'ARMOR tout le département zone de sismicité Faible

• CREUSE tout le département zone de sismicité Faible sauf

– les communes de Beissat, Clairavaux, La Courtine, Faux-la-Montagne, Féniers, Gentioux-Pigerolles, Gioux, Le Mas-d'Artige, Saint-Martial-le-Vieux, Saint-Oradoux-de-Chirouze, La Villiedieu : zone de sismicité Très faible

• DORDOGNE tout le département zone de sismicité Très faible sauf

– les cantons de Bussière-Badil, Mareuil, Nontron, Saint-Pardoux-la-Rivière, Verteillac : zone de sismicité Faible

– les communes de Allemans, Bourg-du-Bost, Cantillac, Celles, Chaleix, Champagnac-de-Belair, Chapdeuil, La Chapelle-Montmoreau, Chassaignes, Chenaud, Comberanche-et-Epeluche, La Coquille, Creyssac, Festalemps, La Gonterie-Boulouneix, Grand-Brassac, Parcou, Paussac-et-Saint-Vivien, Petit-Bersac, Ponteyraud, Puymangou, Quinsac, Ribéac, La Roche-Chalais, Saint-Antoine-Cumond, Saint-Aulaye, Saint-Jory-de-Chalais, Saint-Julien-de-Bourdeilles, Saint-Just, Saint-Martin-de-Fressengeas, Saint-Pancrace, Saint-Paul-la-Roche, Saint-Pierre-de-Frugie, Saint-Priest-les-Fougères, Saint-Privat-des-Prés, Saint-Vincent-Jalmoutiers, Villars, Villeteureix : zone de sismicité Faible

• DOUBS tout le département zone de sismicité Modérée sauf

– les communes de Abbéville, Badevel, Dampierre-les-Bois : zone de sismicité Moyenne

– le canton de Audeux : zone de sismicité Faible

– les communes de Bonnay, Châtillon-le-Duc, Chevroz, Cussey-sur-l'Ornon, Devecey, Geneuille, Grandfontaine, Routelle, Saint-Vit, Tallenay, Velesmes-Essarts : zone de sismicité Faible

• DROME tout le département zone de sismicité Modérée sauf

– les cantons de La Chapelle-en-Vercors, Saint-Jean-en-Royans : zone de sismicité Moyenne

– les communes de Barbières, La Baume-d'Hostun, Beauregard-Baret, Bésayes, Le Chaffal, Charpey, Châteaudouble, Combovin, Hostun, Jaillans, Ombèze, Peyrus, Plan-de-Baix, Rochefort-Samson, Saint-Andéol, Saint-Julien-en-Quint, Saint-Vincent-la-Commanderie :

zone de sismicité Moyenne

– le canton de Rémuzat : zone de sismicité Faible

– les communes de Arpavon, Aulan, Ballons, La Bâtie-des-Fonds, Beaumont-en-Diois, Beaurières, Bellecombe-Tarendol, Bellegarde-en-Diois, Bésignan, Boulc, Charens, Establet, Eygalayes, Izon-la-Bruisse, Jonchères, Laborel, Lachau, Lesches-en-Diois, Luc-en-Diois, Mévouillon, Mison, Montauban-sur-l'Ouvèze, Montguers, Montlaur-en-Diois, La Motte-Chalancon, Le Poët-en-Percip, Poyols, Les Prés, Rioms, La Roche-sur-le-Buis, La Rochette-du-Buis, Rottier, Saint-Auban-sur-l'Ouvèze, Saint-Dizier-en-Diois, Sainte-Euphémie-sur-Ouvèze, Sainte-Jalle, Saint-Sauveur-Gouvernet, Séderon, Valdrome, Val-Maravel, Vercoiran, Vers-sur-Méouge, Villebois-les-Pins, Villefranche-le-Château : zone de sismicité Faible

• EURE tout le département zone de sismicité Très faible

• EURE-ET-LOIR tout le département zone de sismicité Très faible

• FINISTÈRE tout le département zone de sismicité Faible

• CORSE-DU-SUD tout le département zone de sismicité Très faible

• HAUTE-CORSE tout le département zone de sismicité Très faible

• GARD tout le département zone de sismicité Faible sauf
– le canton de Aigues-Mortes : zone de sismicité Très faible

– les communes de Aimargues, Le Cailar, Saint-Gilles, Vauvert : zone de sismicité Très faible

– les cantons de Aramon, Bagnols-sur-Cèze, Barjac, Lussan, Pont-Saint-Esprit, Remoulins, Roquemaure, Uzès, Villeneuve-les-Avignon : zone de sismicité Modérée

– les communes de Allègre-les-Fumades, Baron, Beaucaire, Bezouze, Bouquet, Brouzet-les-Alès, Cabrières, Courry, Jonquières-Saint-Vincent, Lédenon, Les Mages, Meyrannes, Molières-sur-Cèze, Navacelles, Potelières, Poux, Redessan, Rousson, Saint-Ambroix, Saint-Brès, Saint-Denis, Saint-Gervasy, Saint-Julien-de-Cassagnas, Saint-Just-et-Vacquières, Saint-Victor-de-Malcap, Seynes, Vallabregues : zone de sismicité Modérée

• HAUTE-GARONNE tout le département zone de sismicité Très faible sauf

– les cantons de Bagnères-de-Luchon, Saint-Béat : zone de sismicité Moyenne

– les communes de Antichan-de-Frontignes, Arguenos, Bagiry, Frontignan-de-Comminges, Moncaup, Ore, Saint-Bertrand-de-Comminges, Sengouagnet : zone de sismicité Moyenne

– les cantons de Montréjeau, Saint-Gaudens : zone de sismicité Modérée

– les communes de Arbas, Arbon, Ardiège, Arnaud-Guilhem, Aspet, Aulon, Barbazan, Beauchalot, Belbèze-en-Comminges, Blajan, Cabanac-Cazaux, Cardeilhac, Cassagne, Castagnède, Castelbiague, Castillon-de-Saint-Martory, Cazaunous, Charlas, Chein-Dessus, Cier-de-Rivière, Couret, Encausse-les-Thermes, Escoulis, Estadens, Figarol, Fougaron, Franczal, Galié, Ganties, Génos, Gensac-de-Boulogne, Gourdan-Polignan, Herran, His, Huos, Izaut-de-l'Hôtel, Juzet-d'Izaut, Labroquère, Larroque, Latoue, Lespugue, Lestelle-de-Saint-Martory, Lourde, Luscan, Malvezie, Mane, Marsoulas, Martres-de-Rivière, Mazères-sur-Salat, Milhas, Montastruc-de-Salies, Mont-de-Galié, Montespan, Montgaillard-de-Salies, Montmaurin, Montsaunès, Nizan-

Gesse, Payssous, Pointis-de-Rivière, Portet-d'Aspet, Proupiary, Razecueillé, Rouède, Saint-Lary-Boujean, Saint-Loup-en-Comminges, Saint-Martory, Saint-Médard, Saint-Pé-d'Ardet, Saleich, Salies-du-Salat, Saman, Sarrecave, Sarremezan, Sauveterre-de-Comminges, Seilhan, Sèpx, Soueich, Touille, Urau, Valcabrère : zone de sismicité Modérée

– les cantons de Cazères, Le Fousseret, L'Isle-en-Dodon, Montesquieu-Volvestre, Rieux : zone de sismicité Faible

– les communes de Alan, Aurignac, Ausseing, Auzas, Bachas, Benque, Bois-de-la-Pierre, Boulogne-sur-Gesse, Boussan, Bouzin, Capens, Carbonne, Cassagnabère-Tournas, Castéra-Vignoles, Cazeneuve-Montaut, Ciadoux, Eoux, Escanecrabe, Esparron, Esperce, Le Fréchet, Gaillac-Toulza, Labastide-Clermont, Laffite-Toupière, Lautignac, Lunax, Mancieux, Marliac, Marquefave, Mondilhan, Monès, Montastruc-Savès, Montgaillard-sur-Save, Montgazin, Montoulieu-Saint-Bernard, Nénigan, Péguilhan, Peyrissas, Peyrouzet, Peyssies, Le Pin-Murelet, Roquefort-sur-Garonne, Saint-André, Saint-Elix-Séglan, Saint-Ferréol, Saint-Pé-Delbosc, Saint-Sulpice-sur-Lèze, Sajas, Samouillan, Savères, Terrebasse : zone de sismicité Faible

• GERS tout le département zone de sismicité Très faible sauf

– les communes de Barcugnan, Beccas, Betplan, Blousson-Sérian, Castex, Cazaux-Villecomtal, Cuélas, Duffort, Estampes, Haget, Laguian-Mazous, Malabat, Manas-Bastanous, Miélan, Montégut-Arros, Sarraguzan, Sembouès, Troncens, Villecomtal-sur-Arros : zone de sismicité Modérée

– les cantons de Mirande, Montesquiou, Plaisance, Riscle : zone de sismicité Faible

– les communes de Aignan, Arblade-le-Haut, Armentieux, Arrouède, Aujan-Mournède, Aussos, Aux-Aussat, Barran, Bellegarde, Betcave-Aguin, Bétous, Bézues-Bajon, Boucagnères, Bouzon-Gellenave, Cabas-Loumassès, Cadeillan, Callian, Castelnave, Cazaux-d'Anglès, Chélan, Durban, Esclassan-Labastide, Espaon, Faget-Abbatial, Fustérouau, Garravet, Gaujac, Gaujan, Le Houga, Juillac, Labarthe, Ladevèze-Rivière, Ladevèze-Ville, Lalanne-Arqué, Lamaguère, Lanne-Soubiran, Lasseube-Propre, Laveraët, Laymont, Loubédat, Lourties-Monbrun, Loussous-Débat, Lupiac, Luppé-Violles, Magnan, Manent-Montané, Marciac, Margouët-Meymes, Masseube, Meilhan, Mirannes, Monbardon, Moncorneil-Grazan, Monferran-Plavès, Montlaur-Bernet, Monlezun, Monpardiac, Montadet, Montaut, Mont-d'Astarac, Mont-de-Marrast, Montégut-Savès, Monties, Montpézat, Mormès, Nogaro, Orbessan, Ornézan, Pallanne, Panassac, Pellefigue, Perchède, Ponsan-Soubiran, Pouydraguin, Pouy-Loubrin, Puylausic, Ricourt, Sabaillan, Sabazan, Sadeillan, Saint-Arailles, Saint-Arroman, Saint-Blancard, Sainte-Aurence-Cazaux, Sainte-Dode, Saint-Elix, Saint-Grèide, Saint-Jean-le-Comtal, Saint-Justin, Saint-Lizier-du-Planté, Saint-Martin-d'Armagnac, Saint-Pierre-d'Aubézies, Samaran, Sansan, Sarcos, Sarragachies, Sauveterre, Scieurac-et-Flourès, Seissan, Sémézies-Cachan, Sère, Simorre, Sion, Sorbets, Tachaires, Termes-d'Armagnac, Tillac, Tourdun, Tournan, Traversères, Tudelle, Urgosse, Villefranche : zone de sismicité Faible

• GIRONDE tout le département zone de sismicité Très faible sauf

– les cantons de Bègles, Blanquefort, Blaye, Bordeaux 1er Canton, Bordeaux 2e Canton, Bordeaux 3e Canton, Bordeaux 4e Canton, Bordeaux 5e Canton, Bordeaux 6e Canton, Bordeaux 7e Canton, Bordeaux 8e Canton, Bourg, Le Bouscat, Carbon-Blanc, Cenon, Créon,

Floirac, Fronsac, Guîtres, Libourne, Lormont, Mérignac 1er Canton, Pessac 1er Canton, Pessac 2e Canton, Saint-André-de-Cubzac, Saint-Ciers-sur-Gironde, Saint-Savin, Talence, Villenave-d'Ornon : zone de sismicité Faible

– les communes de Abzac, Les Artigues-de-Lussac, Ayguemorte-les-Graves, Baron, Beautiran, Branne, Cadaujac, Camiac-et-Saint-Denis, Camps-sur-l'Isle, Canéjan, Capian, Chamadelle, Coutras, Dagnac, Dardenac, Les Eglisottes-et-Chalatures, Espiet, Faleyras, Le Fieu, Génissac, Gradignan, Grézillac, Guillac, Le Haillan, Isle-Saint-Georges, Labarde, Langoiran, Léognan, Lugaigac, Lussac, Margaux, Martillac, Mérignac, Montagne, Moulon, Néac, Nérigean, Les Peintures, Petit-Palais-et-Cornemps, Porchères, Saint-Christoly-Médoc, Saint-Christophe-de-Double, Saint-Germain-du-Puch, Saint-Médard-de-Guizières, Saint-Médard-d'Eyrans, Saint-Quentin-de-Baron, Saint-Sauveur-de-Puynormand, Soulac-sur-Mer, Le Taillan-Médoc, Talais, Targon, Tizac-de-Curton, Valeyrac, Le Verdon-sur-Mer : zone de sismicité Faible

• HERAULT tout le département zone de sismicité Faible sauf

– les cantons de Bédarieux, Lattes, Lunas, Olargues, Saint-Gervais-sur-Mare, Saint-Pons-de-Thomières, Salvétat-sur-Agout (La) : zone de sismicité Très faible

– les communes de Babeau-Bouldoux, Le Bosc, Cabrerolles, Candillargues, Cassagnoles, La Caunette, Caussiniojols, Le Caylar, Celles, Cessenon-sur-Orb, Le Cros, Félines-Minervois, Ferrals-les-Montagnes, Fos, Fozières, La Grande-Motte, Lansargues, Lauroux, La Livinière, Lodève, Marsillargues, Mauguio, Minerve, Olmet-et-Villecun, Pégaïrolles-de-l'Escalette, Pierrerue, Les Plans, Pujols, Prades-sur-Vernazobre, Le Puech, Les Rives, Roquessels, Saint-Chinian, Saint-Etienne-de-Gourgas, Saint-Félix-de-l'Héras, Saint-Jean-de-la-Blaquière, Saint-Michel, Saint-Nazaire-de-Ladarez, Saint-Nazaire-de-Pézan, Saint-Pierre-de-la-Fage, Saint-Privat, Siran, Soubès, Soumont, Usclas-du-Bosc : zone de sismicité Très faible

• ILLE-ET-VILAINE tout le département zone de sismicité Faible

• INDRE tout le département zone de sismicité Faible

• INDRE-ET-LOIRE tout le département zone de sismicité Faible sauf

– les cantons de Amboise, Château-Renault, Neuvy-le-Roi, Vouvray : zone de sismicité Très faible

– les communes de Beaumont-la-Ronce, Braye-sur-Maulne, Brèches, Cerelles, Charentilly, Château-la-Vallière, Couesmes, Mettray, Neuillé-Pont-Pierre, Rouziers-de-Touraine, Saint-Antoine-du-Rocher, Semblançay, Sonzay, Souvigné, Villiers-au-Bouin : zone de sismicité Très faible

– les communes de Abilly, Antogny le Tillac, Assay, Barrou, Braslou, Braye-sous-Faye, Champigny-sur-Veude, Chaveignes, Courcoué, Faye-la-Vineuse, Le Grand-Pressigny, La Guerche, Jaulnay, Luzé, Marçay, Marigny-Marmande, Pussigny, Razines, Richelieu : zone de sismicité Modérée

• ISERE tout le département zone de sismicité Modérée sauf

– les cantons de Allevard, Domène, Échirolles-Est, Échirolles-Ouest, Eybens, Fontaine-Sassenage, Fontaine-

Seyssinet, Goncelin, Grenoble 1er Canton, Grenoble 2e Canton, Grenoble 3e Canton, Grenoble 4e Canton, Grenoble 5e Canton, Grenoble 6e Canton, Meylan, Pont-en-Royans, Saint-Egrève, Saint-Ismier, Saint-Laurent-du-Pont, Saint-Martin-d'Hères-Nord, Saint-Martin-d'Hères-Sud, Le Touvet, Vif, Villard-de-Lans : zone de sismicité Moyenne

– les communes de L'Albenc, Beaulieu, Brié-et-Angonnes, La Buisse, Champagnier, Champ-sur-Drac, Chamrousse, Chantesse, Château-Bernard, Cognin-les-Gorges, Coublevie, Jarrrie, Malleval, Merlas, Miribel-Lanchâtre, Moirans, Montaud, Montchaboud, Monteynard, Notre-Dame-de-Commiers, Notre-Dame-de-l'Osier, Notre-Dame-de-Mésage, Poliénas, Pommiers-la-Placette, Le Pont-de-Beauvoisin, La Rivière, Romagnieu, Rovon, Saint-Albin-de-Vaulserre, Saint-Andéol, Saint-Aupre, Saint-Bueil, Saint-Etienne-de-Crossey, Saint-Geoire-en-Valdaine, Saint-Georges-de-Commiers, Saint-Gervais, Saint-Hilaire-du-Rosier, Saint-Jean-d'Avelanne, Saint-Jean-de-Moirans, Saint-Julien-de-Raz, Saint-Marcellin, Saint-Martin-de-la-Cluze, Saint-Martin-de-Vaulserre, Saint-Nicolas-de-Macherin, Saint-Pierre-de-Mésage, Saint-Quentin-sur-Isère, Saint-Sauveur, Saint-Vérand, Séchillienne, La Sône, Têche, Tullins, Vaulnaveys-le-Bas, Vaulnaveys-le-Haut, Velanne, Vinay, Vizille, Voiron, Voissant, Voreppe, Vourey : zone de sismicité Moyenne

• JURA tout le département zone de sismicité Modérée sauf

– les cantons de Chemin, Dole-Nord-Est, Dole-Sud-Ouest, Gendrey, Montmirey-le-Château, Rochefort-sur-Nenon : zone de sismicité Faible

– les communes de Asnans-Beauvoisin, Augerans, Balaiseaux, Bans, La Barre, Belmont, La Bretenière, Chainée-des-Coupsis, Chapelle-Voland, La Chassagne, Chaussin, Chêne-Bernard, Chêne-Sec, Dampierre, Le Deschaux, Les Deux-Fays, Les Essards-Taignevaux, Etrepigny, Evans, Fraisans, Gatey, Les Hays, La Loye, Monteplain, Neublans-Abergement, Orchamps, Our, Pleure, Plumont, Rahon, Rancho, Rans, Rye, Saint-Baraing, Salans, Séligny, Sergenaux, Sergenon, Souvans, Tassenières, La Vieille-Loye, Villers-Robert : zone de sismicité Faible

• LANDES tout le département zone de sismicité Très faible sauf

– les cantons de Amou, Peyrehorade, Pouillon, Saint-Martin-de-Seignax : zone de sismicité Modérée

– les communes de Arboucave, Bénésse-les-Dax, Bénésse-Maremne, Castelner, Cazalis, Clèdes, Clermont, Hagetmau, Heugas, Josse, Labastide-Chalosse, Labenne, Lacajunte, Lacrabe, Lauret, Mant, Miramont-Sensacq, Momuy, Monget, Monségur, Morganx, Orx, Ozourt, Peyre, Philondenx, Pimbo, Poudenx, Puyol-Cazalet, Saint-Cricq-Chalosse, Sainte-Marie-de-Gosse, Saint-Jean-de-Marsacq, Saint-Martin-de-Hinx, Saint-Vincent-de-Tyrosse, Samadet, Saubrigues, Siest : zone de sismicité Modérée

– les cantons de Aire-sur-l'Adour, Dax-Nord, Grenade-sur-l'Adour, Mugron, Saint-Sever : zone de sismicité Faible

– les communes de Angresse, Aubagnan, Audon, Azur, Bats, Bégaar, Benquet, Bretagne-de-Marsan, Campagne, Candresse, Capbreton, Carcarès-Sainte-Croix, Carcen-Ponson, Cassen, Castelnau-Tursan, Dax,

Gamarde-les-Bains, Garrey, Geaune, Gibret, Goos, Gousse, Gouts, Haut-Mauco, Hinx, Hontanx, Horsarrieu, Laluque, Lamothe, Léon, Lesgor, Le Leuy, Louer, Lourquen, Magescq, Mauries, Messanges, Montfort-en-Chalosse, Narrosse, Nousse, Oeyreluy, Onard, Payros-Cazautets, Pécorade, Pontonx-sur-l'Adour, Poyanne, Poyartin, Préchacq-les-Bains, Sainte-Colombe, Saint-Gein, Saint-Geours-d'Auribat, Saint-Geours-de-Maremne, Saint-Jean-de-Lier, Saint-Pandelon, Saubion, Saugnac-et-Cambran, Seignosse, Serres-Gaston, Serreslous-et-Arribans, Seyresse, Soorts-Hossegor, Sorbets, Sort-en-Chalosse, Souprosse, Soustons, Tartas, Tercis-les-Bains, Tosse, Urgons, Vicq-d'Auribat, Vieux-Boucau-les-Bains, Yzosse : zone de sismicité Faible

- LOIR-ET-CHER tout le département zone de sismicité Très faible sauf

- les communes de Angé, La Chapelle-Montmartin, Châteauneuf, Châtillon-sur-Cher, Couffy, Faverolles-sur-Cher, Maray, Mareuil-sur-Cher, Meusnes, Noyers-sur-Cher, Pouillé, Saint-Aignan, Saint-Georges-sur-Cher, Saint-Julien-de-Chédon, Saint-Julien-sur-Cher, Saint-Loup, Saint-Romain-sur-Cher, Seigy, Selles-sur-Cher, Thésée : zone de sismicité Faible

- LOIRE tout le département Faible sauf

- les communes de Bessey, La Chapelle-Villars, Chavanay, Chuyer, Lupé, Maclas, Malleval, Saint-Michel-sur-Rhône, Saint-Pierre-de-Boeuf, Vérin : zone de sismicité Modérée

- HAUTE-LOIRE tout le département zone de sismicité Faible sauf

- les communes de Auzon, Azérat, Bournoncle-Saint-Pierre, Chambezou, Chassignolles, Cohade, Frugerès-les-Mines, Lempdes-sur-Allagnon, Léotoing, Lortalanges, Sainte-Florine, Saint-Géron, Saint-Hilaire, Torsiac, Vergongheon, Vézézoux : zone de sismicité Modérée

- LOIRE-ATLANTIQUE tout le département zone de sismicité Modérée sauf

- les cantons de Châteaubriant, Derval, Guémené-Penfao, Moisdon-la-Rivière, Nozay, Riaillé, Rougé, Saint-Julien-de-Vouvantes, Saint-Mars-la-Jaille, Saint-Nicolas-de-Redon, Varades : zone de sismicité Faible

- les communes de Ancenis, Anetz, Blain, Le Gâvre, Guenrouet, Mésanger, Mouzeil, Nort-sur-Erdre, Pouillé-les-Côteaux, Quilly, La Roche-Blanche, Saint-Géréon, Saint-Gildas-des-Bois, Saint-Herblon, Sévérac, Les Touches : zone de sismicité Faible

- LOIRET tout le département zone de sismicité Très faible

- LOT tout le département zone de sismicité Très faible

- LOT-ET-GARONNE tout le département zone de sismicité Très faible

- LOZERE tout le département zone de sismicité Faible

- MAINE-ET-LOIRE tout le département zone de sismicité Faible sauf

- les cantons de Beaupréau, Champtoceaux, Chemillé, Cholet 1er Canton, Cholet 2e Canton, Cholet 3e Canton, Montfaucon-Montigné, Montrevault, Vihiers : zone de sismicité Modérée

- les communes de Antoigné, Beausse, Botz-en-Mauges, Bourgneuf-en-Mauges, Brigné, Brossay, Champ-sur-Layon, Chanzeaux, La Chapelle-Saint-Florent, Cizay-la-Madeleine, Concourson-sur-Layon, Doué-la-Fontaine, Epieds, Faveraye-Mâchelles, Louresse-Rochemenier, Martigné-Briand, Montreuil-

Bellay, Le Puy-Notre-Dame, Rablay-sur-Layon, Saint-Florent-le-Vieil, Saint-Georges-sur-Layon, Saint-Laurent-de-la-Plaine, Saint-Laurent-du-Mottay, Saint-Macaire-du-Bois, Thouarcé, Valanjou, Vaudelnay, Les Verchers-sur-Layon : zone de sismicité Modérée

- MANCHE tout le département zone de sismicité Faible

- MARNE tout le département zone de sismicité Très faible

- HAUTE-MARNE tout le département zone de sismicité Très faible sauf

- le canton de Laferté-sur-Amance : zone de sismicité Faible

- les communes de Aigremont, Arbigny-sous-Varennes, Belmont, Bourbonne-les-Bains, Champigny-sous-Varennes, Coiffy-le-Bas, Coiffy-le-Haut, Damrémont, Enfonville, Farincourt, Fayl-Billot, Fresnes-sur-Apance, Genevrières, Gilley, Laneuveille, Melay, Montcharvot, Poinson-lès-Fayl, Pressigny, Rougeux, Saulles, Savigny, Serqueux, Tornay, Valleroy, Voncecourt : zone de sismicité Faible

- MAYENNE tout le département zone de sismicité Faible

- MEURTHE-ET-MOSELLE tout le département zone de sismicité Très faible sauf

- les communes de Bionville, Raon-lès-Leau : zone de sismicité Modérée

- le canton de Cirey-sur-Vezouze : zone de sismicité Faible

- les communes de Ancerville, Angomont, Azeraillies, Baccarat, Badonviller, Barbas, Bertrichamps, Blâmont, Bréménil, Brouville, Deneuvre, Domèvre-sur-Vezouze, Essey-la-Côte, Fenneviller, Fontenoy-la-Joûte, Frémonville, Gélacourt, Giriviller, Glonville, Gogney, Hablainville, Halloville, Harbouey, Herbéviller, Lachapelle, Magnières, Matteux, Merviller, Mignéville, Montigny, Montreux, Neufmaisons, Neuville-lès-Badonviller, Nonhigny, Pettonville, Pexonne, Pierre-Percée, Réclonville, Reherrey, Repaix, Saint-Boingt, Sainte-Pôle, Saint-Maurice-aux-Forges, Saint-Rémy-aux-Bois, Thierville-sur-Meurthe, Vacqueville, Vallois, Vaxainville, Veney, Vennezey, Verdental : zone de sismicité Faible

- MEUSE tout le département zone de sismicité Très faible

- MORBIHAN tout le département zone de sismicité Faible

- MOSELLE tout le département zone de sismicité Très faible sauf

- les communes de Abreschviller, Arzviller, Baerenthal, Berling, Bitche, Bourscheid, Brouviller, Dabo, Danne-et-Quatre-Vents, Dannelbourg, Eguelshardt, Garrebou, Guntzviller, Hangviller, Harreberg, Haselbourg, Henridorff, Hérange, Hommert, Hulthehouse, Lutzelbourg, Mittelbronn, Mouterhouse, Phalsbourg, Philippsbourg, Plaine-de-Walsch, Roppeviller, Saint-Jean-Kourtzerode, Saint-Louis, Saint-Quirin, Sturzelbronn, Troisfontaines, Turquestein-Blancrupt, Vesheim, Vilsberg, Walscheid, Waltembourg, Wintersbourg, Zilling : zone de sismicité Modérée

- les cantons de Rohrbach-lès-Bitche, Volmunster : zone de sismicité Faible

- les communes de Aspach, Barchain, Bébing, Berthelming, Bettborn, Bickenholtz, Bliesbruck, Brouderdorff, Buhl-Lorraine, Diane-Capelle, Dolving, Fénétrange, Fleisheim, Foulcrey, Fraquelfing, Goetzenbruck, Gondrexange, Gosselming, Hanviller, Hartzviller, Haspelschiedt, Hattigny, Haut-Clocher,

Hellering-lès-Fénétrange, Héming, Hermelange, Hertzling, Hesse, Hilbesheim, Hommarting, Ibigny, Imling, Kerprich-aux-Bois, Lafrimbole, Landange, Laneuveville-lès-Lorquin, Langatte, Lemberg, Liederschiedt, Lixheim, Lorquin, Meisenthal, Métairies-Saint-Quirin, Metting, Neufmoulins, Niderhoff, Niderviller, Niederstinzeln, Nitting, Oberstinzeln, Postroff, Réding, Reyersviller, Richeval, Romelfing, Saint-Georges, Saint-Jean-de-Bassel, Saint-Louis-lès-Bitche, Sarraltroff, Sarrebourg, Schalbach, Schneckenbusch, Schorbach, Vasperviller, Veckersviller, Vieux-Lixheim, Voyer, Wiesviller, Wittring, Woelfling-lès-Sarreguemines, Xouaxange : zone de sismicité Faible

• NIEVRE tout le département zone de sismicité Très faible sauf

– les communes de Azy-le-Vif, Chantenay-Saint-Imbert, Dornes, Fleury-sur-Loire, Gimouille, Langeron, Livry, Lucenay-lès-Aix, Luzay, Magny-Cours, Mars-sur-Allier, Neuville-lès-Decize, Saincaize-Meauce, Saint-Parize-en-Viry, Saint-Parize-le-Châtel, Saint-Pierre-le-Moûtier, Saint-Seine, Tazilly, Ternant, Toury-Lucry, Toury-sur-Jour, Tresnay : zone de sismicité Faible

• NORD tout le département zone de sismicité Modérée sauf

– les cantons de Armentières, Bailleul-Nord-Est, Bailleul-Sud-Ouest, Bassée (La), Bergues, Bourbourg, Cassel, Coudekerque-Branche, Cysoing, Douai-Nord, Douai-Nord-Est, Douai-Sud-Ouest, Dunkerque-Est, Dunkerque-Ouest, Grande-Synthe, Gravelines, Haubourdin, Hazebrouck-Nord, Hazebrouck-Sud, Hondschoote, Lannoy, Lille-Centre, Lille-Est, Lille-Nord, Lille-Nord-Est, Lille-Ouest, Lille-Sud, Lille-Sud-Est, Lille-Sud-Ouest, Lomme, Marcq-en-Barœul, Merville, Orchies, Pont-à-Marcq, Quesnoy-sur-Deûle, Roubaix-Centre, Roubaix-Est, Roubaix-Nord, Roubaix-Ouest, Seclin-Nord, Seclin-Sud, Steenvoorde, Tourcoing-Nord, Tourcoing-Nord-Est, Tourcoing-Sud, Villeneuve-d'Ascq-Nord, Villeneuve-d'Ascq-Sud, Wormhout : zone de sismicité Faible

– les communes de Anneux, Anor, Arleux, Baives, Banteux, Bantouzelle, Boursies, Bouvignies, Brillon, Brunémont, Bugnicourt, Busigny, Cantin, Clary, Dechy, Dehéries, Doignies, Douai, Ecaillon, Elincourt, Erchin, Estrées, Etroeuungt, Férin, Féron, Flesquières, Flines-lès-Mortagne, Floyon, Fourmies, Glageon, Goeulzin, Gonnelieu, Gouzeaucourt, Guesnain, Hamel, Honnechy, Honnecourt-sur-Escaut, Larouillies, Lecelles, Lécluse, Lewarde, Loffre, Malincourt, Marchiennes, Maretz, Masny, Maulde, Mazinghien, Moeuvres, Montigny-en-Ostrevent, Mortagne-du-Nord, Moustier-en-Fagne, Ohain, Pecquencourt, Rainsars, Rejet-de-Beaulieu, Ribécourt-la-Tour, Rieulay, Roucourt, Les Rues-des-Vignes, Rumegies, Sains-du-Nord, Saint-Souplet, Sars-et-Rosières, Thun-Saint-Amand, Tilloy-lez-Marchiennes, Trélon, Villers-au-Tertre, Villers-Guislain, Villers-Outréaux, Villers-Plouich, Vred, Wallers-Trélon, Wignehies : zone de sismicité Faible

• OISE tout le département zone de sismicité Très faible

• ORNE tout le département zone de sismicité Faible sauf

– les cantons de Aigle-Est (L), Aigle-Ouest (L), Longny-au-Perche, Nocé, Rémalard, Theil (Le), Tourouvre : zone de sismicité Très faible

– les communes de Anceins, Appenai-sous-Bellême, Les

Aspres, Auguaise, Avernois-Saint-Gourgon, Bellême, Bocquencé, Bonnefoi, Bonsmoulins, Le Bosc-Renoult, Brethel, Canapville, La Chapelle-Montligeon, La Chapelle-Souëf, La Chapelle-Viel, Corbon, Courgeon, Couvains, Dame-Marie, Feings, La Ferrière-au-Doyen, La Ferté-Frênel, Gauville, Les Genettes, Glos-la-Ferrière, La Gonfrrière, Heugon, Igé, Mauves-sur-Huisne, Le Ménil-Bérard, Monnai, Pouvrail, Saint-Aquilin-de-Corbion, Saint-Aubin-de-Bonneval, Saint-Evroult-Notre-Dame-du-Bois, Saint-Germain-d'Aunay, Saint-Hilaire-sur-Risle, Saint-Mard-de-Réno, Saint-Nicolas-de-Sommaire, Saint-Ouen-de-la-Cour, Le Sap, Sérigny, Soligny-la-Trappe, Villers-en-Ouche, Villiers-sous-Mortagne : zone de sismicité Très faible

• PAS-DE-CALAIS tout le département zone de sismicité Faible sauf

– les cantons de Auxi-le-Château, Berck, Hesdin, Montreuil, Pas-en-Artois : zone de sismicité Très faible

– les communes de Ablainzevelle, Achiet-le-Petit, Aix-en-Issart, Alette, Attin, Auchy-lès-Hesdin, Bailleulmont, Bailleulval, Barly, Bavincourt, Beaudricourt, Beaufort-Blavincourt, Beaurainville, Beauvois, Berlencourt-le-Cauroy, Berles-au-Bois, Beutin, Blangerval-Blangermont, Boisjean, Bréxent-Enocq, Brimeux, Bucquoy, Buire-le-Sec, Buneville, Camiers, Campagne-lès-Hesdin, Canettemont, La Cauchie, Coulemont, Couturelle, Croisette, Dannes, Denier, Douchy-lès-Ayette, Douriez, Ecoivres, Estrée, Estréelles, Estrée-Wamin, Etaples, Fillières, Fiers, Framcourt, Frency, Fresnoy, Fressin, Galametz, Gouy-en-Artois, Gouy-Saint-André, Grand-Rullecourt, Gréville, Grigny, Guinecourt, Hautecloque, Héricourt, La Herlière, Herlincourt, Herlin-le-Sec, Hesmond, Houvin-Houvineul, Humières, Incourt, Inxent, Ivergny, Lebiez, Lefaux, Lespinoy, Liencourt, Ligny-Thilloy, Linzeux, Loison-sur-Créquoise, Longwilliers, Magnicourt-sur-Canche, Maintenay, Marant, Marenla, Maresquel-Ecquemoucourt, Maresville, Marles-sur-Canche, Martinpuich, Moncheaux-lès-Frévent, Monchy-au-Bois, Montcavrel, Monts-en-Ternois, Morval, Neulette, Neuville-au-Cornet, Noyelles-lès-Humières, Nunq-Hautecôte, Oeuf-en-Ternois, Offin, Le Parcq, Le Quesnoy-en-Artois, Rebreuve-sur-Canche, Rebreviette, Recques-sur-Course, Rollancourt, Roussent, Saint-Denoëux, Saint-Georges, Saint-Rémy-au-Bois, Le Sars, Sars-le-Bois, Saulchoy, Saulty, Sempy, Séricourt, Sibiville, Sombrin, Le Souich, Sus-Saint-Léger, Le Transloy, Tubersent, Vacqueriette-Erquières, Vieil-Hesdin, Wail, Wamin, Warlencourt-Eaucourt, Warluzel, Willeman : zone de sismicité Très faible

– les communes de Bourlon, Epinoy, Oisy-le-Verger, Sauchy-Lestrée : zone de sismicité Modérée

• PUY-DE-DOME tout le département zone de sismicité Modérée sauf

– les cantons de Arlanc, Bourg-Lastic, Herment, Montaigu, Pionsat, Pontaumur, Saint-Anthème, Taupes, Tour-d'Auvergne (La), Viverols : zone de sismicité Faible

– les communes de Ambert, Les Ancizes-Comps, Anzat-le-Luguet, Arconsat, Biollet, La Bourboule, Bromont-Lamothe, Chabreloche, Charensat, Cisternes-la-Forêt, Eglise-neuve-d'Entraigues, Espinasse, Espinhal, La Forie, Gelles, La Godivelle, La Goutelle, Gouttières, Heume-l'Eglise, Job, Lachaux, Laqueuille, Marsac-en-Livradois, Menat, Mont-Dore, Montfermy, Murat-le-

Quaire, Neuf-église, Orcival, Perpezat, Rochefort-Montagne, Sainte-Christine, Saint-Jacques-d'Ambur, Saint-Julien-la-Geneste, Saint-Martin-des-Olmes, Saint-Pierre-la-Bourlhonne, Saint-Pierre-Roche, Saint-Priest-des-Champs, Sauret-Besserve, Teilhet, Valcivières : zone de sismicité Faible

• PYRENEES-ATLANTIQUES tout le département zone de sismicité Moyenne sauf

– les cantons de Anglet-Nord, Anglet-Sud, Arzacq-Arraziguet, Bayonne-Est, Bayonne-Nord, Bayonne-Ouest, Biarritz-Est, Biarritz-Ouest, Bidache, Hendaye, Lembeye, Orthez, Saint-Jean-de-Luz, Saint-Pierre-d'Irube, Salies-de-Béarn, Thèze : zone de sismicité Modérée

– les communes de Abère, Abidos, Abitain, Ahetze, Anos, Arbonne, Arcanques, Argagnon, Arnos, Arraute-Charritte, Arthez-de-Béarn, Artix, Athos-Aspis, Baleix, Baliracq-Maumusson, Barinque, Bassussarry, La Bastide-Clairence, Bédeille, Bentayou-Sérée, Bernadets, Biron, Boueilh-Boueilho-Lasque, Bougarber, Boumour, Briscous, Burgaronne, Burosse-Mendousse, Casteide-Cami, Casteide-Candau, Casteide-Doat, Castéra-Loubix, Castetbon, Castetner, Castetpugon, Castillon (Canton d'Arthez-de-Béarn), Caubios-Loos, Cescau, Conchez-de-Béarn, Diusse, Doazon, Escoubès, Gabaston, Garlin, Hagetaubin, Halsou, Higuères-Souye, L'Hôpital-d'Orion, Jatxou, Laà-Mondrans, Labastide-Monréjeau, Labatut, Labeyrie, Lacadée, Lacq, Lamayou, Lespourcy, Lombardia, Loubieng, Mascaraàs-Haron, Maslacq, Masparraute, Maure, Mesplède, Momas, Monségur, Mont, Montaner, Mont-Disse, Mouhous, Oraàs, Orègue, Orion, Orriule, Os-Marsillon, Ozenx-Montestrucq, Ponsou-Debat-Pouts, Ponsou-Dessus, Pontiacq-Viellepinte, Portet, Ribarrouy, Riupeyrous, Saint-Armou, Saint-Castin, Saint-Jammes, Saint-Jean-Poudge, Saint-Laurent-Bretagne, Saint-Médard, Saint-Pée-sur-Nivelle, Sare, Sarpourenx, Saubole, Sauvagnon, Sauvelade, Sedze-Maubecq, Sedzère, Serres-Castet, Serres-Sainte-Marie, Tadousse-Ussau, Taron-Sadirac-Viellenave, Urdès, Urost, Urt, Ustaritz, Uzein, Vialer, Viellenave-d'Arthez : zone de sismicité Modérée

– les communes de Aubous, Aydie, Moncla : zone de sismicité Faible

• HAUTES-PYRENEES tout le département zone de sismicité Moyenne sauf

– les cantons de Aureilhan, Galan, Pouyastruc, Rabastens-de-Bigorre, Trie-sur-Baïse, Vic-en-Bigorre : zone de sismicité Modérée

– les communes de Anères, Angos, Anla, Aries-Espéran, Arné, Aurensan, Aventignan, Barthe, Bazet, Bazordan, Bégole, Bernadets-Dessus, Bertren, Betbèze, Betpouy, Bordères-sur-l'Echez, Bordes, Burg, Caharet, Calavanté, Campistrous, Campuzan, Cantaous, Castelnaud-Magnoac, Castéra-Lanusse, Caubous, Caussade-Rivière, Cizos, Clarac, Clarens, Devèze, Escala, Estirac, Gaussan, Gayan, Goudon, Guizerix, Hachan, Hagedet, Izaourt, Lafitole, Lagarde, Lagrange, Lahitte-Toupière, Lalanne, Lanespède, Lannemezan, Laran, Larreule, Larroque, Lascazères, Lassales, Lespouey, Lhez, Lombrès, Loures-Barousse, Lutilhous, Madiran, Mascaras, Maubourguet, Mazères-de-Neste, Monléon-Magnoac, Monlong, Moulédous, Nestier, Organ, Orioux, Oroix, Oursbelille, Ozon, Péré, Peyraube, Peyret-Saint-André, Pinas, Pintac, Pouy, Puntous, Réjaumont, Ricaud, Saint-Laurent-de-Neste, Saint-Paul, Sariac-Magnoac, Sarniguet, Sarp, Sarrouilles, Sauveterre, Séméac, Séron, Sinzos, Sombrun, Soublecause, Tajan, Tarasteix, Tibiran-Jaunac, Tournay, Tuzaguet, Uglas, Vidouze, Vieuzos, Villefranque, Villemur : zone de sismicité Modérée

– les communes de Auriébat, Castelnaud-Rivière-Basse, Casterets, Hères, Labatut-Rivière, Saint-Lanne, Thermes-Magnoac : zone de sismicité Faible

• PYRENEES-ORIENTALES tout le département zone de sismicité Modérée sauf

– les cantons de Arles-sur-Tech, Mont-Louis, Olette, Prats-de-Mollo-la-Preste, Saillagouse : zone de sismicité Moyenne (les communes de Conat, Nohèdes, Urbanya : zone de sismicité Moyenne

• BAS-RHIN tout le département zone de sismicité Modérée sauf

– le canton de Sarre-Union : zone de sismicité Faible
– les communes de Adamswiller, Asswiller, Baerendorf, Berg, Bettwiller, Burbach, Diemeringen, Drulingen, Durstel, Eschwiller, Eywiller, Frohmuhl, Goerlingen, Gungwiller, Hinsbourg, Hirschland, Kirrberg, Mackwiller, Ottwiller, Puberg, Rauwiller, Rexingen, Siewiller, Struth, Thal-Drulingen, Tieffenbach, Volksberg, Waldhambach, Weisingen, Weyer : zone de sismicité Faible

• HAUT-RHIN tout le département zone de sismicité Modérée sauf

– les cantons de Ferrette, Hirsingue, Huningue, Sierentz : zone de sismicité Moyenne

– les communes de Altenach, Altkirch, Aspach, Ballersdorf, Berentzwiller, Bruebach, Buethwiller, Carspach, Chavannes-sur-l'Etang, Dannemarie, Eglingen, Elbach, Emlingen, Flaxlanden, Franken, Gommersdorf, Hagenbach, Hausgau, Heidwiller, Heiwiller, Hundsbach, Illfurth, Jettingen, Luemswiller, Magny, Manspach, Montreux-Jeune, Montreux-Vieux, Obermorschwiller, Retzwiller, Romagny, Saint-Bernard, Schwoben, Spechbach-le-Bas, Tagolsheim, Tagdorf, Traubach-le-Bas, Valdieu-Lutran, Walheim, Willer, Wittersdorf, Wolfersdorf, Zillisheim : zone de sismicité Moyenne

• RHONE tout le département zone de sismicité Faible sauf

– les cantons de Bron, Décines-Charpieu, Meyzieu, Saint-Fons, Saint-Priest, Saint-Symphorien-d'Ozon, Vénissieux-Nord, Vénissieux-Sud : zone de sismicité Modérée

– les communes de Ampuis, Condrieu, Echalas, Givros, Les Haies, Irigny, Loire-sur-Rhône, Pierre-Bénite, Saint-Cyr-sur-le-Rhône, Sainte-Colombe, Saint-Romain-en-Gal, Tupin-et-Semons, Vernaison : zone de sismicité Modérée

• HAUTE-SAONE tout le département zone de sismicité Modérée sauf

– les cantons de Autrey-lès-Gray, Champlitte, Combeaufontaine, Dampierre-sur-Salon, Fresne-Saint-Mamès, Gray, Gy, Jussey, Marnay, Pesmes, Vitrey-sur-Mance : zone de sismicité Faible

– les communes de Alaincourt, Ambiéwillers, Baulay, Boulot, Boulot, Bucey-lès-Traves, Buffignécourt, Bussièrès, Buthiers, Chantes, Chassey-lès-Scey, Chaux-la-Lotière, Contréglise, Cordonnet, Ferrières-lès-Scey, Hurecourt, Montarlot-lès-Rioz, Montdoré, Montureux-lès-Baulay, Noidans-le-Ferroux, Ovanches, Perrouse, Polaincourt-et-Clairefontaine, Pont-du-Bois, Rupt-sur-Saône, Saponcourt, Scey-sur-Saône-et-Saint-Albin, Selles, Senoncourt, Sorans-lès-Breurey, Traves, Vauvillers, Venisey, Villers-Bouton, Voray-sur-l'Ognon, Vy-le-Ferroux, Vy-lès-Rupt : zone de sismicité Faible

• SAONE-ET-LOIRE tout le département zone de sismicité Faible sauf

– le canton de Lucenay-l'Évêque : zone de sismicité Très faible

– les communes de Brion, La Comelle, La Grande-

Verrière, Laizy, Monthelon, Saint-Forgeot, Saint-Léger-sous-Beuvray, Saint-Prix, Tavernay : zone de sismicité Très faible

– les communes de Beaurepaire-en-Bresse, Champagnat, Condal, Cuiseaux, Dommartin-lès-Cuiseaux, Le Fay, Flacey-en-Bresse, Frontenaud, Joudes, Le Miroir, Sagy, Saillenard, Savigny-en-Revermont : zone de sismicité Modérée

• SARTHE tout le département zone de sismicité Faible sauf

– les cantons de Bouloire, Chartre-sur-le-Loir (La), Château-du-Loir, Ferté-Bernard (La), Grand-Lucé (Le), Mayet, Montmirail, Saint-Calais, Tuffé, Vibraye : zone de sismicité Très faible

– les communes de Bonnétable, Le Breil-sur-Mérize, La Bruère-sur-Loir, Challes, La Chapelle-aux-Choux, Chenu, Conneré, Ecommoy, Maigné-Lailié, Nogent-le-Bernard, Nuillé-le-Jalais, Parné-l'Évêque, Saint-Georges-du-Rosay, Saint-Germain-d'Arcé, Saint-Mars-d'Outille, Soullitré, Surfonds : zone de sismicité Très faible

• SAVOIE tout le département zone de sismicité Moyenne sauf

– les cantons de Aime, Bozel, Saint-Jean-de-Maurienne, Saint-Michel-de-Maurienne : zone de sismicité Modérée

– les communes de Aigueblanche, Aussois, Les Avanchers-Valmorel, Le Bois, Bonneval-sur-Arc, La Chambre, Chanaz, Les Chapelles, Les Chavannes-en-Maurienne, Fontaine-le-Puits, Fourneaux, Frenay, Hautecour, Lanslevillard, Modane, Montaimont, Montgellafrey, Montvalezan, Motz, Moûtiers, Notre-Dame-du-Cruet, Notre-Dame-du-Pré, Ruffieux, Saint-Alban-des-Villards, Saint-André, Saint-Avre, Saint-Colomban-des-Villards, Sainte-Foy-Tarentaise, Sainte-Marie-de-Cuines, Saint-Etienne-de-Cuines, Saint-François-Longchamp, Saint-Jean-de-Belleville, Saint-Marcel, Saint-Martin-de-Belleville, Saint-Martin-sur-la-Chambre, Saint-Oyen, Salins-les-Thermes, Séez, Serrières-en-Chautagne, Sollières-Sardières, Termignon, Tignes, Val-d'Isère, Villarlurin, Villarodin-Bourget, Villaroger, Vions : zone de sismicité Modérée

• HAUTE-SAVOIE tout le département zone de sismicité Moyenne sauf

– les cantons de Frangy, Seyssel : zone de sismicité Modérée

– les communes de Andilly, Cernex, Chênex, Chevrier, Crempigny-Bonneguête, Dingy-en-Vuache, Feigères, Jonzier-épagny, Lornay, Mésigny, Neydens, Présilly, Saint-Julien-en-Genevois, Sallenôves, Savigny, Val-de-Fier, Valleiry, Vers, Versonnex, Viry, Vulbens : zone de sismicité Modérée

• PARIS tout le département zone de sismicité Très faible

• SEINE-MARITIME tout le département zone de sismicité Très faible

• SEINE-ET-MARNE tout le département zone de sismicité Très faible

• YVELINES tout le département zone de sismicité Très faible

• DEUX-SEVRES tout le département zone de sismicité Modérée

• SOMME tout le département zone de sismicité Très faible sauf

– les communes de Aizecourt-le-Bas, Epehy, Equancourt, Etrécourt-Manancourt, Fins, Guyencourt-Saulcourt, Heudicourt, Liéramont, Mesnil-en-Arrouaise, Nurlu, Ronssoy, Sorel, Templeux-le-Guérand, Villers-Faucon : zone de sismicité Faible

• TARN tout le département zone de sismicité Très faible

• TARN-ET-GARONNE tout le département zone de sismicité Très faible

• VAR tout le département zone de sismicité Faible sauf

– les cantons de Aups, Callas, Fayence, Salernes : zone de sismicité Modérée

– les communes de Bargème, La Bastide, Le Bourguet, Brenon, Châteauvieux, La Martre, Trigance, Vinon-sur-Verdon : zone de sismicité Moyenne (les communes de Les Adrets-de-l'Estérel, Ampus, Artignosc-sur-Verdon, Bagnols-en-Forêt, Comps-sur-Artuby, Draguignan, Flayosc, Ginasservis, Moissac-Bellevue, Montmeyan, Régusse, Rians, La Roque-Esclapon, Saint-Julien : zone de sismicité Modérée

• VAUCLUSE tout le département zone de sismicité Modérée sauf

– le canton de Pertuis : zone de sismicité Moyenne

– les communes de Auribeau, Bonnieux, Buoux, Cadenet, Caseneuve, Castellet, Cucuron, Lauris, Lourmarin, Puget, Puyvert, Saïgon, Saint-Martin-de-Castillon, Sivergues, Vaugines, Villelaure : zone de sismicité Moyenne

• VENDEE tout le département zone de sismicité Modérée

• VIENNE tout le département zone de sismicité Modérée sauf

– les cantons de Availles-Limouzine, Chauvigny, Isle-Jourdain (L), Lussac-les-Châteaux, Montmorillon, Saint-Savin, Trimouille (La) : zone de sismicité Faible

– les communes de Asnois, Brion, La Chapelle-Bâton, Charroux, Chatain, Château-Garnier, Joussé, Payroux, Pleumartin, Port-de-Piles, La Puye, La Roche-Posay, Saint-Romain, Saint-Secondin, Surin, Usson-du-Poitou, Vicq-sur-Gartempe : zone de sismicité Faible

• HAUTE-VIENNE tout le département en zone de sismicité Faible sauf

– le canton de Saint-Germain-les-Belles : zone de sismicité Très faible

– les communes de Beaumont-du-Lac, Châteauneuf-la-Forêt, Coussac-Bonneval, La Croisille-sur-Briance, Doms, Eymoutiers, Glandon, Nedde, Neuvic-Entier, Rempnat, Sainte-Anne-Saint-Priest, Saint-Gilles-les-Forêts, Saint-Méard, Saint-Yrieix-la-Perche, Surdoux, Sussac : zone de sismicité Très faible

• VOSGES tout le département zone de sismicité Modérée sauf

– les cantons de Bulgnéville, Châtenois, Coussey, Neufchâteau : zone de sismicité Très faible

– les cantons de Darney, Monthureux-sur-Saône : zone de sismicité Faible

– les communes de Ambacourt, Avrainville, Battexey, Baudricourt, Bettoncourt, Biécourt, Blémery, Blevaincourt, Boulaincourt, Chamagne, Charmes,

Chauffecourt, Chef-Haut, Contrexéville, Damblain, Dombasle-en-Xaintois, Domjulien, Domvallier, Florémont, Frenelle-la-Grande, Frenelle-la-Petite, Gemmelaincourt, Gircourt-lès-Viéville, Hergugney, Juvaincourt, Marainville-sur-Madon, Martigny-les-Bains, Mazriot, Ménil-en-Xaintois, Mirecourt, Oëlleville, Offroicourt, Pont-sur-Madon, Poussay, Puzieux, Ramecourt, Remicourt, Repel, Robécourt, Rocourt, Romain-aux-Bois, Rouvres-en-Xaintois, Rozières-sur-Mouzon, Saint-Menge, Saint-Prancher, Savigny, Socourt, They-sous-Montfort, Thiraucourt, Tollaincourt, Totainville, Villotte, Vittel, Viviers-lès-Offroicourt, Vomécourt-sur-Madon, Xaronval: zone de sismicité Très faible
 – les communes de Les Ableuvenettes, Ahéville, Ainvelle, Anglemont, Avillers, Badménil-aux-Bois, Bainville-aux-Saules, Bazegney, Bazien, Bazoilles-et-Ménil, Begnécourt, Bettégney-Saint-Brice, Bocquegney, Bouxières-aux-Bois, Bouxurulles, Bouzémont, Brantigny, Brû, Bult, Celles-sur-Plaine, Châtel-sur-Moselle, Châtilion-sur-Saône, Circourt, Clémentaine, Damas-aux-Bois, Damas-et-Bettégney, Deinwillers, Derbamont, Dombrot-le-Sec, Domèvre-sous-Montfort, Domèvre-sur-Durbion, Dompaire, Domptail, Doncières, Essegney, Estrennes, Evaux-et-Ménil, Fauconcourt, Fouchécourt, Frain, Frizon, Gelvécourt-et-Adompt, Gigney, Gorhey, Grandrupt-de-Bains, Grignoncourt, Gugney-aux-Aulx, Hadigny-les-Verrières, Hagécourt, Haillainville, Hardancourt, Haréville, Hennecourt, Hymont, Igney, Isches, Jorxey, Lamarche, Langley, Légiéville-et-Bonfays, Lignéville, Lironcourt, Madecourt, Madegney, Madonne-et-Lamerey, Marey, Maroncourt, Mattaincourt, Mazeley, Ménarmont, Ménil-sur-Belvitte, Monthureux-le-Sec, Mont-lès-Lamarche, Morville, Morizécourt, Moyemont, La Neuveville-sous-Montfort, Nomexy, Nossoncourt, Oncourt, Ortoncourt, Pallegney, Portieux, Racécourt, Rambervillers, Rancourt, Raon-l'Étape, Rapey, Regney, Rehaincourt, Remoncourt, Romont, Roville-aux-Chênes, Rozerotte, Rugney, Saint-Benoît-la-Chipotte, Sainte-Barbe, Saint-Genest, Saint-Julien, Saint-Maurice-sur-Mortagne, Saint-Pierremont, Saint-Vallier, Senaide, Serécourt, Serocourt, Les Thons, Thuillières, Tignécourt, Ubexy, Valfroicourt, Valleroy-aux-Saules, Valleroy-le-Sec, Varmonzey, Vaubexy, Vaxoncourt, Velotte-et-Tatignécourt, Villers, Ville-sur-Ilion, Vincey, Vioménil, Vomécourt, Vroville, Xafféwillers, Zincoirt: zone de sismicité Faible

- YONNE tout le département zone de sismicité Très faible
- TERRITOIRE-DE-BELFORT tout le département zone de sismicité Modérée sauf
 – les cantons de Beaucourt, Delle: zone de sismicité Moyenne
 – les communes de Autrechène, Boron, Brebotte, Bretagne, Chavanatte, Chavannes-les-Grands, Cunelières, Foussemagne, Froidefontaine, Grandvillars, Grosne, Méziré, Montreux-Château, Morvillars, Novillard, Petit-Croix, Recouvrance, Suarce, Vellescot: zone de sismicité Moyenne
- ESSONNE tout le département zone de sismicité Très faible
- HAUTS-DE-SEINE tout le département zone de sismicité Très faible
- SEINE-SAINT-DENIS tout le département zone de sismicité Très faible
- VAL-DE-MARNE tout le département zone de sismicité Très faible
- VAL-D'OISE tout le département zone de sismicité Très faible
- GUADELOUPE tout le département zone de sismicité Fort
- MARTINIQUE tout le département zone de sismicité Fort
- GUYANE tout le département zone de sismicité Très faible
- LA REUNION tout le département zone de sismicité Faible
- SAINT-PIERRE-ET-MIQUELON toute la collectivité zone de sismicité Très faible
- MAYOTTE toute la collectivité zone de sismicité Modérée
- SAINT-MARTIN toute la collectivité zone de sismicité Fort

Crédit photographique

BRGM [1] – Hadj Hamou A. [17, 36, 37, 45, 82] – Jacquet G. [101] – MEEDDM [18] – Michel C. [79] – Miyamoto [49] – NISEE Berkeley [15, 38, 43, 48, 59D, 68, 75, 80, 86, 89D, 91, 102] – Weliachew B. [13, 19, 21, 32] – Zacek M. [25, 26, 27, 28, 30, 44, 78, 83, 93, 97D] – Droits réservés [23, 34, 35, 50, 51, 59G, 74, 88, 89G, 97G, 106]

Auteur

Milan Zacek

Mise en page et réalisation

Amprincipe Paris
R.C.S. Paris B 389 103 805

CIM *Béton*

CENTRE D'INFORMATION SUR LE CIMENT ET SES APPLICATIONS

7, place de la Défense • 92974 Paris-la-Défense Cedex • Tél. : 01 55 23 01 00 • Fax : 01 55 23 01 10

E-mail : centrinfo@cimbeton.net • internet : www.infociments.fr