



Association Française du Génie Parasismique

---

**Comportement des éléments non-structuraux  
sous séisme**

**Retour d'expérience  
Dispositions applicables**

**Première partie  
Exigences pour les bâtiments « à risque  
normal »**

---

Avec le soutien de :





## COMPOSITION DU GROUPE DE TRAVAIL

Robert AILLOUD	UMGO-FFB
Patrice BEAUFORT	CAPEB
Roger BERTULI	BABET (AFPS)
Mathieu BLAS	MEDDTL/DGALN/DHUP/QC1
Ménad CHENAF	CSTB
Olivier CHEZE	CTMNC
Michel COSSAVELLA	CSTB
Ana GRAU	CERIB
Claire GRENIER	CSTB
Yves GUILLON	consultant (AFPS)
Wolfgang JALIL	Amadeus Consult (AFPS)
Nicolas JURASZEK	Socotec (AFPS)
Sandrine JUSTER-LERMITTE	Arcadis ESG (AFPS)
Thierry LAMADON	Bureau Veritas (AFPS)
Carlos NOUMEDEM	Setec
Didier PALLIX	CTMNC
Eric PECYNA	Bouygues Bâtiment International
Wilfried PILLARD	UMGO-FFB
Mustapha SARI	CTMNC
Pierre-Eric THEVENIN	Bureau Veritas (AFPS – animateur du GT)



# TABLE DES MATIERES

<b>I. DOMAINE COUVERT PAR CES RECOMMANDATIONS .....</b>	<b>3</b>
1. Les objectifs des Recommandations AFPS .....	3
2. Les éléments non-structuraux (ENS) : définitions .....	3
3. Les ouvrages concernés par les Recommandations AFPS.....	5
4. Les éléments non structuraux couverts par les Recommandations AFPS.....	5
<b>II. LE CONTEXTE REGLEMENTAIRE .....</b>	<b>7</b>
1. Rappel des dispositions applicables aux bâtiments en France.....	7
a. <i>Le zonage sismique</i> .....	8
b. <i>Les catégories d'importance des bâtiments</i> .....	10
c. <i>Les règles de construction parasismique</i> .....	10
2. Dispositions applicables aux bâtiments neufs .....	11
3. Dispositions applicables aux bâtiments existants.....	11
a. <i>Les travaux concernent la structure et dépassent les seuils définis par l'arrêté</i> .....	12
b. <i>Les travaux portent sur la structure sans dépasser les seuils définis par l'arrêté</i> ....	12
c. <i>Les travaux ne portent que sur les éléments non-structuraux</i> .....	12
4. Dispositions retenues pour les éléments non structuraux .....	13
a. <i>Bâtiments neufs</i> .....	13
b. <i>Bâtiments existants - Projets postérieurs au 23/09/2014</i> .....	13
c. <i>Bâtiments existants - Projets antérieurs au 23/09/2014</i> .....	13
<b>III. LE COMPORTEMENT D'UN BATIMENT AU SEISME.....</b>	<b>15</b>
1. Les principes de base .....	15
2. Influence des éléments non structuraux dans un bâtiment.....	16
3. Les paramètres du calcul .....	16
a. <i>L'accélération de calcul <math>a_g</math></i> .....	16
b. <i>Le coefficient de sol <math>S</math></i> .....	17
c. <i>Le spectre de calcul <math>S_d(T)</math></i> .....	17
d. <i>Les périodes de vibration du bâtiment</i> .....	18
e. <i>Le coefficient de comportement</i> .....	18
<b>IV. LES DISPOSITIONS DE L'EC8 POUR LES ENS .....</b>	<b>19</b>
1. Eurocodes et éléments non structuraux.....	19
2. L'exigence de sécurité des personnes .....	19
a. <i>Les éléments concernés</i> .....	19
b. <i>Les objectifs de comportement</i> .....	20
c. <i>Eléments courants ou de grande importance</i> .....	20
d. <i>Critères d'importance pour les éléments non structuraux</i> .....	20
3. L'exigence de limitation des dommages .....	22
4. Les efforts subis par les ENS.....	22

a.	<i>Les efforts sismiques supportés par les ENS et leurs fixations</i> .....	22
b.	<i>Direction sismique d'étude</i> .....	23
c.	<i>Combinaison des composantes sismiques</i> .....	23
d.	<i>Combinaison de l'action sismique avec les autres actions</i> .....	23
5.	<b>Efforts sismiques d'origine inertielle : composante horizontale</b> .....	24
a.	<i>Coefficient d'importance</i> .....	25
b.	<i>Coefficient de comportement</i> .....	25
c.	<i>Application de la formule simplifiée de l'article 4.3.5</i> .....	27
d.	<i>Dimensionnement enveloppe</i> .....	28
e.	<i>Cas du dimensionnement enveloppe – Incidence sur les fixations</i> .....	29
6.	<b>Efforts sismiques d'origine inertielle : composante verticale</b> .....	29
7.	<b>Efforts d'origine cinématique : déformation de la structure support</b> .....	32
a.	<i>Déplacements entre étages – Limitation des dommages</i> .....	32
b.	<i>Déplacements entre étages – Sécurité des personnes</i> .....	34
8.	<b>Principes de justification des ENS et de leurs fixations</b> .....	35
a.	<i>Justification des ENS ductiles</i> .....	35
b.	<i>Justification des ENS fragiles</i> .....	35
c.	<i>Justification des fixations de l'ENS</i> .....	35
d.	<i>Justification des ancrages dans la structure</i> .....	36
e.	<i>Dimensionnement en capacité</i> .....	36
9.	<b>Cas des bâtiments existants</b> .....	37
<b>V.</b>	<b>DIMENSIONNEMENT DES ENS : SYNTHESE</b> .....	<b>39</b>
1.	<b>Caractérisation préalable d'un ENS</b> .....	<b>39</b>
a.	<i>Des dispositions parasismiques sont-elles nécessaires ?</i> .....	39
b.	<i>L'élément peut-il supporter un endommagement sans risque pour les personnes ?</i> .....	39
c.	<i>Dimensionnement de l'effort sismique dans l'élément</i> .....	39
d.	<i>Vérification de l'état limite de dommages</i> .....	39
e.	<i>Vérification de sécurité sous séisme de référence</i> .....	39
2.	<b>Justification de la mise en œuvre d'un ENS dans un bâtiment</b> .....	<b>40</b>
a.	<i>Des dispositions parasismiques sont-elles nécessaires ?</i> .....	40
b.	<i>La raideur de l'élément est-elle négligeable devant celle de la structure</i> .....	40
c.	<i>Dimensionnement de l'effort sismique dans l'ENS et ses fixations</i> .....	40
d.	<i>Vérification de l'état limite de dommages</i> .....	40
e.	<i>Vérification de sécurité sous séisme de référence</i> .....	40
<b>ANNEXES</b>	.....	
A.	<b>Formule simplifiée EC8-1 art. 4.3.5 - Valeurs tabulées</b>	
B.	<b>Illustration de la conception avec coefficient de comportement</b>	

# PREAMBULE

Les règles parasismiques applicables aux bâtiments relevant des « ouvrages à risque normal » s'intéressent essentiellement au comportement de la structure résistante de l'ouvrage considéré, l'objectif visé étant d'assurer la protection des vies humaines par le non-effondrement de la structure.

Toutefois, une prévention parasismique efficace implique de considérer aussi les risques induits par les éléments non structuraux intérieurs ou extérieurs au bâtiment : en cas de séisme, ces éléments peuvent occasionner directement des blessures aux occupants ou gêner leur évacuation.

Mais les textes de construction parasismique actuels couvrent très mal cet aspect, et les différents acteurs de la construction éprouvent de réelles difficultés à décliner les exigences réglementaires sur ces éléments, voire même à identifier ceux qui nécessitent une justification de leur tenue sous séisme.

Ce document s'est donc fixé comme objectifs de combler ce vide et de proposer une démarche pratique pour identifier les éléments ou familles d'éléments concernés par l'application de dispositions parasismiques et conduire les justifications utiles.

Il ne vise que les bâtiments à risque normal, mais traite des éléments non structuraux situés dans les bâtiments neufs comme dans les bâtiments existants.

Pour atteindre les objectifs fixés, il a paru nécessaire de scinder le travail en 2 parties :

- Dans un premier temps, les textes de référence (réglementation et normes) sont commentés et les éventuelles lacunes de ces textes identifiées. L'interprétation de ces textes et leur mise en cohérence permettent de définir les exigences applicables aux éléments non-structuraux (ENS) ;
- Ensuite, les grandes familles d'éléments non structuraux (cloisons, façades, plafonds suspendus ...) sont analysées, et la démarche définie en partie I est déclinée, en s'appuyant le cas échéant sur les pratiques des autres pays et les observations effectuées lors de séismes réels.

Les présentes Recommandations n'ont pas l'ambition de décrire dans le détail les dispositions techniques pour tous les projets et tous les éléments. Elles devront être complétées par des documents spécifiques rédigés par les professionnels concernés.

Le travail du groupe s'est échelonné sur une grande période (2012-2014). Un grand nombre d'intervenants a été réuni, allant bien au-delà des seuls membres de l'AFPS. Les échanges ont nourri les réflexions d'instances extérieures, qui ont ainsi pu s'inspirer des présentes Recommandations pour leurs propres travaux.

Si ce texte ne s'adresse pas directement à l'utilisateur final (entreprise mettant en œuvre les ENS dans un bâtiment), ces Recommandations AFPS lui permettront de comprendre l'évolution récente des textes réglementaires et les dispositions des textes techniques parus ou à venir traitant du sujet.

Octobre 2014  
Pierre-Eric Thévenin





# I. DOMAINE COUVERT PAR CES RECOMMANDATIONS

## 1. Les objectifs des Recommandations AFPS

La protection parasismique des ouvrages fait l'objet d'une réglementation spécifique (voir chapitre II) renvoyant pour l'essentiel à l'application de normes de construction parasismique.

L'application des dispositions parasismiques aux éléments de structure ne pose plus vraiment de grosse difficulté, compte tenu de l'expérience déjà acquise avec la réglementation précédente. Par contre, pour les éléments non structuraux et les équipements (voir définitions ci-dessous), il a paru utile de préciser comment appliquer les nouvelles règles.

Le présent document a ainsi pour ambition de décrire les exigences prescrites par la réglementation parasismique pour les éléments non-structuraux et fournir les éléments permettant leur justification et leur intégration dans un bâtiment soumis à une action sismique.

Ce texte ne s'adresse pas directement aux constructeurs. Il constitue une référence pour l'élaboration future des textes définissant les dispositions applicables en zone sismique pour chaque famille d'élément non structural (ENS) concerné.

## 2. Les éléments non-structuraux (ENS) : définitions

On distingue dans un bâtiment :

- les éléments structuraux : murs, planchers, ... qui assurent la stabilité et la résistance du bâtiment, sous l'effet des charges (gravité, vent, séisme ...),
- les éléments non structuraux (cheminées, cloisons, éléments de façade, plafonds suspendus ...) dont la contribution à la reprise des efforts dans la structure est négligeable,
- les équipements qui se caractérisent par des fonctions annexes au clos et couvert, par exemple en assurant des fonctions de confort ou d'exploitation du bâtiment : chauffage, éclairage, distribution d'eau, ascenseurs, ...

Un élément non structural tel que visé par ce guide se distingue, par définition :

- d'un élément structural, par le fait qu'il s'agit d'un élément déposable (sinon démontable) sans que cette opération ne nécessite de confortement d'autres parties ou éléments du bâtiment. Toutefois, cette dépose peut nécessiter le démontage préalable d'autres éléments non-structuraux (ou équipements) qu'il supporte ;
- d'un équipement, par sa moindre démontabilité (on parlera plutôt de dépose que de démontage), et/ou sa passivité dans la réalisation de son objet. Par exemple, l'isolation qui concourt au chauffage n'est pas un équipement surtout s'il ne s'agit pas de panneaux aisément démontables.

Dans le cas où un équipement est indissociablement lié à un élément non structural (par exemple un panneau photovoltaïque intégré), cet élément ne doit pas être considéré comme un équipement mais comme un élément non structural au sens du présent texte.

*Remarque 1 : les définitions données dans les présentes Recommandations sont donc plus précises que celles fournies par l'Eurocode (EC1-1-1 articles 1.4.4 et 1.4.5). Voir aussi les articles IV.1 et IV.2 du présent texte) :*

#### **1.4.4**

##### **éléments structuraux**

les éléments structuraux comprennent l'ensemble de l'ossature et les structures d'appui. Dans le cas des ponts, les éléments structuraux comprennent les poutres principales, les dalles et les éléments assurant la stabilité tels que les haubans

#### **1.4.5**

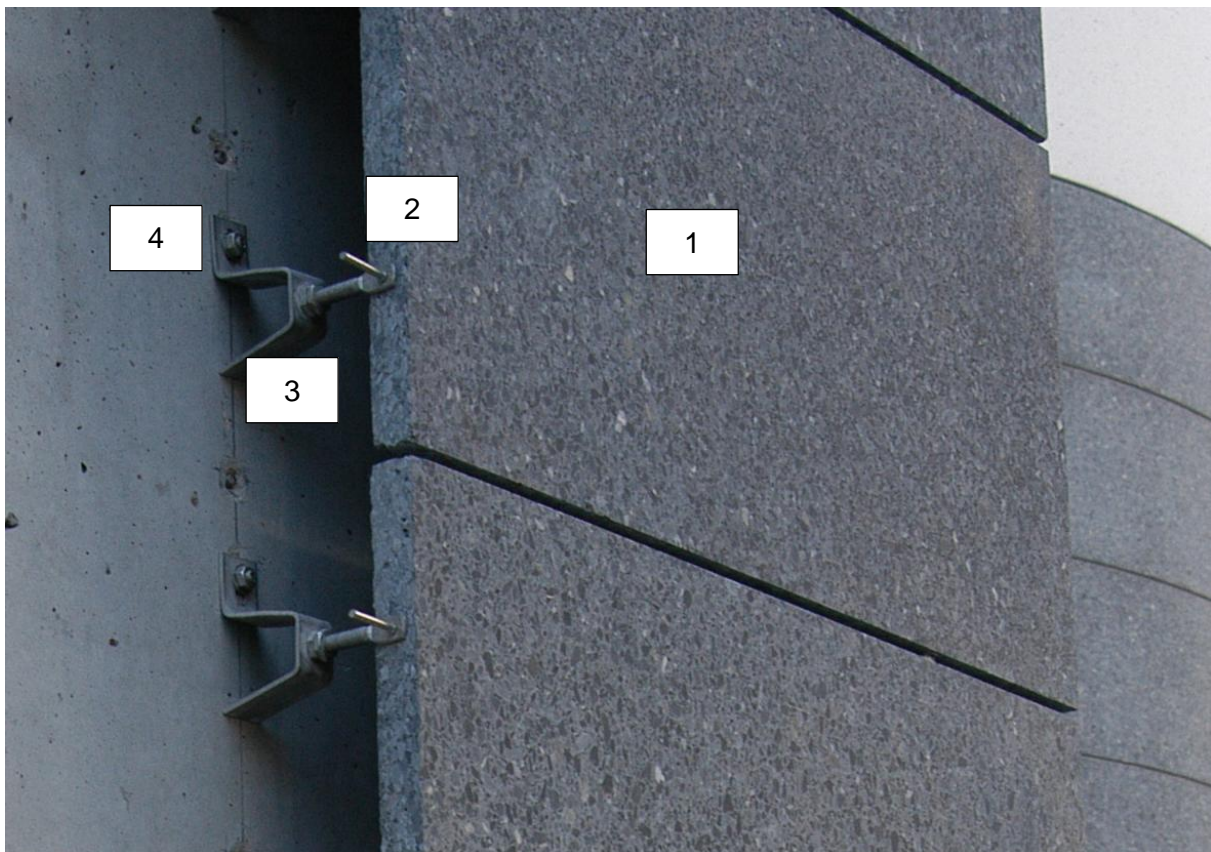
##### **éléments non structuraux**

les éléments non structuraux incluent les éléments de finition et les éléments de décoration assemblés à la structure, y compris les revêtements de chaussée et les garde-corps non structuraux. Ils incluent également les équipements et réseaux fixés de manière permanente à ou dans la structure

*Remarque 2 : dans la suite du document, le terme ENS (élément non structural) est à prendre au sens large : il recouvre le système complet accroché à la structure support, comme par exemple :*

- *un revêtement de pierre attachée, avec les ergots de liaison et les pattes équerres,*
- *une façade légère, avec le vitrage, les pare-closes, la structure secondaire.*

*On distingue l'ENS des ancrages qui liaisonnent celui-ci à la structure porteuse (cf. fig. I.1).*



*Figure I-1 : exemple d'ENS : pierre attachée. Les éléments 1 (plaque de pierre), 2 (ergot) et 3 (patte de fixation) forment l'ENS. La cheville (4) assurant l'ancrage de l'ENS dans la structure support ne fait pas partie de l'ENS.*

*Remarque 3 : le fait que les présentes Recommandations ne traitent pas des équipements (au sens de la définition fournie plus haut) ne signifie pas que ces éléments n'ont jamais à être justifiés sous séisme. Même si les textes réglementaires ne l'imposent pas, un maître*

d'ouvrage peut demander dans les documents du marché la justification au séisme de la tenue des équipements prévus dans son bâtiment.

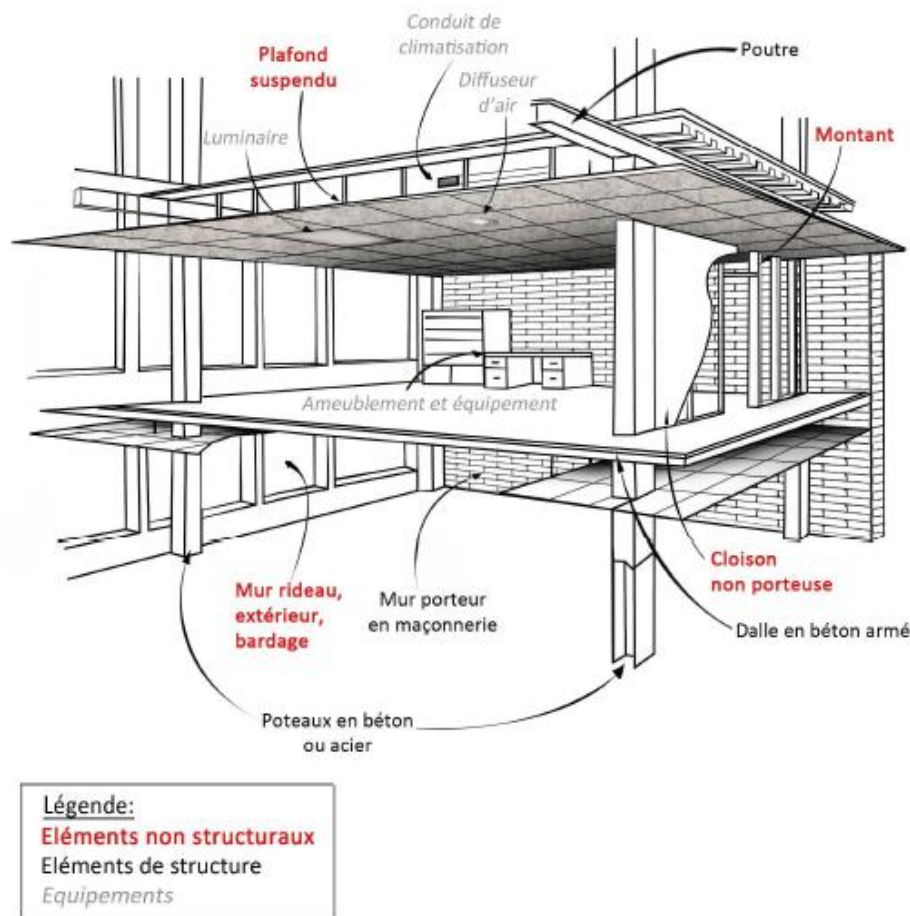


Figure I-2 : Identification des éléments structurels, non structurels et des équipements

### 3. Les ouvrages concernés par les Recommandations AFPS

On ne vise dans ce document que les bâtiments à risque normal. Ce sont les bâtiments couverts par l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié (voir chapitre II), pour lesquels le risque est circonscrit à l'emprise du bâtiment et à son voisinage immédiat.

L'exigence de continuité du fonctionnement applicable aux bâtiments de catégorie d'importance IV selon le décret 2010-1254 (art. R.563-5-I du code de l'environnement) n'est pas couverte par les dispositions du présent document.

### 4. Les éléments non structurels couverts par les Recommandations AFPS

Ces Recommandations ont pour vocation de couvrir toutes les familles d'éléments non structurels se trouvant habituellement dans un bâtiment (dans le clos et le couvert).

Toutefois, un grand nombre d'éléments non structurels n'ont pas à faire l'objet de disposition particulière en zone sismique, car aucune cause de blessure ou de mort humaine n'a pu leur être directement attribuée lors des séismes passés.

Il peut également arriver que, dans une même famille d'éléments non structurels, des dispositions parasismiques soient inutiles dans le cas général mais nécessaires dans certaines configurations (voir article IV.2d).

Les différentes familles d'éléments non structuraux étudiés font l'objet de la partie II des Recommandations AFPS. Sont visés en particulier les éléments listés ci-dessous :

### **Éléments extérieurs verticaux**

- façades légères, panneaux sandwiches
- façades lourdes
- revêtements muraux attachés en pierre mince
- revêtements durs collés en façade (ex : carrelage collé)
- bardages, vêtements, vêtages
- murs extérieurs à double paroi avec isolant
- éléments accrochés en façade (exemple : brise-soleil)

### **Éléments intérieurs verticaux**

- cloisons légères/cloisons mobiles
- cloisons maçonnées, remplissages

### **Éléments intérieurs horizontaux**

- plafonds suspendus
- planchers surélevés

### **Éléments extérieurs horizontaux ou inclinés - Couvertures**

- couvertures petits éléments et grands éléments
- souches de cheminées

## II. LE CONTEXTE REGLEMENTAIRE

### 1. Rappel des dispositions applicables aux bâtiments en France

La protection parasismique des bâtiments est définie par plusieurs textes réglementaires, qui précisent l'action sismique de référence, les objectifs de comportement attribués à l'ouvrage sous séisme et les dispositions permettant de respecter ces objectifs.

Elle s'appuie principalement sur les articles R563-1 à R563-8 du code de l'environnement et un arrêté ministériel d'application spécifique aux bâtiments publié le 22 octobre 2010.

La nouvelle réglementation parasismique est entrée en vigueur le 1<sup>er</sup> mai 2011 (date de dépôt du permis de construire, autorisation de travaux ou déclaration préalable)

*Remarque : les textes réglementaires décrits dans ce chapitre sont ceux applicables à la date de finalisation du présent document (10/2014).*

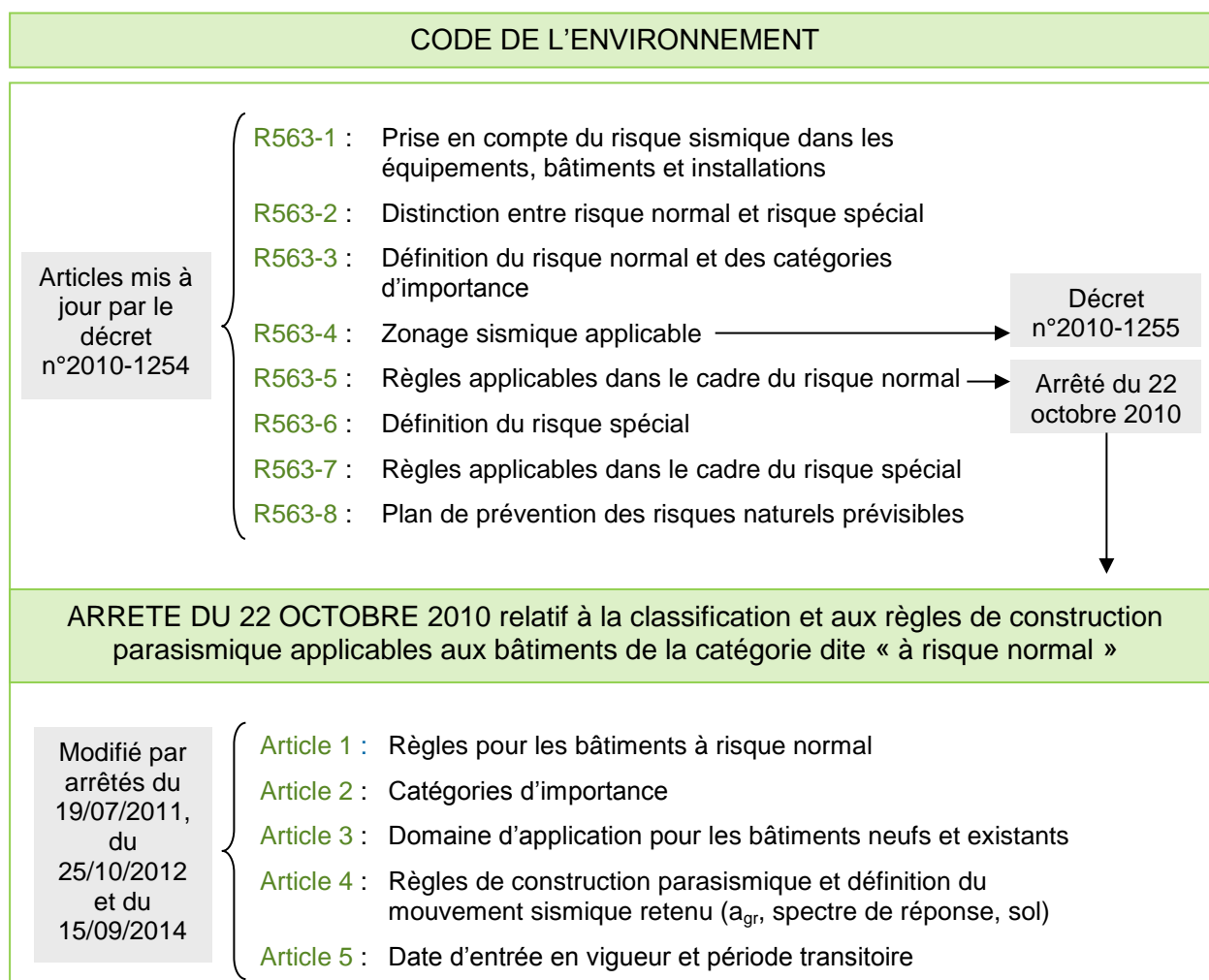


Figure II-1 : Architecture réglementaire pour les bâtiments (10/2014)

Selon la catégorie d'importance du bâtiment et la zone sismique dans laquelle il se trouve, les exigences parasismiques à respecter seront plus ou moins fortes et des règles de construction parasismique prescrites.

### a. Le zonage sismique

La France est divisée en cinq zones de sismicité croissante basées sur un découpage communal.

La zone 5, zone de forte sismicité regroupant uniquement les îles antillaises, correspond au niveau d'aléa le plus élevé du territoire national.

La métropole et les autres départements d'outre-mer sont classés en quatre zones sismiques, allant de la zone 1 de très faible sismicité à la zone 4 de sismicité moyenne.

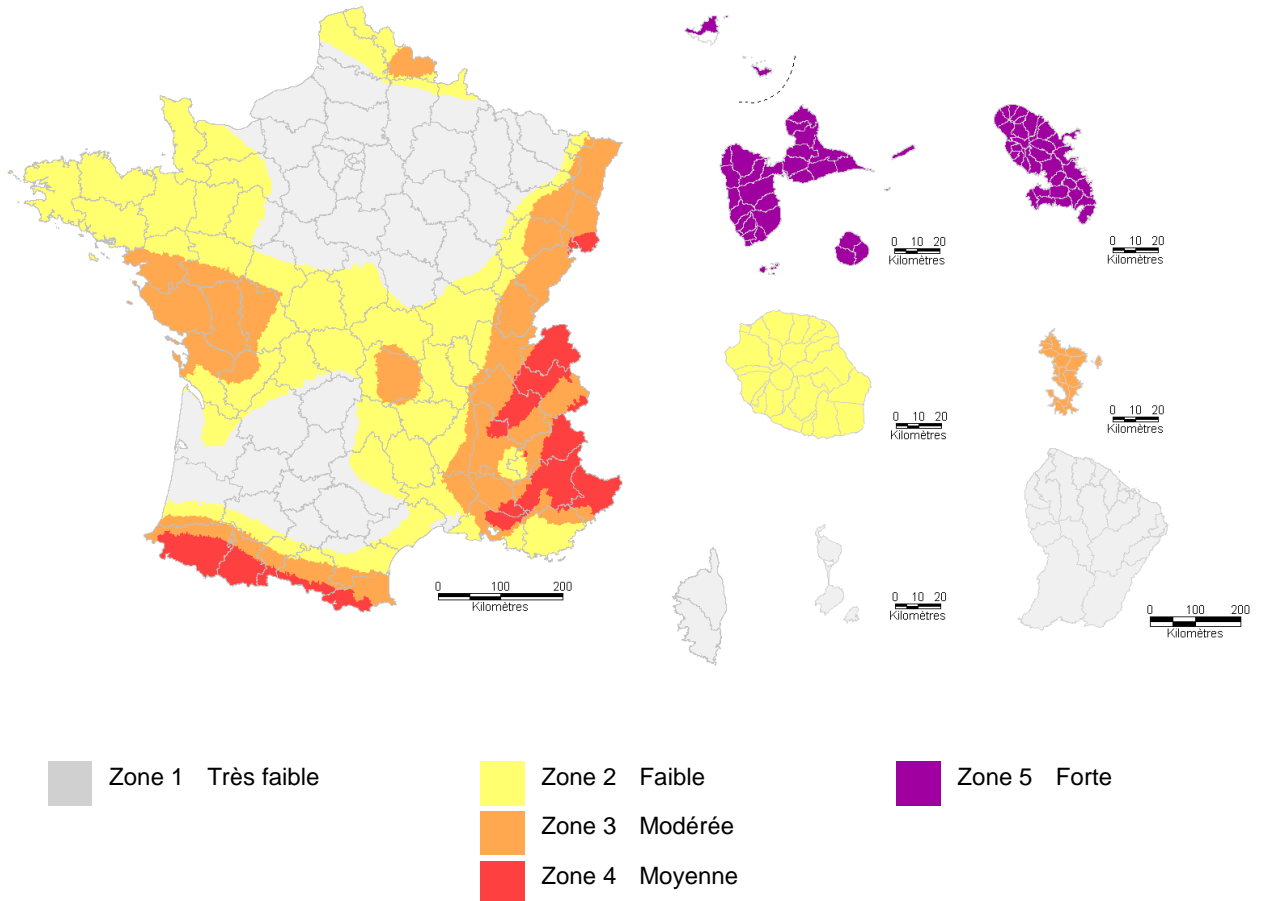


Figure II-2 : Zonage sismique de la France

La zone sismique d'une commune peut également être trouvée sur le site de l'État dédié aux risques [www.prim.net](http://www.prim.net), rubrique « Ma commune face aux risques ».

Le site précise également s'il existe un Plan de prévention des risques sismiques prescrit pour la commune. Dans le cas d'un PPRn Séisme approuvé, ce sont les dispositions du PPRn qui priment sur les textes nationaux.



**RUBRIQUES**

Rechercher une commune à  
risques

Consultation de la base de  
données Gaspar

Relancer une recherche

**Résultat de la recherche**

**Anancy**

INSEE : 74010 - Population : 51000

Département : HAUTE-SAVOIE - Région : Rhône-Alpes

**AFFICHER TOUT**

**Risques**

- Inondation
- Mouvement de terrain
- Risque industriel
- Séisme** Zone de sismicité: 4
- Transport de marchandises dangereuses

**Information acquéreur / locataire**

**Information préventive**

**Atlas de Zone Inondable**

**Prise en compte dans l'aménagement**

Plans	Bassin de risque	Prescrit le	Enquêté le	Approuvé le
<b>PPRn Inondation</b>	Communauté d'agglomération Annecy	25/03/2002	-	29/01/2009
<b>PPRn Mouvement de terrain</b>	Communauté d'agglomération Annecy	25/03/2002	-	29/01/2009
<b>PPRn Séisme</b>	Communauté d'agglomération Annecy	25/03/2002	-	29/01/2009
<b>PPRt Risque Industriel - Effets de surpression</b>	74 PPRT d'Annecy et de Seynod	06/04/2009	-	08/04/2011
<b>PPRt Risque Industriel - Effets thermiques</b>	74 PPRT d'Annecy et de Seynod	06/04/2009	-	08/04/2011

*Les éléments relatifs aux arrêtés de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle sont réputés fiables car directement issus du secrétariat de la commission nationale. Par contre, les informations sur les PPRT de cette page ne peuvent servir de base pour la mise en place de l'information aux acquéreurs et locataires. Seuls les arrêtés préfectoraux, publiés sur les sites des préfectures, offrent la garantie d'exhaustivité nécessaire.*

**Arrêtés de reconnaissance de catastrophe naturelle**

Figure II-3 : Interface prim.net

### **b. Les catégories d'importance des bâtiments**

Pour tenir compte des enjeux associés à chaque bâtiment, l'article 2 de l'arrêté du 22 octobre 2010 définit quatre catégories d'importance croissante :

Catégorie d'importance	Enjeu	Description
I	Risque minime	Bâtiments dans lesquels il n'y a aucune activité humaine nécessitant un séjour de longue durée
II	Risque moyen	Habitations individuelles Établissements recevant du public (ERP) des catégories 4 et 5 Habitations collectives de hauteur inférieure à 28 m Bureaux ou établissements commerciaux non ERP, de hauteur inférieure à 28 m, et abritant au plus 300 personnes Bâtiments industriels pouvant accueillir au plus 300 personnes Parcs de stationnement ouverts au public
III	Risque élevé	ERP des catégories 1, 2 et 3 Habitations collectives et bureaux, de hauteur supérieure à 28 m Bâtiments pouvant accueillir plus de 300 personnes Établissements sanitaires et sociaux Bâtiments des centres de production collective d'énergie Établissements scolaires
IV	Indispensable à la gestion de crise	Bâtiments indispensables à la sécurité civile, la défense nationale et le maintien de l'ordre public Bâtiments assurant le maintien des télécommunications, la production et le stockage de l'eau potable, la distribution publique de l'énergie Bâtiments assurant le contrôle de la sécurité aérienne Établissements de santé nécessaires à la gestion de crise Centres météorologiques

Tableau II-1 : Définition des catégories d'importance des bâtiments

### **c. Les règles de construction parasismique**

L'Eurocode 8 « Calcul des structures pour leur résistance au séisme » est la règle générale de construction parasismique définie par l'article 4 de l'arrêté modifié. Pour les bâtiments, plusieurs parties de ce texte sont utiles :

- NF EN 1998-1 : Règles générales, actions sismiques et règles pour les bâtiments,
- NF EN 1998-3 : Évaluation et renforcement des bâtiments,
- NF EN 1998-5 : Fondations, ouvrages de soutènement et aspects géotechniques.

Ces textes ne sont applicables en France qu'accompagnés de leur annexe nationale.

Des règles de construction parasismique simplifiées sont applicables pour les maisons individuelles et les bâtiments assimilés.



## 2. Dispositions applicables aux bâtiments neufs

L'article 3 de l'arrêté du 22 octobre 2010 liste les cas pour lesquels l'application des règles de construction parasismique est exigée pour les bâtiments neufs en fonction de la zone sismique et de la catégorie d'importance du bâtiment (cases pleines dans le tableau ci-dessous) :

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

**Application des règles parasismiques**

Tableau II-2 : Application obligatoire des règles PS dans le cas de bâtiments neufs

Le niveau de l'action sismique que doit supporter le bâtiment est fourni par l'arrêté sous la forme d'une accélération de calcul (voir chapitre III article 3).

Les dispositions parasismiques portent sur la structure mais également sur les éléments non structuraux. En effet, ceux-ci ne doivent pas présenter de risque inacceptable pour les personnes en cas de séisme (voir article IV.2 des présentes Recommandations).

## 3. Dispositions applicables aux bâtiments existants

*Remarque préliminaire : l'arrêté du 15 septembre 2014 modifiant l'arrêté du 22 octobre 2010 a été publié au moment du bouclage des présentes Recommandations. Le texte a été revu pour intégrer les principales modifications apportées par cet arrêté. Certains passages, qui ne correspondent plus maintenant à des exigences réglementaires, ont toutefois été conservés afin de garder la trace des réflexions du groupe et couvrir le cas d'une démarche volontaire de la part du maître d'ouvrage.*

Il n'existe pas d'exigence de mise à niveau sismique d'un bâtiment existant.

Par contre, si des travaux sont prévus dans un bâtiment existant, l'arrêté peut imposer l'application des règles parasismiques. Le principe est qu'en aucun cas, les travaux « ne doivent aggraver la vulnérabilité au séisme » du bâtiment.

Deux cas sont désormais prévus par l'arrêté du 22/10/2010 modifié :

- les travaux portent sur la structure et dépassent un seuil fixé par l'arrêté (critère de travaux lourds),
- les travaux portent sur la structure mais ne dépassent pas ce seuil.

*Remarque : l'exigence parasismique associée au seul ajout ou remplacement d'éléments non-structuraux du bâtiment (donc hors intervention sur la structure) a été retirée par l'arrêté du 15 septembre 2014.*

On renvoie au *guide AFPS – Non aggravation du bâti existant* pour le détail des dispositions associées aux cas ci-dessus. Seules les dispositions associées aux éléments non structuraux sont reprises ici.

### **a. Les travaux concernent la structure et dépassent les seuils définis par l'arrêté**

L'alinéa 3 de l'article 3 de l'arrêté du 22/10/2010 modifié impose alors que le bâtiment dans lequel les travaux sont effectués soit capable de supporter, dans sa configuration finale, un séisme de niveau au moins égal à 60% de celui exigé pour un bâtiment neuf.

Ceci implique généralement l'intervention d'un bureau d'études de structure.

### **b. Les travaux portent sur la structure sans dépasser les seuils définis par l'arrêté**

Dans ce cas, l'application des règles parasismiques n'est pas formellement exigée. Toutefois, une clause de non-aggravation de l'existant doit être respectée.

Aucun niveau d'accélération n'est défini lorsque les travaux restent sous les seuils de l'arrêté, d'où une difficulté pour dimensionner les éventuels éléments neufs de structure.

Cette difficulté concerne également les éléments non structuraux, mais une réponse a été apportée par une modification de la réglementation en septembre 2014, et par le présent document pour les cas antérieurs (voir article II.4 ci-dessous).

### **c. Les travaux ne portent que sur les éléments non-structuraux**

Pour les projets postérieurs au 23/09/2014, l'arrêté du 15 septembre 2014 modifiant l'arrêté du 22 octobre 2010 supprime l'exigence parasismique en cas de remplacement ou ajout d'un élément non structural dans un bâtiment existant, sauf dans le cas où des travaux lourds sont prévus (cf. art. II.3a ci-dessus).

Pour les projets antérieurs, l'application des dispositions parasismiques relatives aux éléments non-structuraux (cloisons, plafonds suspendus, bardages ...) ajoutés ou remplacés dans un bâtiment existant était imposée pour les catégories et zones suivantes :

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

**Application des dispositions parasismiques**

Tableau II-3 : Application des dispositions PS pour l'ajout et le remplacement des ENS

Comme dans le cas précédent (II.3b), aucune valeur d'accélération de calcul n'est fournie par l'arrêté. Il y a même une difficulté supplémentaire : comme les travaux ne concernent que les éléments non-structuraux, il n'y a pas nécessairement d'étude sur la structure ni de connaissance sur son comportement en cas de séisme. Il n'est donc généralement pas possible de connaître les accélérations et déformations à différents niveaux du bâtiment.

On propose donc de reprendre dans ce cas les dispositions applicables aux éléments non structuraux mis en œuvre dans les bâtiments existants faisant l'objet de travaux lourds, comme indiqué dans l'article II.4c ci-après.

#### 4. Dispositions retenues pour les éléments non structuraux

##### **a. Bâtiments neufs**

Dans le cas des bâtiments neufs, les exigences applicables aux éléments non structuraux figurent dans les règles parasismiques et les paramètres de calcul sont fournis par la réglementation.

##### **b. Bâtiments existants - Projets postérieurs au 23/09/2014**

Pour les bâtiments existants relevant de l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié par l'arrêté du 15 septembre 2014, les exigences parasismiques relatives aux éléments non structuraux ne concernent que les bâtiments dans lesquels des travaux lourds de structure sont entrepris.

Dans ce cas, le niveau de l'action sismique à laquelle est soumise la structure est connu car défini par la réglementation. Les justifications demandées aux ENS sont basées sur cette action (cf. chapitre IV).

Dans toutes les autres configurations, aucune exigence parasismique n'étant réglementairement imposée aux ENS, seule une démarche volontaire de la part du maître d'ouvrage pourrait conduire à appliquer des dispositions parasismiques aux nouveaux ENS mis en place dans un bâtiment.

##### **c. Bâtiments existants - Projets antérieurs au 23/09/2014**

Pour les projets non concernés par la modification réglementaire amenée par l'arrêté du 15 septembre 2014, tous les remplacements et ajouts d'ENS dans un bâtiment sont soumis à application des règles parasismiques.

Par contre, l'action sismique de base nécessaire pour dimensionner ou justifier les éléments non structuraux dans un bâtiment existant doit être définie, puisque cette donnée n'est pas fournie par l'arrêté, sauf dans le cas où des travaux lourds sont entrepris.

Plusieurs paramètres doivent être pris en considération :

- un bâtiment existant est en général moins ductile qu'un bâtiment récent construit selon les normes parasismiques modernes. Il est donc susceptible de transférer avant rupture des accélérations plus élevées qu'un bâtiment neuf ;
- il est préférable d'éviter d'avoir à connaître précisément le contexte de l'opération (critère des travaux lourds atteint ou non) pour dimensionner les éléments non structuraux d'un bâtiment.

Pour ces raisons, il a été décidé de retenir le principe suivant :

Les paramètres de calcul à prendre en compte pour le dimensionnement des éléments non-structuraux dans un bâtiment existant sont ceux qui seraient appliqués à un bâtiment existant faisant l'objet de travaux lourds.

Dans le cas où l'ajout d'ENS fait partie d'un projet de réhabilitation ayant conduit à une analyse sismique du bâtiment existant, il est pertinent de retenir, pour la justification des ENS, l'accélération de calcul réduite utilisée pour le dimensionnement des structures de cet existant.

*Remarque 1 : sauf cas exceptionnel, l'entreprise réalisant l'ajout ou le remplacement d'un ENS dans un bâtiment existant ne dispose d'aucune information sur le comportement parasismique du bâtiment, voire sur la classe de sol.*

*Si l'ajout ou le remplacement de l'ENS dans le bâtiment existant est associé à une mise en conformité parasismique structurelle globale, les paramètres nécessaires à la justification des ENS sont alors normalement connus.*

*Dans le cas contraire, seule peut être réalisée à coûts et délais maîtrisés une justification « enveloppe » sur la base des paramètres non connus (la position dans le bâtiment et la classe de sol pouvant être connues pour un projet donné). Envisager la réalisation d'une étude destinée à évaluer le comportement parasismique du bâtiment en amont de l'ajout/remplacement d'un ENS ne paraît pas réaliste.*

*Remarque 2 : les bâtiments neufs sont conçus et réalisés de manière à permettre de dissiper une partie de l'énergie sismique grâce à la ductilité des matériaux et de leurs éléments. Cet endommagement contrôlé réduit le niveau de résistance nécessaire pour supporter l'action du séisme. Certains bâtiments anciens qui ne possèdent pas cette ductilité peuvent paradoxalement présenter une résistance supérieure à celle des bâtiments neufs, et transmettre des accélérations plus importantes. Ils sont toutefois susceptibles de rompre brutalement.*

### III. LE COMPORTEMENT D'UN BATIMENT AU SEISME

#### 1. Les principes de base

Lors des tremblements de terre, les mouvements du sol d'assise font entrer les bâtiments en vibration. Chaque bâtiment vibre selon ses caractéristiques dynamiques propres : on parle alors de modes de vibration (voir aussi article III.4d).

Un mode de vibration est caractérisé par une période de vibration  $T$  (la durée d'une oscillation), et ne dépend que des masses et des rigidités du bâtiment.

Ce mouvement par oscillations se traduit par des accélérations à chaque niveau du bâtiment (différentes à chaque niveau et variables dans le temps), ce qui engendre des forces d'inertie du fait de l'accélération des masses en présence.

Ces efforts d'inertie, qui sont ceux calculés par les ingénieurs en application des règles de construction parasismique, sont repris par les éléments de structure formant le contreventement.

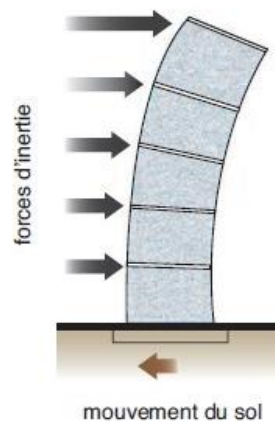


Fig. III-1 – Les forces d'inertie (extrait Cimbeton – Béton et construction parasismique - 2009)

Les accélérations sont les plus fortes là où le mouvement du bâtiment est le plus important :

- en partie supérieure du bâtiment (voir fig. III-1 ci-dessus)
- dans les parties les plus excentrées d'un niveau, lorsque le bâtiment est sensible à la torsion (voir fig. III-2 ci-dessous)

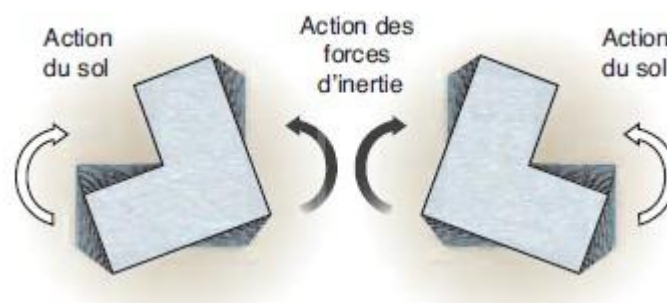


Fig. III-2 – Forces d'inertie et torsion (extrait Cimbeton – Béton et construction parasismique - 2009)

## 2. Influence des éléments non structuraux dans un bâtiment

La présence des éléments non-structuraux dans un ouvrage est généralement prise en compte de manière forfaitaire :

- leur raideur n'intervient pas dans la réponse du bâtiment,
- leur masse est prise en compte dans l'analyse structurale par l'intermédiaire des masses liées aux charges permanentes forfaitaires.

D'une manière générale, la masse des éléments non structuraux est supposée faible devant la masse de la structure. Elle ne modifie pas de manière significative la réponse dynamique de la structure (cette réponse dépend uniquement des masses et des raideurs en présence).

Lorsque cette condition n'est pas respectée, ou lorsque la raideur des éléments non structuraux est susceptible de perturber le fonctionnement de la structure primaire (cas par exemple d'un remplissage en maçonnerie), il est alors nécessaire de prendre en compte, dans le modèle d'analyse dynamique de la structure, l'influence de ces éléments.

L'ajout ou le remplacement d'éléments non structuraux dans un bâtiment existant ne doit pas aggraver la vulnérabilité au séisme du bâtiment. On se reportera au *guide AFPS – Non aggravation des bâtiments existants* pour les critères permettant de vérifier cette non-aggravation. Ceux-ci seront essentiellement basés sur la modification des masses et des raideurs associées aux ENS supprimés ou ajoutés.

On rappelle qu'il n'est pas judicieux de disposer des éléments (structuraux, non structuraux ou équipements) enjambant un joint désolidarisant deux bâtiments (ou deux blocs de bâtiments) en raison des mouvements différentiels susceptibles de se produire dans cette zone (même hors séisme). Si cette configuration ne peut être évitée (c'est par exemple le cas lorsque des canalisations desservent plusieurs blocs), des dispositions doivent être mises en œuvre pour absorber les déplacements potentiels.

## 3. Les paramètres du calcul

L'arrêté du 22 octobre 2010 modifié fixe la valeur des paramètres utiles au calcul sismique des bâtiments réalisés selon l'EC8-1.

### a. L'accélération de calcul $a_g$

Cette accélération dépend de la zone sismique et de la catégorie d'importance du bâtiment (voir article II.1 du présent document) :

Zone de sismicité	Catégorie d'ouvrage			
	I	II	III	IV
1	/	/	/	/
2	/	/	0,84	0,98
3	/	1,10	1,32	1,54
4	/	1,60	1,92	2,24
5	/	3,00	3,60	4,20

Tableau III-1 : Accélération de calcul  $a_g$  (en  $m/s^2$ )

### b. Le coefficient de sol S

Ce coefficient traduit le fait que les conditions de sol peuvent amplifier les ondes sismiques :

Classe de sol	S (zones 1 à 4)	S (zone 5)
A	1,00	1,00
B	1,35	1,20
C	1,50	1,15
D	1,60	1,35
E	1,80	1,40

Tableau III-2 : Coefficient de sol S

### c. Le spectre de calcul $S_d(T)$

Le calcul sismique fait appel à des notions de dynamique des structures. Les efforts sismiques découlent de l'accélération des masses du bâtiment pendant le séisme.

Les accélérations de ces masses sont exprimées sous la forme d'une amplification de l'accélération de calcul en fonction des périodes de vibration propre du bâtiment (la période de vibration est l'inverse de la fréquence de vibration  $f = 1/T$ ).

Le graphe de cette accélération amplifiée est le spectre de réponse, dont la forme est définie dans l'EC8-1 (art. 3.2.2.5) et les paramètres fixés par l'arrêté du 22 octobre modifié pour les bâtiments :

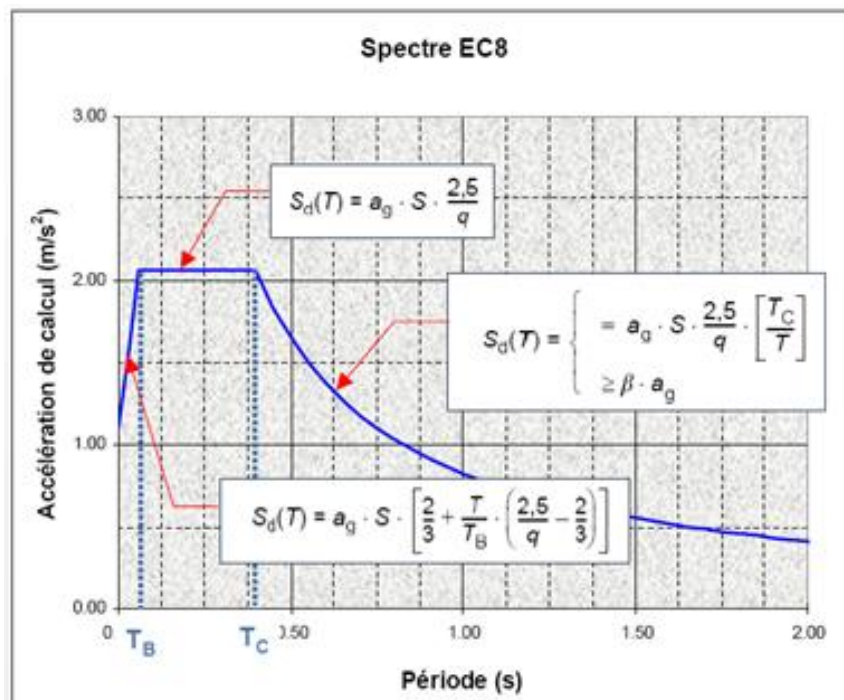


Figure III-3 : Spectre de dimensionnement  $S_d(T)$

On constate que l'amplification est maximale (avec un facteur 2,5) au palier du spectre, donc pour les périodes comprises entre  $T_B$  et  $T_C$ , dont les valeurs dépendent de la classe de sol :

Classe de sol	Zone de sismicité 1 à 4			Zone de sismicité 5		
	$T_B$	$T_C$	$T_D$	$T_B$	$T_C$	$T_D$
A	0,03	0,20	2,50	0,15	0,40	2,00
B	0,05	0,25	2,50	0,15	0,50	2,00
C	0,06	0,40	2,00	0,20	0,60	2,00
D	0,10	0,60	1,50	0,20	0,80	2,00
E	0,08	0,45	1,25	0,15	0,50	2,00

Tableau III-3 : Paramètres du spectre de réponse

#### **d. Les périodes de vibration du bâtiment**

Tous les ouvrages peuvent être caractérisés par leurs modes de vibration. Ces modes ne dépendent que des masses et des raideurs en présence et peuvent être représentés par des périodes de vibration (ou leur inverse : les fréquences de vibration).

Les périodes propres sont normalement évaluées à partir d'une modélisation élastique dynamique de la structure, mais il est possible d'utiliser des formules approchées selon le type et la régularité de la structure. L'EC8-1 fournit des méthodes applicables selon les cas (art. 4.3.3).

Lorsque le comportement d'ensemble d'une structure sous séisme peut être déduit d'un mode particulier, on parle alors de mode fondamental.

#### **e. Le coefficient de comportement**

Lorsqu'on ne vise que l'objectif de non-effondrement pour un bâtiment (exigence réglementaire correspondant à la protection des personnes), un comportement non linéaire des éléments principaux de la structure est accepté. On autorise donc l'endommagement de ces éléments en cas de séisme, sans garantie de remise en état possible. Le calcul sismique est alors effectué à partir du spectre de dimensionnement réduit par un coefficient de comportement  $q$ , dont la valeur dépend des capacités ductiles du bâtiment et du niveau de mobilisation de ces capacités par le séisme de référence.

Les valeurs maximales pour le coefficient de comportement  $q$  sont fournies dans les chapitres matériaux de l'EC8-1 en fonction des partis constructifs. Des dispositions constructives et des justifications sont associées à ces valeurs.

La réduction apportée par le coefficient de comportement  $q$  s'applique aux accélérations et aux efforts inertiels mais non aux déformations, la ductilité permettant justement de tolérer de plus fortes déformations sans accroissement des efforts, ni endommagement dangereux des structures.

La déformation effective de la structure à considérer est donc la déformation élastique associée à l'effort non-réduit ; l'EC8-1 art 4.3.4(1)P impose de remultiplier par le coefficient  $q$  les déformations obtenues avec le modèle de calcul sous l'effort de dimensionnement (réduit par  $q$ ).



## IV. LES DISPOSITIONS DE L'EC8 POUR LES ENS

### 1. Eurocodes et éléments non structuraux

L'arrêté du 22 octobre 2010 modifié relatif aux bâtiments impose l'application de l'Eurocode 8 (EC8) et par ricochet l'application des autres Eurocodes (EC).

Les Eurocodes sont des textes qui s'adressent aux éléments de structure (cf. EC0 – article 1.1). Ils ne sont donc pas conçus pour justifier les éléments non-structuraux qui font l'objet de textes spécifiques.

Par contre, comme les actions imposées sous séisme aux ENS découlent des mouvements de la structure, on trouve bien dans l'EC8 des spécifications utiles pour le dimensionnement et la justification des éléments non-structuraux et de leurs fixations, comme par exemple l'intensité des efforts et la valeur des déformations que ces éléments auront à subir en cas de séisme.

On propose de présenter et commenter dans les articles qui suivent les différentes clauses de l'EC8-1 pouvant concerner les éléments non structuraux.

### 2. L'exigence de sécurité des personnes

#### 4.3.5 Éléments non structuraux

##### 4.3.5.1 Généralités

(1)P Les éléments non structuraux (éléments accessoires) des bâtiments (par exemple, garde-corps, antennes, éléments mécaniques secondaires et équipements, murs rideaux, cloisons, clôtures) qui peuvent, en cas de rupture, exposer les personnes à des risques ou affecter la structure principale du bâtiment ou l'exploitation des installations présentant des risques particuliers, doivent être vérifiés — ainsi que leurs supports — en vue de résister à l'action sismique de calcul.

(2)P Dans le cas d'éléments non structuraux de grande importance ou particulièrement dangereux, l'analyse sismique doit être fondée sur une modélisation réaliste des structures concernées et sur l'utilisation de spectres de réponse appropriés. Ces derniers sont déduits de la réponse des éléments de structure formant support et faisant partie du système sismique principal.

(3) Dans tous les autres cas, des simplifications de cette procédure (par exemple, comme indiqué en 4.3.5.2(2)) sont admises, sous réserve de justification.

Cette clause dans laquelle figurent 2 principes (les alinéas (1) et (2) repérés par la lettre P) appelle des commentaires sur plusieurs points :

#### a. Les éléments concernés

On note que l'EC8 ne distingue pas les équipements des éléments non structuraux. Cela peut se comprendre à l'éclairage de notre article IV.1 ci-dessus : les Eurocodes sont des textes destinés aux éléments de structure. Tous les autres éléments sont regroupés sous la dénomination « éléments non structuraux » (voir art. I.2 des présentes Recommandations).

On rappelle également que les éléments couverts par le présent texte ne sont pas tous ceux listés par l'EC8-1 (voir article I.4).

*Remarque : les équipements (au sens du présent document) ne sont pas couverts par ces Recommandations. Une analyse de risque pourrait toutefois conduire à les justifier sous séisme s'ils sont susceptibles d'engendrer un risque direct ou indirect pour les personnes. Les équipements étant généralement de taille et de masse limitées dans un bâtiment, cette justification pourra souvent se réduire à vérifier que leurs fixations sont capables de supporter l'effort inertiel généré par le séisme.*

## **b. Les objectifs de comportement**

Cette clause vise uniquement la sécurité des personnes. Le risque peut être direct (la chute de l'élément non structural entraîne une blessure ou la mort des personnes exposées) ou indirect (l'élément non structural endommage ou perturbe le bon fonctionnement d'un élément de structure). Elle répond en cela à l'objectif de comportement défini en EC8-1 (art. 2.2.2(6)) :

(6)P Il doit être vérifié que, sous l'effet de l'action sismique de calcul, le comportement des éléments non structuraux ne présente pas de risque pour les personnes et n'a pas d'effet défavorable sur la réponse des éléments structuraux. Pour les bâtiments, des règles spécifiques sont données en 4.3.5 et 4.3.6.

On peut déduire *a contrario* qu'un élément dont la défaillance n'entraîne pas d'accroissement notable du risque pour les personnes et ne perturbe pas le fonctionnement de la structure peut ne faire l'objet d'aucune disposition particulière au sens de la réglementation parasismique.

Ainsi, des éléments non structuraux surplombant une zone sans occupation humaine (par exemple une terrasse non accessible pouvant supporter leur impact) peuvent ne pas faire l'objet de dispositions parasismiques.

De la même manière, la présence d'un réceptacle capable de recueillir les éventuels débris des éléments situés plus haut permet de s'affranchir des dispositions parasismiques applicables normalement à ces éléments.

*Remarque : ceci n'est vrai que vis-à-vis de l'exigence portant sur la sécurité des personnes. Des dispositions pourraient être imposées pour satisfaire l'exigence de limitation des dommages (voir articles IV.3 et IV.7a de ces Recommandations).*

## **c. Éléments courants ou de grande importance**

L'EC8-1 distingue deux procédures pour la justification des éléments non structuraux :

- pour les éléments courants, des procédures simplifiées voire forfaitaires sont autorisées ;
- pour les éléments de grande importance (par leurs dimensions, leur masse) ou particulièrement dangereux (par le risque qu'ils font courir aux personnes ou à la structure), un calcul spécifique est imposé, tenant compte de la réponse réelle du bâtiment et de l'emplacement des ENS concernés. On considère en effet que le risque peut difficilement être couvert par des dispositions ou justifications forfaitaires.

Les éléments non structuraux dont la raideur ne peut pas être considérée comme négligeable (par exemple certains panneaux de façade bridant les mouvements de la structure support) modifient le comportement au séisme de la structure et doivent être considérés comme des éléments de grande importance. Ils doivent être pris en compte dans la modélisation de la structure et faire l'objet de justifications, qui peuvent être inspirées de celles de l'article 4.3.6 de l'EC8-1 applicable aux ossatures avec remplissage en maçonnerie.

## **d. Critères d'importance pour les éléments non structuraux**

Les critères permettant de classer un élément parmi les éléments devant faire ou non l'objet de dispositions parasismiques, voire comme un élément de grande importance peuvent être basés sur des paramètres comme :

- la hauteur potentielle de chute de l'élément ou de ses débris,

- la masse de référence (par exemple la masse rapportée à un point de fixation ou la masse surfacique, selon les cas).

En fonction des éléments, d'autres critères plus pertinents peuvent être envisagés :

- inclinaison du support,
- dimensions ou surface de l'élément ou d'un parement.

Ces critères peuvent se mettre sous une forme graphique comme celle proposée ci-dessous. Les risques et donc les critères qui en découlent étant spécifiques à chaque famille d'ENS, ce type de graphique devra donc être décliné pour chacune des familles étudiées.

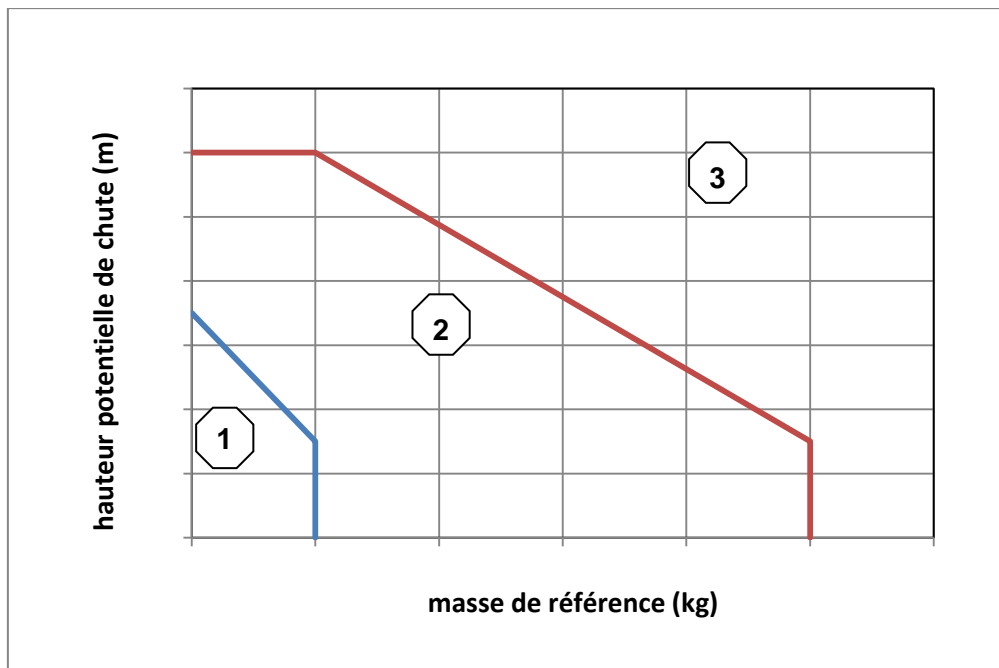


Figure IV-1 : Critères d'importance de l'élément non structural (valeurs proposées pour exemple)

Région 1 du graphique : le risque pour les personnes est nul ou très faible : aucune disposition parasismique n'est exigée (hors éventuelle disposition relative à la limitation des dommages – cf. IV.3).

Région 2 : élément non structural courant. Il y a risque potentiel pour les personnes. Des dispositions parasismiques sont à prévoir, sauf si l'analyse de la tenue au séisme indique que les critères de résistance et de déformation sont satisfaits. L'approche simplifiée est permise.

Région 3 : élément non structural de grande importance. Il y a risque pour les personnes. L'approche simplifiée de l'EC8-1 n'est pas permise. Un calcul spécifique est nécessaire.

*Remarque 1 : Le classement des ENS en régions ne correspond pas à une augmentation des exigences parasismiques. Il acte au contraire le fait que les ENS de la région 1 ne sont pas assujettis à des dispositions parasismiques. Pour ceux de la région 2, ce classement impose que la question de la tenue au séisme soit posée, et que les dispositions pertinentes soient proposées le cas échéant.*

*Remarque 2 : ce classement par régions des ENS a été entériné par l'arrêté du 15 septembre 2014 modifiant l'arrêté du 22 octobre 2010 (nouvel article 4.VI.a de l'arrêté).*

### 3. L'exigence de limitation des dommages

L'exigence de limitation des dommages définie en 2.1(1) de l'EC8-1 permet de limiter le coût global des réparations suite à un séisme de période de retour plus faible que le séisme de référence.

— Exigence de limitation des dommages.

La structure doit être conçue et construite pour résister à des actions sismiques présentant une probabilité de se produire plus importante que les actions sismiques de calcul, sans qu'apparaissent des dommages et des limitations d'exploitation, dont le coût serait disproportionné par rapport à celui de la structure. L'action sismique à prendre en compte pour l'exigence de «limitation des dommages» présente une probabilité de dépassement,  $P_{DLR}$ , en 10 ans et une période de retour,  $T_{DLR}$ . En l'absence d'informations plus précises, le coefficient de réduction appliqué à l'action sismique de calcul selon 4.4.3.2(2) peut être utilisé pour obtenir l'action sismique permettant de vérifier l'exigence de «limitation des dommages».

L'enjeu est donc économique. Cette exigence ne concerne pas la sécurité des personnes.

#### 4.4.3 Limitation des dommages

##### 4.4.3.1 Généralités

(1) L'exigence de «limitation des dommages» est considérée comme satisfaite si, pour une action sismique ayant une plus forte probabilité d'occurrence que l'action sismique de calcul correspondant à l'exigence de «non-effondrement» conformément à 2.1(1)P et 3.2.1(3), les déplacements entre étages sont limités conformément à 4.4.3.2.

(2) Des vérifications supplémentaires pour la limitation des dommages peuvent être requises dans le cas de bâtiments importants pour la protection civile ou qui contiennent des équipements sensibles.

*Remarque : la clause 4.4.3.1(2) indique en creux que l'exigence de limitation des dommages ne porte pas sur la fonctionnalité des éléments.*

### 4. Les efforts subis par les ENS

#### 4.3.5.2 Vérifications

(1)P Les éléments non structuraux, ainsi que leurs liaisons, tirants ou ancrages, doivent être vérifiés pour la situation sismique de calcul (voir 3.2.4).

#### a. Les efforts sismiques supportés par les ENS et leurs fixations

Les efforts subis par un ENS lors d'un séisme proviennent de :

- l'effort inertiel causé par l'accélération des masses de l'ENS pendant le séisme,
- l'effort cinématique dû au mouvement de la structure support, entraînant une différence des déplacements imposés aux appuis de l'ENS.

L'EC8-1 fournit des approches simplifiées pour le calcul des efforts inertiels (cf. IV.5) et pour les déformations imposées aux appuis (cf. IV.7).

En pratique, ces 2 effets seront rarement cumulés pour dimensionner les ENS, leurs fixations et leurs ancrages du fait de l'approche enveloppe utilisée dans la plupart des cas pour la définition des efforts d'origine inertielle (prise en compte des hypothèses les plus défavorables).

Il suffira alors de vérifier successivement :

- la capacité de l'ENS et de ses fixations à supporter les efforts d'origine inertielle (voir art. IV.5 et IV.6 des présentes Recommandations),
- la capacité de l'ENS à supporter les déformations qui lui sont imposées (voir IV.7).

Toutefois, dans le cas où un ENS et ses fixations seraient dimensionnés plus finement, à partir des accélérations et des déformations calculées de manière précise dans la structure, le cumul des effets inertiel et cinématique serait à envisager, afin de ne pas sous-évaluer les efforts supportés par l'ENS et ses fixations.

### **b. Direction sismique d'étude**

L'EC8-1 s'intéresse de manière privilégiée à la composante horizontale du séisme (voir IV.5). Cela correspond au cas général des éléments verticaux, pour lesquels cette composante est la plus défavorable.

Dans le cas d'éléments horizontaux (ex : plafonds suspendus), la composante sismique verticale joue un rôle défavorable. La formulation des articles 4.3.5.1 (2)P et (3) de l'EC8-1 laisse la porte ouverte à une adaptation de la méthode proposée pour prendre en compte la composante verticale si nécessaire (voir IV.6).

*Remarque : l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié n'impose pas la prise en compte de la composante verticale du séisme si l'accélération verticale  $a_{vg}$  est inférieure à  $2,5 \text{ m/s}^2$  (cf. art. 2.3 du Guide DHUP 2014). Ceci peut conduire à sous-évaluer notablement les effets du séisme sur certains éléments particulièrement sensibles à cette action (éléments inclinés ou horizontaux). Une attention toute particulière devra donc être portée dans ces cas (voir partie II des Recommandations AFPS).*

### **c. Combinaison des composantes sismiques**

Compte tenu des approches conservatives usuellement adoptées pour la définition des efforts agissant sur un ENS et ses fixations, il n'est généralement pas nécessaire de combiner les effets des composantes horizontales et verticale du séisme pour justifier la tenue au séisme de l'ENS et de ses fixations. Chaque composante pourra donc être prise de manière isolée.

Cependant, si cette simplification conduit manifestement à négliger un mode de fonctionnement de l'ENS ou de ses fixations (par exemple ENS situé dans un plan incliné) ou si les efforts dans l'ENS et ses fixations sont déterminés de manière précise selon leur position dans le bâtiment, la prise en compte des réponses cumulées est nécessaire. Les dispositions de l'article 4.3.3.5 de l'EC8-1 pourront être utilisées pour ce cumul des réponses (combinaison quadratique ou combinaison de Newmark).

### **d. Combinaison de l'action sismique avec les autres actions**

On trouve les informations utiles dans l'EC8-1 (art. 3.2.4) qui renvoie à l'EC0 :

#### **3.2.4 Combinaisons de l'action sismique avec d'autres actions**

(1)P La valeur de calcul  $E_d$  des effets des actions en situation sismique doit être déterminée conformément à l'EN 1990:2002, 6.4.3.4.

#### 6.4.3.4 Combinaisons d'actions pour les situations de projet sismiques

(1) Il convient d'adopter comme format général des effets des actions :

$$E_d = E \left\{ G_{k,j} ; P ; A_{Ed} ; \psi_{2,i} Q_{k,i} \right\} \quad j \geq 1 ; i \geq 1 \quad \dots (6.12a)$$

(2) La combinaison des actions entre parenthèses { } peut s'exprimer par :

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_{Ed} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad \dots (6.12b)$$

Les éléments non structuraux n'étant généralement pas soumis à des charges d'exploitation, cette dernière combinaison se réduit alors à la combinaison  $G + A_{E,d}$  dans laquelle :

- $G$  représente les effets des charges permanentes
- $A_{E,d}$  représente les effets du séisme, engendrés par les actions inertielles (voir art. IV.5 et IV.6) et les déformations imposées par la structure (voir art. IV.7)

### 5. Efforts sismiques d'origine inertielle : composante horizontale

L'article 4.3.5.2 de l'EC8-1 précise les effets de l'action sismique de calcul à prendre en compte. Il s'agit des effets d'origine inertielle : ces efforts sont dus à l'accélération des masses de l'ENS (voir art. III.1).

#### 4.3.5.2 Vérifications

(1)P Les éléments non structuraux, ainsi que leurs liaisons, tirants ou ancrages, doivent être vérifiés pour la situation sismique de calcul (voir 3.2.4).

NOTE Il convient de prendre en compte la transmission locale des efforts dus à l'ancrage des éléments non-structuraux sur la structure, ainsi que leur influence sur le comportement structurel. Les dispositions à prendre pour l'ancrage dans le béton sont donnés dans l'EN1992-1-1:2004, 2.7.

(2) Les effets de l'action sismique peuvent être déterminés en appliquant aux éléments non structuraux une force horizontale  $F_a$  définie comme suit :

$$F_a = (S_a \cdot W_a \cdot \gamma_a) / q_a \quad \dots (4.24)$$

avec :

$F_a$  force sismique horizontale, agissant au centre de gravité de l'élément non structural, dans la direction la plus défavorable ;

$W_a$  poids de l'élément ;

$S_a$  coefficient sismique applicable aux éléments non structuraux (voir (3) du présent paragraphe) ;

$\gamma_a$  coefficient d'importance de l'élément (voir 4.3.5.3) ;

$q_a$  coefficient de comportement de l'élément (voir le Tableau 4.4) ;

(3) Le coefficient sismique  $S_a$  peut être calculé en utilisant l'expression suivante :

$$S_a = \alpha \cdot S \cdot [3 (1 + z/H) / (1 + (1 - T_a/T_1)^2) - 0,5] \quad \dots (4.25)$$

avec :

$\alpha$  rapport entre l'accélération de calcul au niveau d'un sol de classe A,  $a_g$ , et l'accélération de la pesanteur  $g$  ;

$S$  paramètre du sol ;

$T_a$  période fondamentale de vibration de l'élément non structural ;

$T_1$  période fondamentale de vibration du bâtiment dans la direction appropriée ;

$z$  hauteur de l'élément non structural au-dessus du niveau d'application de l'action sismique (au-dessus du niveau des fondations ou du sommet d'un soubassement rigide) ;

$H$  hauteur du bâtiment depuis les fondations ou le sommet d'un soubassement rigide.

La valeur du coefficient sismique  $S_a$  ne peut pas être prise inférieure à  $\alpha \cdot S$ .

### a. Coefficient d'importance

#### 4.3.5.3 Coefficients d'importance

- (1)P Pour les éléments non structuraux suivants, le coefficient d'importance  $\gamma_a$  ne doit pas être inférieur à 1,5 :
- éléments d'ancrages de machines et d'équipements nécessaires au fonctionnement des réseaux vitaux ;
  - réservoirs et récipients contenant des substances toxiques ou explosives, présentant des risques pour la sécurité publique.
- (2) Dans tous les autres cas, le coefficient d'importance  $\gamma_a$  d'un élément non structural peut être pris égal à 1,0.

Pour les éléments non structuraux des bâtiments couverts par ces Recommandations, la valeur du coefficient d'importance  $\gamma_a$  est prise égale à 1,0.

### b. Coefficient de comportement

#### 4.3.5.4 Coefficients de comportement

- (1) Les valeurs maximales du coefficient de comportement  $q_a$  pour les éléments non structuraux sont indiquées dans le Tableau 4.4.

Tableau 4.4 — Valeurs de  $q_a$  pour les éléments non structuraux

Type d'élément non structural	$q_a$
Garde-corps ou ornements Signalisations et panneaux d'affichage Cheminées, mâts et réservoirs sur poteaux se comportant en consoles non contreventées sur plus de la moitié de leur hauteur totale	1,0
Murs de façade et intermédiaires Cloisons et façades Cheminées, mâts et réservoirs sur poteaux, se comportant en consoles non contreventées sur moins de la moitié de leur hauteur totale, ou contreventées ou haubanées à la structure au niveau ou au-dessus de leur centre de gravité Éléments de fixations des meubles lourds et des bibliothèques supportés par les planchers Éléments de fixations des faux-plafonds et autres dispositifs légers de fixation	2,0

Ce coefficient traduit le fait qu'on accepte, pour les éléments concernés ou pour leurs fixations, un endommagement sous séisme, dès lors que la sécurité des personnes n'est pas menacée.

Tel que présenté par l'EC8, il prend également en compte la redondance du système, qui permet une certaine redistribution de l'effort sismique entre fixations.

En pratique, ce coefficient permet de réduire la valeur de l'action sismique dès lors qu'une rupture fragile entraînant une chute de l'ENS peut être écartée.

Cet endommagement, qui peut être une déformation, un glissement des assemblages, voire une rupture partielle, dissipe une partie de l'énergie apportée par le séisme. L'effort réellement supporté par l'ENS (fig IV-3) est alors plus faible que celui que cet ENS aurait eu à subir s'il était resté dans le domaine purement élastique, sans endommagement (fig. IV-2).

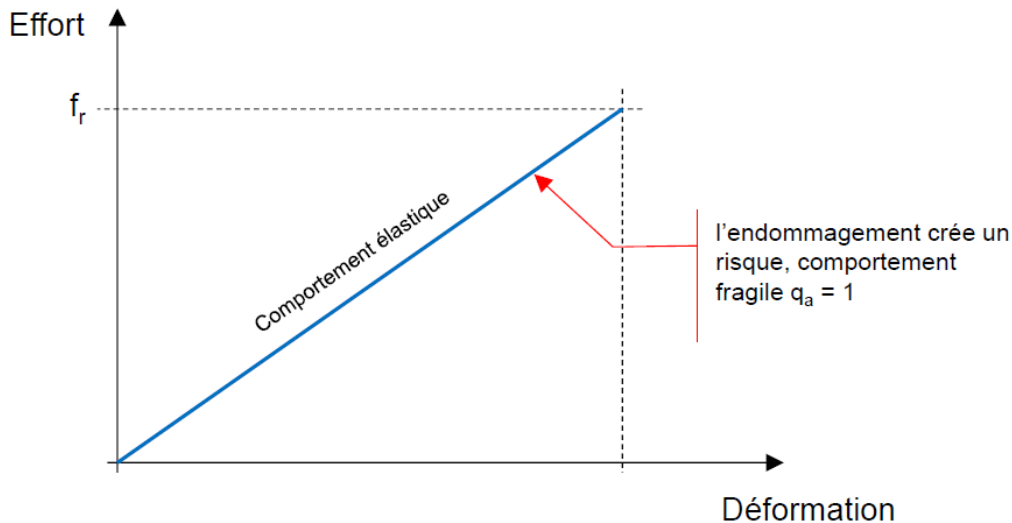


Figure IV-2 – Principe du coefficient de comportement  $q_a$  – Comportement fragile

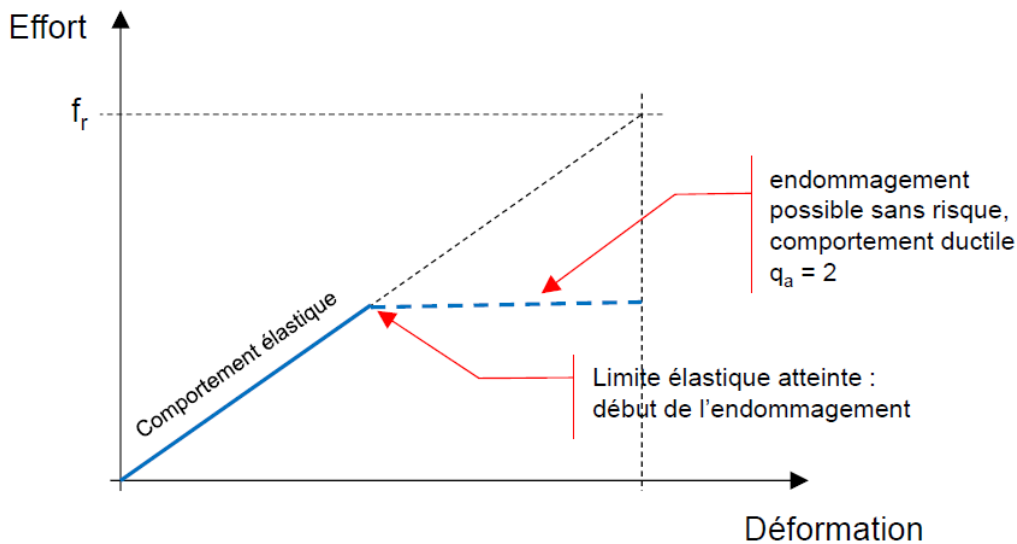


Figure IV-3 – Principe du coefficient de comportement  $q_a$  – Comportement ductile

Par exemple, si le vitrage d'un panneau de façade est feuilleté ou trempé, le panneau peut subir un effort dépassant sa capacité résistante. Le panneau sera fortement endommagé mais les morceaux ne blesseront pas les personnes. On peut donc admettre  $q_a = 2$ .

Par contre, si le vitrage est en verre recuit (et que c'est bien le verre qui encaisse les efforts), l'endommagement du panneau pourrait entraîner des chutes de débris pouvant occasionner de graves blessures pour les personnes. On doit alors prendre  $q_a = 1$ .

*Remarque : La valeur de  $q_a$  pertinente pour un ENS ou une famille d'ENS (à savoir  $q_a = 1$  ou  $q_a = 2$ ) peut être issue d'essais. Pour ces essais, le niveau d'excitation à appliquer aux points d'ancrage de l'ENS testé doit représenter l'effort transmis par la structure support. Les efforts réellement développés dans l'élément non structural (et ses fixations) seront intrinsèquement réduits par la ductilité du système et l'endommagement de l'ENS (comme décrit plus haut).*

Les valeurs de  $q_a$  fournies par le tableau sont des valeurs maximales. Il est donc possible de choisir la valeur  $q_a = 1$  dans les calculs, même pour des éléments pour lesquels l'EC8-1 autoriserait une valeur  $q_a = 2$ . Ce serait d'ailleurs la valeur à utiliser pour traiter le cas



d'éléments non structuraux dont on souhaite limiter l'endommagement sous séisme de référence (pour préserver l'étanchéité à l'eau d'une couverture ou l'étanchéité à l'air d'une façade par exemple).

**c. Application de la formule simplifiée de l'article 4.3.5**

La formule forfaitaire proposée par l'EC8-1 prend en compte :

- l'accélération de calcul  $a_g$  (dépendant de la zone sismique et de la catégorie d'importance du bâtiment – voir III.3a) au travers du coefficient sismique  $\alpha = a_g/g$ ,  $g$  étant l'accélération de la pesanteur ;
- les conditions de sol, par l'intermédiaire du coefficient de sol  $S$  (voir III.3b) ;
- le niveau dans le bâtiment auquel se trouve l'ENS, au travers de l'altitude relative  $z/H$  : l'effort est plus important en tête de bâtiment qu'à sa base (voir III.1) :

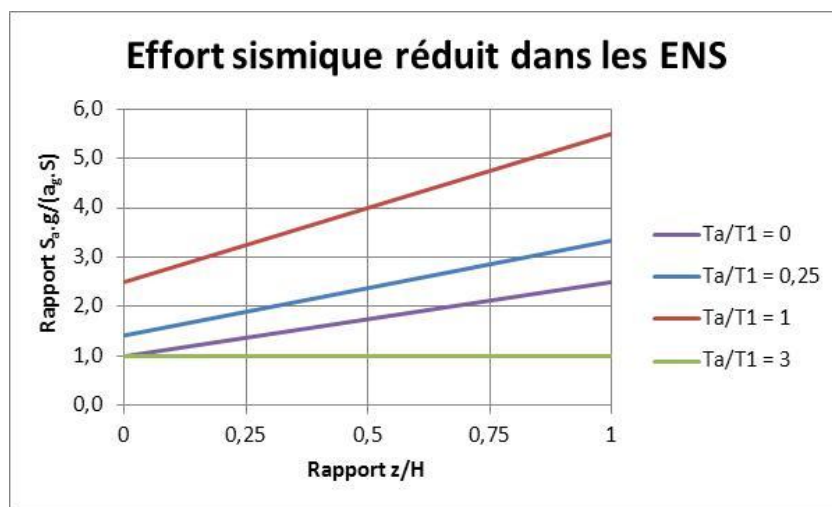


Figure IV-4 – Influence du niveau de l'ENS sur la valeur de l'effort sismique

- le rapport des périodes de l'ENS ( $T_a$ ) et de la structure ( $T_1$ ), pour couvrir l'éventuelle amplification due à une résonance :

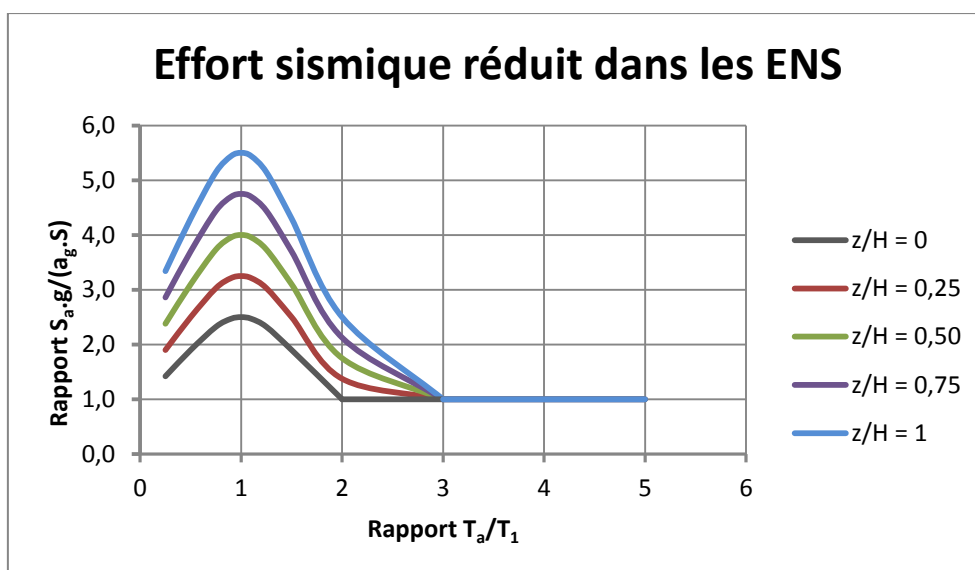


Figure IV-5 – Influence du rapport  $T_a/T_1$  sur la valeur de l'effort sismique

*Remarque : le cas  $T_a/T_1 = 0$  correspond à un ENS rigide fixé rigidement ; le cas  $T_a/T_1 = 1$  correspond à une résonance (concordance des périodes propres de l'ENS et de la structure support) conduisant à une forte amplification ;  $T_a/T_1 > 2$  correspond à un ENS fixé de manière souple sur la structure support.*

Les valeurs tabulées découlant de l'application de cette formule, pour différentes valeurs des rapports  $z/H$ ,  $T_a/T_1$  et du produit  $S \cdot a_g$  sont fournies en annexe A.

*Remarque : cette formule forfaitaire de EC8-1 a été construite en fixant certains paramètres dont en particulier un coefficient de comportement implicite de 2,5 sur la structure (cf. guide AFPS Equipements – Annexe C). Une modélisation plus fine de l'interaction entre la structure et un élément non structural (par exemple sur la base de spectres de plancher) pourrait donc conduire à des résultats différents (dans un sens comme dans un autre).*

#### **d. Dimensionnement enveloppe**

La connaissance de certaines des valeurs utiles pour le calcul ( $S$ ,  $T_a$ ,  $T_1$ ) est souvent très difficile à obtenir. On peut alors utiliser dans ce cas les valeurs qui conduisent au résultat le plus défavorable (classe de sol E, résonance entre la structure support et l'ENS, positionnement de l'ENS en haut du bâtiment).

Une valeur enveloppe de l'action sismique agissant dans un bâtiment sur un ENS et sur ses fixations est alors donnée par les formules suivantes :

Dans les zones sismiques 2, 3 et 4 :

$$F_a = 1,8 \cdot (a_g/g) \cdot 5,5 \cdot W_a / q_a = k_a \cdot W_a$$

Une version approchée est  $F_a = a_g / q_a \cdot W_a$

En zone sismique 5 :

$$F_a = 1,4 \cdot (a_g/g) \cdot 5,5 \cdot W_a / q_a = k_a \cdot W_a$$

Une version approchée est  $F_a = 0,8 \cdot a_g / q_a \cdot W_a$

Dans ces formules :

- $W_a$  est le poids de l'ENS
- $q_a$  est le coefficient de comportement de l'ENS vu précédemment ( $q_a = 1$  ou  $2$ )
- $a_g$  est l'accélération de calcul (exprimée en  $m/s^2$ ) dépendant de la zone sismique et de la catégorie d'importance de l'ouvrage (voir tableau III-1 en III.3a)
- $k_a$  est un coefficient adimensionnel qui représente alors l'influence de  $a_g$  et de  $q_a$  sur l'effort appliqué à l'ENS
- $F_a$  est donc exprimée dans la même unité que le poids  $W_a$

Les valeurs du coefficient sismique  $k_a$  peuvent être lues dans les tableaux ci-dessous :

zone de sismicité	Coefficient $k_a$ $q_a = 1$	catégorie d'importance		
		II	III	IV
2			0,85	0,99
3	1,11		1,33	1,55
4	1,61		1,94	2,26
5	2,35		2,83	3,30

Tableau IV-1a : Coefficient sismique  $k_a$  (pour  $q_a = 1$ )

zone de sismicité	Coefficient $k_a$ $q_a = 2$	catégorie d'importance		
		II	III	IV
2			0,42	0,49
3	0,56		0,67	0,78
4	0,81		0,97	1,13
5	1,18		1,41	1,65

Tableau IV-1b : Coefficient sismique  $k_a$  (pour  $q_a = 2$ )

Remarque : dans les tableaux ci-dessus, une valeur de  $k_a$  supérieure à 1 indique que l'intensité de l'effort sismique (horizontal) est supérieure à celle du poids propre (vertical).

### e. Cas du dimensionnement enveloppe – Incidence sur les fixations

Il est pratique de dimensionner les ENS dans un bâtiment à partir de la valeur maximale qu'ils pourraient subir, sans se préoccuper de leur position réelle dans le bâtiment.

Il faudra alors veiller à dimensionner leurs fixations selon la même approche, donc avec la valeur maximale ayant servi à dimensionner les ENS (quel que soit l'emplacement de l'ENS dans le bâtiment).

## 6. Efforts sismiques d'origine inertielle : composante verticale

La formule de l'article 4.3.5.2(2) de l'EC8-1 n'est pas directement applicable à la composante verticale du séisme. En effet, la formule intègre de manière implicite pour le comportement de la structure support un coefficient de comportement de l'ordre de 2 à 2,5, ce qui ne peut pas être le cas en vertical.

Le comportement des bâtiments sous action sismique verticale peut se ramener à des cas simples :

- un bâtiment est conçu pour résister aux charges gravitaires. Il présente de ce fait une raideur verticale assez forte, d'où un comportement global généralement assez

proche de celui d'un bloc rigide, avec une accélération verticale quasiment constante (peu de variation avec la hauteur) proche de celle du sol ;

- pour les éléments de structure flexibles dans le sens vertical (cas des éléments fléchis comme les planchers et les poutres), une amplification du signal sismique vertical est possible si la période de vibration de l'élément correspond à la partie haute du spectre de réponse vertical défini par l'EC8-1 (c'est le cas général).

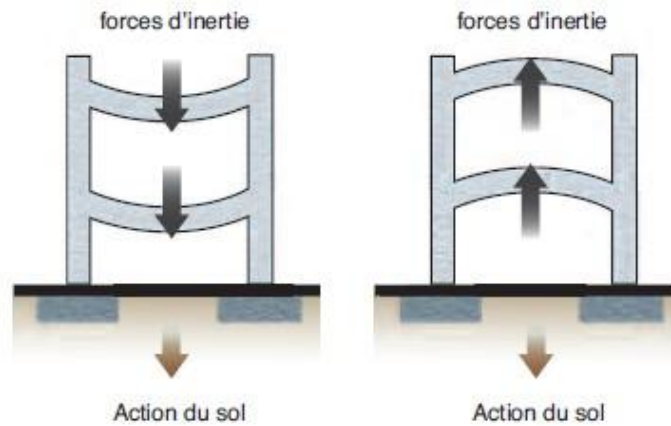


Fig. IV-6– Réponse d'un bâtiment au séisme vertical (extrait Cimbeton – Béton et construction parasismique - 2009)

Dans ces conditions, un ENS fixé dans un bâtiment peut subir une accélération différente selon l'élément sur lequel il est fixé :

- un ENS fixé à un élément de structure porteur (vertical) du bâtiment subira au niveau de ses fixations une accélération très peu amplifiée par rapport à celle qui s'applique à la base du bâtiment ;
- un ENS fixé à un élément de structure horizontal subira à ses fixations une accélération amplifiée par rapport à celle de la base du bâtiment (amplification de l'ordre de 3 pour un comportement élastique de l'élément support).

Si l'ENS (avec ses fixations) peut être considéré comme rigide, il n'y aura pas d'amplification supplémentaire et l'accélération subie par l'ENS à ses points de fixation sera celle de l'élément de structure.

Si l'ENS et ses fixations ne peuvent pas être considérés comme rigides, une amplification supplémentaire sera à prendre en compte, comme dans le cas où 2 ressorts (ressort 1 = élément de structure et ressort 2 = ENS) sont placés en série, avec des fréquences en phase (phénomène de résonance).

Si, par ailleurs, l'ENS avec ses fixations présente un comportement ductile (voir IV.4b) dans le sens vertical, on peut admettre une réduction de l'accélération subie par l'ENS, de la même manière que pour la composante horizontale (coefficient de comportement  $q_a = 2$ ).

Ceci conduit donc à une accélération dans l'ENS de l'ordre de  $3,0 \cdot a_{vg} / 2$ , soit  $1,5 a_{vg}$ . Dans cette formule,  $a_{vg}$  est l'accélération verticale au sol, dont la valeur est donnée par l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié (voir tableau IV-2).

Mais, dans la réalité, les éléments de structure verticaux ne sont jamais tout à fait rigides ni les éléments horizontaux très souples, et les ENS ne sont pas non plus infiniment rigides.

Pour ces raisons, il est possible d'adopter une valeur forfaitaire pour représenter l'amplification globale de l'accélération sismique appliquée à l'ENS.

L'accélération  $a_v$  subie par l'ENS et ses fixations peut alors être évaluée par :

$$a_v = 2.a_{vg}$$

L'accélération verticale au sol  $a_{vg}$  est fournie par l'arrêté du 22/10/2010 modifié :

Zone de sismicité	catégorie d'importance			
	I	II	III	IV
1	-	-	-	-
2	-	-	0,76	0,88
3	-	0,99	1,19	1,39
4	-	1,44	1,73	2,02
5	-	2,40	2,88	3,36

Tableau IV-2 : Accélération verticale de calcul  $a_{vg}$  (en  $m/s^2$ )

En vertical, le coefficient de sol n'intervient pas (clause 3.2.2.5(5) de l'EC8-1) :

(5) Pour la composante verticale de l'action sismique, le spectre de calcul est donné par les expressions (3.13) à (3.16), avec l'accélération de calcul du sol dans la direction verticale,  $a_{vg}$ , à la place de  $a_g$ ,  $S$  pris égal à 1,0 et les autres paramètres tels que définis en 3.2.2.3.

Ce qui donne pour  $a_v$  les valeurs tabulées suivantes :

Zone de sismicité	catégorie d'importance			
	I	II	III	IV
1	-	-	-	-
2	-	-	1,51	1,76
3	-	1,98	2,38	2,77
4	-	2,88	3,46	4,03
5	-	4,80	5,76	6,72

Tableau IV-3 : Accélération verticale  $a_v$  subie par l'ENS et ses fixations (en  $m/s^2$ )

Cette formule forfaitaire couvre les cas courants dès lors que les 2 conditions vues plus haut sont respectées :

1. L'ENS et ses fixations peuvent être considérés comme rigides, ce qui limite le risque de résonance avec la structure ;
2. L'ENS et ses fixations présentent une ductilité suffisante pour qu'un coefficient de comportement  $q_a = 2$  soit acceptable.

Lorsque ces 2 conditions ne sont pas satisfaites simultanément, une analyse plus fine est nécessaire pour évaluer l'accélération subie par l'ENS et ses fixations, du fait de l'interaction développée par l'ENS avec la structure (l'amplification peut être plus importante).

*Remarque : l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié renvoie au guide DHUP 2014 qui entérine cette formule forfaitaire, sans préciser ses conditions d'application.*

## 7. Efforts d'origine cinématique : déformation de la structure support

### a. Déplacements entre étages – Limitation des dommages

La « protection » des éléments non structuraux dans le bâtiment est associée à une limitation des déformations de la structure primaire de celui-ci. Plus l'élément à protéger est fragile, plus la déformation de la structure est limitée :

#### 4.4.3.2 Limitation des déplacements entre étages

(1) Sauf spécification contraire dans les Articles 5 à 9, les limites suivantes doivent être respectées :

a) pour les bâtiments ayant des éléments non structuraux composés de matériaux fragiles fixés à la structure :

$$d_r \nu \leq 0,005 h \quad \dots (4.31)$$

b) pour les bâtiments ayant des éléments non structuraux ductiles :

$$d_r \nu \leq 0,0075 h \quad \dots (4.32)$$

c) pour les bâtiments ayant des éléments non structuraux fixés de manière à ne pas interférer avec les déformations de la structure ou n'ayant pas d'éléments non structuraux :

$$d_r \nu \leq 0,010 h \quad \dots (4.33)$$

avec :

$d_r$  déplacement de calcul entre étages défini en 4.4.2.2(2) ;

$h$  hauteur entre étages ;

$\nu$  coefficient de réduction pour prendre en compte une plus petite période de retour de l'action sismique associée à l'exigence de limitation des dommages.

(2) La valeur du coefficient de réduction  $\nu$  peut également dépendre de la catégorie d'importance du bâtiment. Pour l'utiliser, il est implicitement supposé que le spectre de réponse élastique de l'action sismique pour lequel l'exigence «de limitation des dommages» doit être respectée (voir 3.2.2.1(1)P) a la même forme que le spectre de réponse élastique de l'action sismique correspondant à l'exigence «de non-effondrement» selon 2.1(1)P et 3.2.1(3).

La valeur du paramètre  $\nu$  est fournie par l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié :

$$\nu = 0,4$$

Ce paramètre indique que les effets du séisme « fréquent » utilisé pour la limitation des dommages sont supposés être égaux à 40% des effets du séisme de référence défini par l'arrêté du 22/10/2010 modifié.

Ceci conduit aux valeurs présentées dans le tableau et le graphique suivants :

<b>vd<sub>r</sub> : déplacement inter-étage sous séisme fréquent (cm)</b>			
h (m)	cas a) ENS fragile	cas b) ENS ductile	cas c) aucun ENS
2,5	1,25	1,88	2,50
3,0	1,50	2,25	3,00
3,5	1,75	2,63	3,50
4,0	2,00	3,00	4,00
5,0	2,50	3,75	5,00

Tableau IV-4 - Valeurs des déplacements inter-étages maximaux sous séisme fréquent

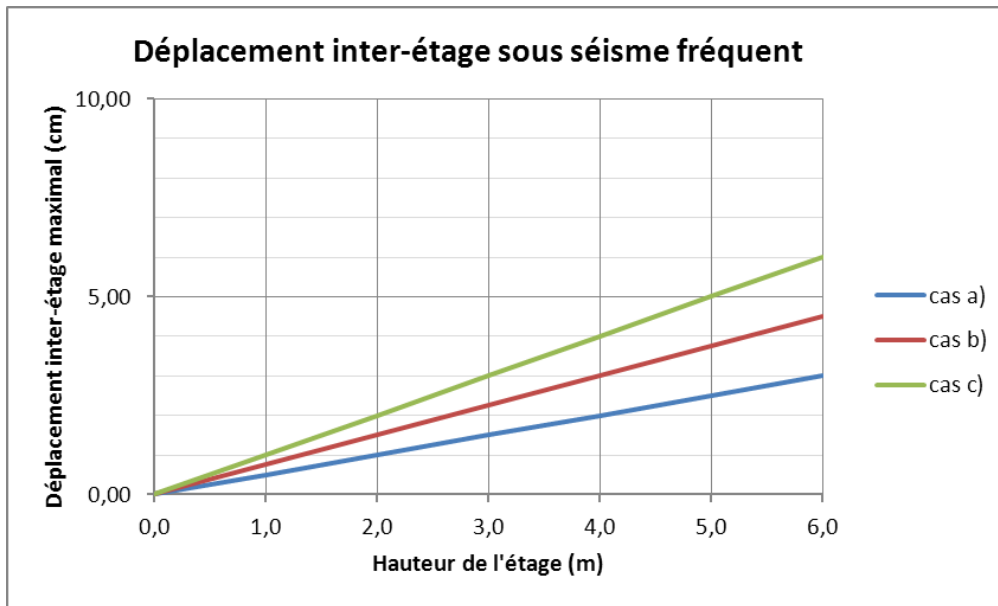


Figure IV-7 – Valeurs des déplacements inter-étages maximaux sous séisme fréquent

Le classement en fragile (cas a) ou ductile (cas b) suit la démarche utilisée pour le choix du coefficient  $q_a$  (voir IV.5b) : si l'ENS est capable de subir un endommagement sous l'effet des déformations imposées sans créer de risque pour les personnes, il relève du cas b). Dans le cas contraire, il relève du cas a).

Les ENS dont les fixations ne sont pas soumises à des déformations différentielles entre étages (par exemple des plafonds suspendus désolidarisés des éléments de structure verticaux sur leur pourtour) relèvent du cas c).

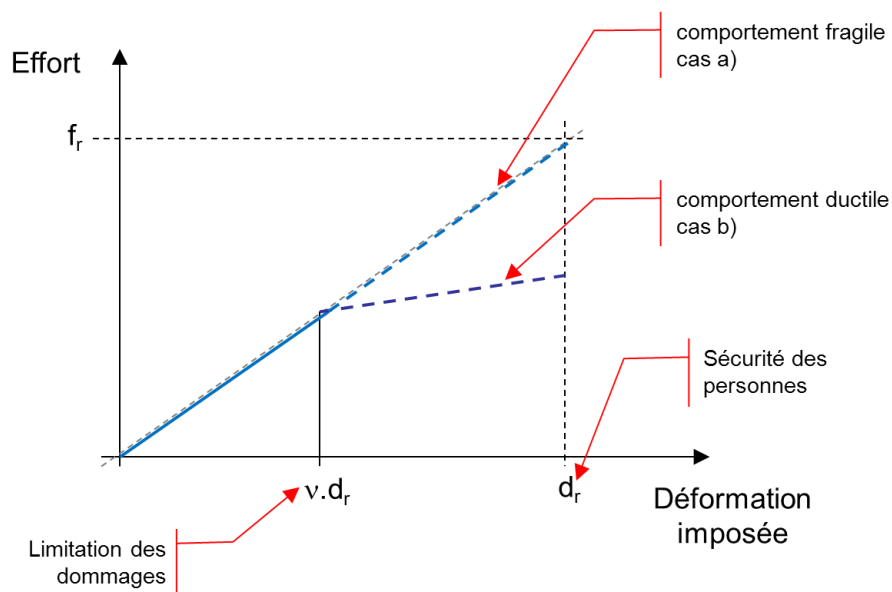


Figure IV-8 – Comportement d'un ENS – Etats limites des dommages et sécurité des personnes

*Remarque : cette justification de la limitation des dommages découle d'une approche probabiliste, comme le rappelle la clause 4.4.3.1(1). La seule vérification de la déformation maximale entre étages de la structure vaut présomption de limitation des dommages, sans qu'il soit nécessaire de justifier la bonne tenue des éléments non-structuraux sous ces déformations.*

## b. Déplacements entre étages – Sécurité des personnes

La clause EC8-1 art 4.4.3.2 concerne l'exigence de limitation des dommages, et fournit des déformations correspondant à un séisme « fréquent » dont les effets sont 2,5 fois plus faibles que ceux du séisme de référence (car  $v = 0,40$ ).

Pour la protection des personnes, c'est le séisme de référence qu'il faut envisager.

La clause 4.3.5.2 permet de calculer les efforts d'origine inertielle dans l'élément non structural et de dimensionner ses fixations à la structure support (cf. IV.4). Pour des éléments sensibles aux déformations, ceci peut ne pas suffire et des dispositions doivent être prises pour éviter la chute des éléments ou d'une partie de ceux-ci lors du séisme.

Les valeurs maximales des déformations imposées à l'ENS sous le séisme de référence peuvent être déduites de l'application de l'article 4.4.3.2. Elles correspondent au cas  $v = 1$  :

<b><math>d_r</math> : déplacement inter-étage sous séisme de référence (cm)</b>			
<b>h (m)</b>	<b>cas a) ENS fragile</b>	<b>cas b) ENS ductile</b>	<b>cas c) aucun ENS</b>
2,5	3,13	4,69	6,25
3,0	3,75	5,63	7,50
3,5	4,38	6,56	8,75
4,0	5,00	7,50	10,00
5,0	6,25	9,38	12,50

Tableau IV-5 - Valeurs des déplacements inter-étages maximaux sous séisme de référence

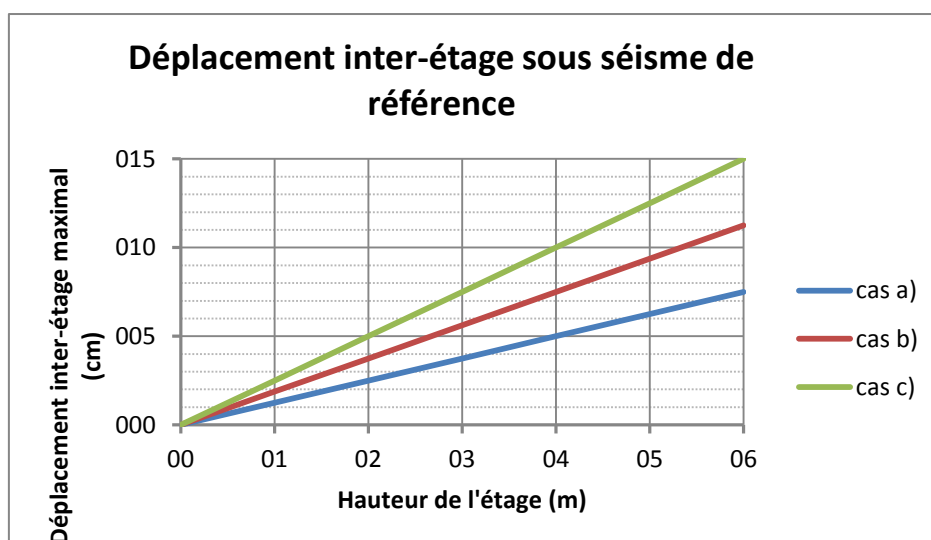


Figure IV-9 – Valeurs des déplacements inter-étages maximaux sous séisme de référence

*Remarque 1 : les valeurs des déplacements inter-étages fournies par l'EC8-1 sont très élevées. La plupart des bâtiments français présenteront des déformations inter-étages bien plus faibles. Toutefois, en l'absence d'information dans les pièces du marché (DPM), la structure sera potentiellement dimensionnée pour ces valeurs et les ENS qui y seront intégrés devront supporter celles-ci (à moins de vérifier après coup que les déformations calculées pour la structure ne dépassent pas les déformations acceptables pour l'ENS). Pour*



*pouvoir être mis en œuvre dans tous les bâtiments en France (devant respecter les dispositions parasismiques), un ENS devra donc avoir été validé pour ces déformations.*

*Remarque 2 : Une solution pour diminuer les contraintes applicables aux ENS d'un bâtiment est de spécifier pour la structure des déformations plus faibles sous séisme que celles découlant de la stricte application de l'EC8-1. C'est aussi la solution qui permettra de mettre en œuvre dans un bâtiment des ENS qui n'auront pas satisfait, lors des tests, la condition précédente de résistance aux déformations inter-étages définies par l'EC8-1.*

## **8. Principes de justification des ENS et de leurs fixations**

### **a. Justification des ENS ductiles**

L'ENS et ses fixations doivent être conçus et dimensionnés de manière à supporter les efforts et déformations engendrés par le séisme (cf. articles IV.5, IV.6 et IV.7).

Les modes de comportement ductiles sont privilégiés et les risques de rupture fragile doivent être éliminés.

Si l'ENS a été considéré comme ductile, une valeur  $q_a = 2$  a été utilisée dans le calcul des efforts. Ceci implique que le comportement de l'ENS sous séisme est gouverné par un de ses composants, qui atteindra sa limite élastique au cours du mouvement, et sera déformé de manière irréversible à la fin du séisme (cf. figure IV-3 de l'article IV.5b).

Un composant ductile doit être tel que sa résistance  $R_d$  est supérieure à la sollicitation  $E_d$  qui agit sur lui (cf. art. IV.4d). La résistance peut être déterminée par le calcul en tenant compte des coefficients partiels de sécurité adéquats ou tirée d'essais appropriés.

Les risques de rupture fragile associés aux composants non ductiles de l'ENS et à certains comportements fragiles d'éléments ductiles (par exemple le cisaillement d'éléments en béton) sont éliminés en pratiquant un dimensionnement en capacité de ces éléments, ce qui consiste à surdimensionner ceux-ci, en tenant compte du dimensionnement réel des composants ductiles (cf. IV.8e).

### **b. Justification des ENS fragiles**

L'ENS et ses fixations doivent être conçus et dimensionnés de manière à supporter les efforts et déformations engendrés par le séisme (cf. articles IV.5, IV.6 et IV.7).

Comme l'ENS a été considéré comme fragile, une valeur  $q_a = 1$  a été utilisée dans le calcul des efforts. Aucun abattement n'a donc été pris en compte dans la définition de ceux-ci.

Tous les composants de l'ENS sont justifiés de façon telle que leur résistance  $R_d$  est supérieure à la sollicitation  $E_d$  qui agit sur eux (cf. art. IV.4d). La résistance peut être déterminée par le calcul en tenant compte des coefficients partiels de sécurité adéquats ou tirée d'essais appropriés.

### **c. Justification des fixations de l'ENS**

La fixation (organe de maintien) est considérée comme une composante de l'ENS (cf. I.2). A ce titre, les articles précédents s'appliquent.

L'effort sismique peut être réparti sur l'ensemble des fixations présentes, pour autant que cela corresponde à une réalité physique : les résistances des fixations doivent être effectivement mobilisables dans la direction d'étude considérée (attention aux fixations qui ne fonctionnent que dans un sens ou une direction).

L'influence des raideurs de l'élément et de ses attaches doit être prise en considération si cela conduit à une autre répartition des efforts sur les fixations.

Un coefficient de sécurité peut être adopté pour couvrir de manière forfaitaire l'incertitude liée à cette répartition de l'action sismique sur les fixations de l'ENS.

#### **d. Justification des ancrages dans la structure**

Les éléments de structure dans lesquels les fixations de l'ENS viennent s'ancrer doivent être capables de supporter l'effort maximal qui pourra être transmis par ces fixations. La valeur à reprendre est donc la valeur résistante  $R_d$  de cette fixation et non l'effort  $E_d$  calculé pour cette fixation. Il s'agit d'un dimensionnement en capacité (voir article suivant).

Cette disposition vise à se prémunir du risque de chute global de l'ENS par endommagement des ancrages ou de la structure portante, en cas de dépassement de l'action sismique de référence, et à privilégier un endommagement à l'intérieur de l'ENS ou dans sa fixation, là où des dispositions sont prises pour accompagner cet endommagement sans risque pour les personnes.

#### **e. Dimensionnement en capacité**

Le dimensionnement en capacité consiste à dimensionner un élément, non pas directement pour l'effort que celui-ci subit, mais selon la résistance des éléments ductiles qui lui sont connectés.

Ce dimensionnement conduit à privilégier les comportements ductiles, puisque le premier élément qui atteint sa limite élastique (résistance) est le composant ductile.

On peut prendre comme exemple un revêtement en pierre attachée, composé schématiquement des éléments suivants :

- plaque de pierre,
- patte de fixation équipée d'ergots pour maintenir la plaque de pierre.

La ductilité de l'ENS est assurée par la patte de fixation (supposée métallique). Les efforts  $E_d$  sont donc calculés avec  $q_a = 2$ .

La patte de fixation est dimensionnée pour supporter ces efforts. Sa résistance est  $R_d \geq E_d$ .

La plaque de pierre a un comportement fragile. Elle doit donc être dimensionnée en capacité. Les efforts dans l'ENS étant gouvernés par les composants ductiles, le dimensionnement en capacité se fait à partir de la résistance de ceux-ci.

Ici, le composant ductile est la patte de fixation, qui atteint sa limite élastique pour une valeur d'effort égale à  $R_d$  (en réalité un peu plus que  $R_d$  si on tient compte des coefficients  $\gamma_M$  appliqués sur les matériaux). La plaque de pierre est donc susceptible de recevoir un effort  $R_d$ , et doit donc être dimensionnée pour supporter cet effort avec une marge de sécurité suffisante pour éviter tout risque de rupture fragile.

Les ancrages dans la structure support sont eux aussi dimensionnés en capacité, à partir de la valeur réellement susceptible d'être transmise à la structure par l'ENS. Il faut donc prendre en compte la résistance des pattes de fixation, soit  $R_d$ .

Cette technique de dimensionnement en capacité implique donc en général de dimensionner au plus juste les éléments ductiles, pour ne pas avoir à surdimensionner d'autant les composants fragiles. Un mécanisme de limitation de ce surdimensionnement a toutefois été prévu : il n'est pas nécessaire de dimensionner les éléments fragiles pour une valeur d'effort supérieure à celle qui aurait été obtenue avec  $q_a = 1$ , compte tenu, le cas échéant, d'une marge supplémentaire.

*Remarque : le guide DHUP a prévu une marge de 20% sur le dimensionnement en capacité des ancrages (cf. art.2.6.2)*

Une version simplifiée de cette exigence consiste à affecter un coefficient de sécurité  $\gamma_a$  sur la valeur de l'effort supporté par l'élément (par exemple  $\gamma_a = 1,5$  comme pour les ancrages selon les PS92). L'élément considéré serait alors justifié pour une valeur égale à  $\gamma_a.E_d$ . Ce dimensionnement (qui n'est pas un vrai dimensionnement en capacité) peut s'avérer dans certains cas insuffisant, si la valeur retenue pour  $\gamma_a$  ne tient pas correctement compte des capacités de redistribution des efforts dans les éléments ainsi dimensionnés.

## 9. Cas des bâtiments existants

*Remarque préalable : cet article a été rédigé avant publication de l'arrêté du 15 septembre 2014 modifiant l'arrêté du 22 octobre 2010. Cet arrêté supprime l'exigence parasismique applicable aux ENS dans les cas où la structure ne fait pas l'objet de travaux lourds et renvoie au guide DHUP : « Dimensionnement parasismique des éléments non structuraux du cadre bâti; Justifications parasismiques pour le bâtiment à risque normal » publié par les ministères du logement et de l'égalité des territoires et de l'écologie, du développement durable et de l'énergie pour les valeurs de déplacement inter-étages à utiliser. Le GT a toutefois estimé utile de conserver cet article pour garder trace des réflexions antérieures. Les valeurs du tableau final ont cependant été corrigées pour ne pas être en contradiction avec la réglementation applicable.*

L'option a été prise de traiter les éléments non structuraux des bâtiments existants de la même manière que les éléments non structuraux des bâtiments existants faisant l'objet de travaux lourds (voir article II.4c des présentes Recommandations).

Il est toutefois exceptionnel de disposer des éléments nécessaires pour évaluer la réponse au séisme d'un bâtiment existant, surtout si les seuls travaux envisagés concernent le remplacement ou l'ajout de certains éléments non structuraux.

On propose donc la démarche suivante, en l'absence de données plus précises :

- les efforts d'origine inertielle sont calculés à partir de la formule de l'EC8-1, en prenant pour hypothèses défavorables un sol de classe E et une résonance ENS-structure, soit  $T_a/T_1 = 1$  (voir art. IV.5d) ;
- les déformations subies par les éléments non structuraux sont les déformations découlant de l'application de l'article 4.4.3.2 (cf. art. IV.7), mais en considérant une raideur du bâtiment plus importante.

*Remarque : le calcul des déformations inter-étages selon la formule de l'EC8-1 conduirait à surévaluer assez fortement les déformations inter-étages. En effet, un bâtiment non conçu parasismique peut présenter (du moins jusqu'à sa rupture) une raideur plus importante que celle d'un bâtiment conçu pour dissiper l'énergie sismique en exploitant les qualités ductiles de ses éléments de structure. Par ailleurs, la plupart des bâtiments en France sont contreventés par des voiles en béton armé ou des murs de maçonnerie, et présentent une raideur assez forte. Ces raisons font que nous proposons de limiter cette déformation à une valeur plus faible.*

Ceci peut se résumer de la manière suivante :

	Déformations (dommages)	Déformations (sécurité)	efforts inertiels (sécurité)
Neuf	40%	100%	100%
existant (travaux lourds)	40% (*)	60 %	60 %
existant (hors travaux lourds)	24% forfaitaires	60% forfaitaires	60 %

*Tableau IV-6 - Valeur de l'action sismique pour les justifications des ENS  
(les cases grisées sont les cas hors réglementation)*

(\*) : la valeur a été corrigée pour être mise en conformité avec l'arrêté du 22/10/2010 modifié.

Les valeurs indiquées pour les déformations dans le tableau se lisent de la manière suivante :

- % avec forfaitaires signifie que les valeurs de référence sont les valeurs de déformation inter-étages forfaitaires de EC8-1 applicables aux bâtiments neufs (60% forfaitaires signifie alors qu'on prend 60% de la valeur forfaitaire définie pour le bâtiment neuf) ;
- % sans précision signifie que les valeurs à justifier sont celles issues du calcul de la structure pour le séisme correspondant au % indiqué (40% = séisme dont les effets sont égaux à 40% des effets du séisme de référence pour les bâtiments neufs) ou celles tirées des valeurs forfaitaires de l'EC8-1 (dans les mêmes conditions que % forfaitaires).

Dans tous les cas, pour les justifications des ENS, les déplacements issus du calcul de la structure priment sur les valeurs forfaitaires fournies par l'EC8-1 (art. 4.4.3.2).

## V. DIMENSIONNEMENT DES ENS : SYNTHÈSE

### 1. Caractérisation préalable d'un ENS

Les justifications ci-dessous visent à caractériser le comportement de l'ENS sous séisme et identifier et définir les paramètres qui seront ensuite utiles dans un projet réel.

Cette démarche doit donc être effectuée en amont. Elle servira à élaborer le texte définissant les dispositions applicables en zone sismique pour cette famille d'élément non structural (voir article I.1).

#### **a. Des dispositions parasismiques sont-elles nécessaires ?**

L'ENS (compte tenu de son montage et de son mode de fixation) présente-t-il un risque pour les personnes en cas de séisme ?

Des valeurs spécifiques sont-elles nécessaires pour définir les critères d'importance ou les critères génériques de la famille restent-ils valables (voir articles IV.2c et IV.2d) ?

#### **b. L'élément peut-il supporter un endommagement sans risque pour les personnes ?**

En fonction du montage, des matériaux utilisés et des types de fixation, ou sur la base d'essais, le comportement de l'ENS doit être défini, ce qui entraînera la définition de la valeur du coefficient de comportement  $q_a$  utilisée par la suite dans les calculs (voir article IV.5b) :

- Si comportement ductile :  $q_a = 2$
- Si comportement fragile :  $q_a = 1$

#### **c. Dimensionnement de l'effort sismique dans l'élément**

Vérification par le calcul ou des essais de la valeur résistante des différentes parties de l'ENS (y compris ses fixations). Cela permettra de préciser les éventuelles limites d'utilisation de cet ENS (à la résistance maximale correspond une catégorie d'importance d'ouvrage et une zone sismique).

#### **d. Vérification de l'état limite de dommages**

Vérification par le calcul ou des essais du bon comportement de l'ENS sous les déformations inter-étages susceptibles de se produire en cas de séisme fréquent (voir article IV.7a).

Selon l'article 4.4.3.2 de l'EC8-1, l'ENS doit supporter sans endommagement significatif ces déformations.

#### **e. Vérification de sécurité sous séisme de référence**

Vérification par le calcul ou des essais du bon comportement de l'ENS sous les déformations inter-étages susceptibles de se produire sous séisme de référence (voir article IV.7b).

Sous ces déformations, l'ENS peut être endommagé de manière significative mais ses éventuelles ruptures ne doivent pas entraîner de risque pour les personnes.

Si les déformations maximales indiquées par l'EC8-1 ne peuvent être supportées, de nouvelles valeurs maximales devront être définies. Elles permettront par la suite de dimensionner en conséquence la structure d'un bâtiment dans lequel on souhaite mettre en

œuvre cet ENS. Il suffira pour cela d'imposer ces limites de déformation dans les pièces du marché.

## **2. Justification de la mise en œuvre d'un ENS dans un bâtiment**

Ces justifications sont celles qui devront être menées sur un projet particulier pour vérifier la capacité des ENS mis en œuvre sur ce projet à supporter les effets du séisme.

### ***a. Des dispositions parasismiques sont-elles nécessaires ?***

L'ENS (compte tenu de son montage et de son mode de fixation) fait-il partie de la liste des éléments concernés par l'application des dispositions parasismiques ?

Compte tenu de son implantation dans le bâtiment, est-il susceptible de mettre en jeu la sécurité des personnes (art. IV.2b) ?

Le critère de risque faible est-il dépassé (art. IV.2d) ?

### ***b. La raideur de l'élément est-elle négligeable devant celle de la structure***

Si oui, l'ENS peut n'être représenté que par sa masse dans le modèle sismique de calcul de la structure.

Si non, le modèle de calcul de la structure doit prendre en compte l'influence de cet élément dans la réponse globale de la structure (art. IV.2c).

### ***c. Dimensionnement de l'effort sismique dans l'ENS et ses fixations***

Application de l'art. 4.3.5.2 de l'EC8-1, éventuellement de manière simplifiée (valeur enveloppe : en tête du bâtiment et à la résonance). La valeur du coefficient de comportement  $q_a$  est celle qui correspond au mode de comportement (ductile ou fragile) de l'ENS :

- Si comportement ductile :  $q_a = 2$
- Si comportement fragile :  $q_a = 1$

La valeur obtenue permet de vérifier la résistance des éléments constitutifs de l'ENS et ses fixations, avec un dimensionnement en capacité le cas échéant pour les composants fragiles.

L'ancrage dans le support (effet de l'ENS sur la structure) sera effectué à partir de la valeur résistante de la fixation, et non de la valeur de la réaction d'appui calculée précédemment (voir article IV.8d).

### ***d. Vérification de l'état limite de dommages***

En fonction de la nature ductile ou fragile de l'ENS, vérifier que les déformations inter-étages (v.d.) de la structure porteuse sous séisme fréquent ne dépassent pas les valeurs maximales définies par l'article 4.4.3.2 de l'EC8-1 (art. IV.7a).

### ***e. Vérification de sécurité sous séisme de référence***

Vérifier que les déformations inter-étages ( $d_r$ ) de la structure porteuse sous séisme de référence ne dépassent pas les valeurs admissibles par l'ENS (art. IV.7b).

# **ANNEXES**

## **A. Formule simplifiée EC8-1 art. 4.3.5 - Valeurs tabulées**

## Zone 2

### catégorie d'importance II

classe	A	B	C	D	E
S	1,00	1,35	1,50	1,60	1,80

$$T_a/T_1 = 0$$

Élément très rigide

hauteur relative z/h	1	0,75	0,5	0,25	0
1	0,178	0,241	0,268	0,285	0,321
0,75	0,152	0,205	0,227	0,243	0,273
0,5	0,125	0,169	0,187	0,200	0,225
0,25	0,098	0,132	0,147	0,157	0,177
0	0,071	0,096	0,107	0,114	0,128

$$T_a/T_1 = 0,5$$

hauteur relative

hauteur relative z/h	1	0,75	0,5	0,25	0
1	0,307	0,414	0,460	0,491	0,552
0,75	0,264	0,356	0,396	0,422	0,475
0,5	0,221	0,299	0,332	0,354	0,398
0,25	0,178	0,241	0,268	0,285	0,321
0	0,136	0,183	0,203	0,217	0,244

$$T_a/T_1 = 1$$

Résonance

hauteur relative z/h	1	0,75	0,5	0,25	0
1	0,392	0,530	0,589	0,628	0,706
0,75	0,339	0,458	0,508	0,542	0,610
0,5	0,285	0,385	0,428	0,457	0,514
0,25	0,232	0,313	0,348	0,371	0,417
0	0,178	0,241	0,268	0,285	0,321

$$T_a/T_1 = 1,5$$

hauteur relative

hauteur relative z/h	1	0,75	0,5	0,25	0
1	0,307	0,414	0,460	0,491	0,552
0,75	0,264	0,356	0,396	0,422	0,475
0,5	0,221	0,299	0,332	0,354	0,398
0,25	0,178	0,241	0,268	0,285	0,321
0	0,136	0,183	0,203	0,217	0,244

$$T_a/T_1 = 2$$

Élément souple

hauteur relative z/h	1	0,75	0,5	0,25	0
1	0,178	0,241	0,268	0,285	0,321
0,75	0,152	0,205	0,227	0,243	0,273
0,5	0,125	0,169	0,187	0,200	0,225
0,25	0,098	0,132	0,147	0,157	0,177
0	0,071	0,096	0,107	0,114	0,128

$$T_a/T_1 = 3$$

Élément très souple

hauteur relative z/h	1	0,75	0,5	0,25	0
1	0,071	0,096	0,107	0,114	0,128
0,75	0,071	0,096	0,107	0,114	0,128
0,5	0,071	0,096	0,107	0,114	0,128
0,25	0,071	0,096	0,107	0,114	0,128
0	0,071	0,096	0,107	0,114	0,128

### catégorie d'importance III

A	B	C	D	E
1,00	1,35	1,50	1,60	1,80

0,214	0,289	0,321	0,343	0,385
0,182	0,246	0,273	0,291	0,328
0,150	0,202	0,225	0,240	0,270
0,118	0,159	0,177	0,188	0,212
0,086	0,116	0,128	0,137	0,154

0,368	0,497	0,552	0,589	0,663
0,317	0,428	0,475	0,507	0,570
0,265	0,358	0,398	0,425	0,478
0,214	0,289	0,321	0,343	0,385
0,163	0,220	0,244	0,260	0,293

0,471	0,636	0,706	0,754	0,848
0,407	0,549	0,610	0,651	0,732
0,343	0,462	0,514	0,548	0,617
0,278	0,376	0,417	0,445	0,501
0,214	0,289	0,321	0,343	0,385

0,368	0,497	0,552	0,589	0,663
0,317	0,428	0,475	0,507	0,570
0,265	0,358	0,398	0,425	0,478
0,214	0,289	0,321	0,343	0,385
0,163	0,220	0,244	0,260	0,293

0,214	0,289	0,321	0,343	0,385
0,182	0,246	0,273	0,291	0,328
0,150	0,202	0,225	0,240	0,270
0,118	0,159	0,177	0,188	0,212
0,086	0,116	0,128	0,137	0,154

0,086	0,116	0,128	0,137	0,154
0,086	0,116	0,128	0,137	0,154
0,086	0,116	0,128	0,137	0,154
0,086	0,116	0,128	0,137	0,154
0,086	0,116	0,128	0,137	0,154

### catégorie d'importance IV

A	B	C	D	E
1,00	1,35	1,50	1,60	1,80

0,250	0,337	0,375	0,400	0,450
0,212	0,287	0,318	0,340	0,382
0,175	0,236	0,262	0,280	0,315
0,137	0,185	0,206	0,220	0,247
0,100	0,135	0,150	0,160	0,180

0,430	0,580	0,644	0,687	0,773
0,370	0,499	0,554	0,591	0,665
0,310	0,418	0,465	0,495	0,557
0,250	0,337	0,375	0,400	0,450
0,190	0,256	0,285	0,304	0,342

0,549	0,742	0,824	0,879	0,989
0,475	0,641	0,712	0,759	0,854
0,400	0,539	0,599	0,639	0,719
0,325	0,438	0,487	0,519	0,584
0,250	0,337	0,375	0,400	0,450

0,430	0,580	0,644	0,687	0,773
0,370	0,499	0,554	0,591	0,665
0,310	0,418	0,465	0,495	0,557
0,250	0,337	0,375	0,400	0,450
0,190	0,256	0,285	0,304	0,342

0,250	0,337	0,375	0,400	0,450
0,212	0,287	0,318	0,340	0,382
0,175	0,236	0,262	0,280	0,315
0,137	0,185	0,206	0,220	0,247
0,100	0,135	0,150	0,160	0,180

0,100	0,135	0,150	0,160	0,180
0,100	0,135	0,150	0,160	0,180
0,100	0,135	0,150	0,160	0,180
0,100	0,135	0,150	0,160	0,180
0,100	0,135	0,150	0,160	0,180



### Zone 3

#### catégorie d'importance II

classe	A	B	C	D	E
S	1,00	1,35	1,50	1,60	1,80

$$T_a/T_1 = 0$$

Élément très rigide

1	0,280	0,378	0,420	0,449	0,505
0,75	0,238	0,322	0,357	0,381	0,429
0,5	0,196	0,265	0,294	0,314	0,353
0,25	0,154	0,208	0,231	0,247	0,278
0	0,112	0,151	0,168	0,179	0,202

1	0,336	0,454	0,505	0,538	0,606
0,75	0,286	0,386	0,429	0,457	0,515
0,5	0,235	0,318	0,353	0,377	0,424
0,25	0,185	0,250	0,278	0,296	0,333
0	0,135	0,182	0,202	0,215	0,242

1	0,392	0,530	0,589	0,628	0,706
0,75	0,334	0,450	0,500	0,534	0,600
0,5	0,275	0,371	0,412	0,440	0,494
0,25	0,216	0,291	0,324	0,345	0,389
0	0,157	0,212	0,235	0,251	0,283

#### catégorie d'importance III

classe	A	B	C	D	E
S	1,00	1,35	1,50	1,60	1,80

$$T_a/T_1 = 0,5$$

Élément rigide

1	0,482	0,651	0,723	0,771	0,868
0,75	0,415	0,560	0,622	0,664	0,747
0,5	0,348	0,469	0,521	0,556	0,626
0,25	0,280	0,378	0,420	0,449	0,505
0	0,213	0,288	0,320	0,341	0,383

1	0,579	0,781	0,868	0,926	1,041
0,75	0,498	0,672	0,747	0,797	0,896
0,5	0,417	0,563	0,626	0,667	0,751
0,25	0,336	0,454	0,505	0,538	0,606
0	0,256	0,345	0,383	0,409	0,460

1	0,675	0,911	1,013	1,080	1,215
0,75	0,581	0,784	0,871	0,929	1,046
0,5	0,487	0,657	0,730	0,779	0,876
0,25	0,392	0,530	0,589	0,628	0,706
0	0,298	0,403	0,447	0,477	0,537

$$T_a/T_1 = 1$$

Résonance

1	0,617	0,833	0,925	0,987	1,110
0,75	0,533	0,719	0,799	0,852	0,959
0,5	0,449	0,606	0,673	0,718	0,807
0,25	0,364	0,492	0,547	0,583	0,656
0	0,280	0,378	0,420	0,449	0,505

1	0,740	0,999	1,110	1,184	1,332
0,75	0,639	0,863	0,959	1,023	1,150
0,5	0,538	0,727	0,807	0,861	0,969
0,25	0,437	0,590	0,656	0,700	0,787
0	0,336	0,454	0,505	0,538	0,606

1	0,863	1,166	1,295	1,381	1,554
0,75	0,746	1,007	1,119	1,193	1,342
0,5	0,628	0,848	0,942	1,005	1,130
0,25	0,510	0,689	0,765	0,816	0,918
0	0,392	0,530	0,589	0,628	0,706

$$T_a/T_1 = 1,5$$

Élément rigide

1	0,482	0,651	0,723	0,771	0,868
0,75	0,415	0,560	0,622	0,664	0,747
0,5	0,348	0,469	0,521	0,556	0,626
0,25	0,280	0,378	0,420	0,449	0,505
0	0,213	0,288	0,320	0,341	0,383

1	0,579	0,781	0,868	0,926	1,041
0,75	0,498	0,672	0,747	0,797	0,896
0,5	0,417	0,563	0,626	0,667	0,751
0,25	0,336	0,454	0,505	0,538	0,606
0	0,256	0,345	0,383	0,409	0,460

1	0,675	0,911	1,013	1,080	1,215
0,75	0,581	0,784	0,871	0,929	1,046
0,5	0,487	0,657	0,730	0,779	0,876
0,25	0,392	0,530	0,589	0,628	0,706
0	0,298	0,403	0,447	0,477	0,537

$$T_a/T_1 = 2$$

Élément souple

1	0,280	0,378	0,420	0,449	0,505
0,75	0,238	0,322	0,357	0,381	0,429
0,5	0,196	0,265	0,294	0,314	0,353
0,25	0,154	0,208	0,231	0,247	0,278
0	0,112	0,151	0,168	0,179	0,202

1	0,336	0,454	0,505	0,538	0,606
0,75	0,286	0,386	0,429	0,457	0,515
0,5	0,235	0,318	0,353	0,377	0,424
0,25	0,185	0,250	0,278	0,296	0,333
0	0,135	0,182	0,202	0,215	0,242

1	0,392	0,530	0,589	0,628	0,706
0,75	0,334	0,450	0,500	0,534	0,600
0,5	0,275	0,371	0,412	0,440	0,494
0,25	0,216	0,291	0,324	0,345	0,389
0	0,157	0,212	0,235	0,251	0,283

$$T_a/T_1 = 3$$

Élément très souple

1	0,112	0,151	0,168	0,179	0,202
0,75	0,112	0,151	0,168	0,179	0,202
0,5	0,112	0,151	0,168	0,179	0,202
0,25	0,112	0,151	0,168	0,179	0,202
0	0,112	0,151	0,168	0,179	0,202

1	0,135	0,182	0,202	0,215	0,242
0,75	0,135	0,182	0,202	0,215	0,242
0,5	0,135	0,182	0,202	0,215	0,242
0,25	0,135	0,182	0,202	0,215	0,242
0	0,135	0,182	0,202	0,215	0,242

1	0,157	0,212	0,235	0,251	0,283
0,75	0,157	0,212	0,235	0,251	0,283
0,5	0,157	0,212	0,235	0,251	0,283
0,25	0,157	0,212	0,235	0,251	0,283
0	0,157	0,212	0,235	0,251	0,283

### Zone 4

#### catégorie d'importance II

classe	A	B	C	D	E
S	1,00	1,35	1,50	1,60	1,80

$$T_a/T_1 = 0$$

Élément très rigide

hauteur relative z/h	1	0,75	0,5	0,25	0
1	0,408	0,550	0,612	0,652	0,734
0,75	0,347	0,468	0,520	0,555	0,624
0,5	0,285	0,385	0,428	0,457	0,514
0,25	0,224	0,303	0,336	0,359	0,404
0	0,163	0,220	0,245	0,261	0,294

$$T_a/T_1 = 0,5$$

hauteur relative z/h	1	0,75	0,5	0,25	0
1	0,701	0,947	1,052	1,122	1,262
0,75	0,603	0,815	0,905	0,966	1,086
0,5	0,506	0,683	0,758	0,809	0,910
0,25	0,408	0,550	0,612	0,652	0,734
0	0,310	0,418	0,465	0,496	0,558

$$T_a/T_1 = 1$$

Résonance

hauteur relative z/h	1	0,75	0,5	0,25	0
1	0,897	1,211	1,346	1,435	1,615
0,75	0,775	1,046	1,162	1,240	1,394
0,5	0,652	0,881	0,979	1,044	1,174
0,25	0,530	0,716	0,795	0,848	0,954
0	0,408	0,550	0,612	0,652	0,734

$$T_a/T_1 = 1,5$$

hauteur relative z/h	1	0,75	0,5	0,25	0
1	0,701	0,947	1,052	1,122	1,262
0,75	0,603	0,815	0,905	0,966	1,086
0,5	0,506	0,683	0,758	0,809	0,910
0,25	0,408	0,550	0,612	0,652	0,734
0	0,310	0,418	0,465	0,496	0,558

$$T_a/T_1 = 2$$

Élément souple

hauteur relative z/h	1	0,75	0,5	0,25	0
1	0,408	0,550	0,612	0,652	0,734
0,75	0,347	0,468	0,520	0,555	0,624
0,5	0,285	0,385	0,428	0,457	0,514
0,25	0,224	0,303	0,336	0,359	0,404
0	0,163	0,220	0,245	0,261	0,294

$$T_a/T_1 = 3$$

Élément très souple

hauteur relative z/h	1	0,75	0,5	0,25	0
1	0,163	0,220	0,245	0,261	0,294
0,75	0,163	0,220	0,245	0,261	0,294
0,5	0,163	0,220	0,245	0,261	0,294
0,25	0,163	0,220	0,245	0,261	0,294
0	0,163	0,220	0,245	0,261	0,294

#### catégorie d'importance III

classe	A	B	C	D	E
S	1,00	1,35	1,50	1,60	1,80

hauteur relative z/h	1	0,75	0,5	0,25	0
1	0,489	0,661	0,734	0,783	0,881
0,75	0,416	0,561	0,624	0,665	0,749
0,5	0,343	0,462	0,514	0,548	0,617
0,25	0,269	0,363	0,404	0,431	0,484
0	0,196	0,264	0,294	0,313	0,352

hauteur relative z/h	1	0,75	0,5	0,25	0
1	0,842	1,136	1,262	1,347	1,515
0,75	0,724	0,978	1,086	1,159	1,303
0,5	0,607	0,819	0,910	0,971	1,092
0,25	0,489	0,661	0,734	0,783	0,881
0	0,372	0,502	0,558	0,595	0,669

hauteur relative z/h	1	0,75	0,5	0,25	0
1	1,076	1,453	1,615	1,722	1,938
0,75	0,930	1,255	1,394	1,487	1,673
0,5	0,783	1,057	1,174	1,253	1,409
0,25	0,636	0,859	0,954	1,018	1,145
0	0,489	0,661	0,734	0,783	0,881

hauteur relative z/h	1	0,75	0,5	0,25	0
1	0,842	1,136	1,262	1,347	1,515
0,75	0,724	0,978	1,086	1,159	1,303
0,5	0,607	0,819	0,910	0,971	1,092
0,25	0,489	0,661	0,734	0,783	0,881
0	0,372	0,502	0,558	0,595	0,669

hauteur relative z/h	1	0,75	0,5	0,25	0
1	0,489	0,661	0,734	0,783	0,881
0,75	0,416	0,561	0,624	0,665	0,749
0,5	0,343	0,462	0,514	0,548	0,617
0,25	0,269	0,363	0,404	0,431	0,484
0	0,196	0,264	0,294	0,313	0,352

hauteur relative z/h	1	0,75	0,5	0,25	0
1	0,196	0,264	0,294	0,313	0,352
0,75	0,196	0,264	0,294	0,313	0,352
0,5	0,196	0,264	0,294	0,313	0,352
0,25	0,196	0,264	0,294	0,313	0,352
0	0,196	0,264	0,294	0,313	0,352

#### catégorie d'importance IV

classe	A	B	C	D	E
S	1,00	1,35	1,50	1,60	1,80

hauteur relative z/h	1	0,75	0,5	0,25	0
1	0,571	0,771	0,856	0,913	1,028
0,75	0,485	0,655	0,728	0,776	0,873
0,5	0,400	0,539	0,599	0,639	0,719
0,25	0,314	0,424	0,471	0,502	0,565
0	0,228	0,308	0,343	0,365	0,411

hauteur relative z/h	1	0,75	0,5	0,25	0
1	0,982	1,326	1,473	1,571	1,767
0,75	0,845	1,141	1,267	1,352	1,521
0,5	0,708	0,956	1,062	1,133	1,274
0,25	0,571	0,771	0,856	0,913	1,028
0	0,434	0,586	0,651	0,694	0,781

hauteur relative z/h	1	0,75	0,5	0,25	0
1	1,256	1,695	1,884	2,009	2,261
0,75	1,085	1,464	1,627	1,735	1,952
0,5	0,913	1,233	1,370	1,461	1,644
0,25	0,742	1,002	1,113	1,187	1,336
0	0,571	0,771	0,856	0,913	1,028

hauteur relative z/h	1	0,75	0,5	0,25	0
1	0,982	1,326	1,473	1,571	1,767
0,75	0,845	1,141	1,267	1,352	1,521
0,5	0,708	0,956	1,062	1,133	1,274
0,25	0,571	0,771	0,856	0,913	1,028
0	0,434	0,586	0,651	0,694	0,781

hauteur relative z/h	1	0,75	0,5	0,25	0
1	0,571	0,771	0,856	0,913	1,028
0,75	0,485	0,655	0,728	0,776	0,873
0,5	0,400	0,539	0,599	0,639	0,719
0,25	0,314	0,424	0,471	0,502	0,565
0	0,228	0,308	0,343	0,365	0,411

hauteur relative z/h	1	0,75	0,5	0,25	0
1	0,228	0,308	0,343	0,365	0,411
0,75	0,228	0,308	0,343	0,365	0,411
0,5	0,228	0,308	0,343	0,365	0,411
0,25	0,228	0,308	0,343	0,365	0,411
0	0,228	0,308	0,343	0,365	0,411

### Zone 5

#### catégorie d'importance II

classe	A	B	C	D	E
S	1,00	1,20	1,15	1,35	1,40

#### $T_a/T_1 = 0$

Élément très rigide

z/h	1	0,75	0,5	0,25	0
hauteur relative	0,765	0,650	0,535	0,420	0,306
	0,917	0,780	0,642	0,505	0,367
	0,879	0,747	0,615	0,484	0,352
	1,032	0,877	0,722	0,568	0,413
	1,070	0,910	0,749	0,589	0,428

#### $T_a/T_1 = 0,5$

z/h	1	0,75	0,5	0,25	0
hauteur relative	1,315	1,131	0,948	0,765	0,581
	1,578	1,358	1,138	0,917	0,697
	1,512	1,301	1,090	0,879	0,668
	1,775	1,528	1,280	1,032	0,784
	1,841	1,584	1,327	1,070	0,813

#### $T_a/T_1 = 1$

Résonance

z/h	1	0,75	0,5	0,25	0
hauteur relative	1,682	1,453	1,223	0,994	0,765
	2,018	1,743	1,468	1,193	0,917
	1,934	1,670	1,407	1,143	0,879
	2,271	1,961	1,651	1,342	1,032
	2,355	2,034	1,713	1,391	1,070

#### $T_a/T_1 = 1,5$

z/h	1	0,75	0,5	0,25	0
hauteur relative	1,315	1,131	0,948	0,765	0,581
	1,578	1,358	1,138	0,917	0,697
	1,512	1,301	1,090	0,879	0,668
	1,775	1,528	1,280	1,032	0,784
	1,841	1,584	1,327	1,070	0,813

#### $T_a/T_1 = 2$

Élément souple

z/h	1	0,75	0,5	0,25	0
hauteur relative	0,765	0,650	0,535	0,420	0,306
	0,917	0,780	0,642	0,505	0,367
	0,879	0,747	0,615	0,484	0,352
	1,032	0,877	0,722	0,568	0,413
	1,070	0,910	0,749	0,589	0,428

#### $T_a/T_1 = 3$

Élément très souple

z/h	1	0,75	0,5	0,25	0
hauteur relative	0,306	0,306	0,306	0,306	0,306
	0,367	0,367	0,367	0,367	0,367
	0,352	0,352	0,352	0,352	0,352
	0,413	0,413	0,413	0,413	0,413
	0,428	0,428	0,428	0,428	0,428

#### catégorie d'importance III

A	B	C	D	E
1,00	1,20	1,15	1,35	1,40

	0,917	1,101	1,055	1,239	1,284
	0,780	0,936	0,897	1,053	1,092
	0,642	0,771	0,739	0,867	0,899
	0,505	0,606	0,580	0,681	0,706
	0,367	0,440	0,422	0,495	0,514

	1,578	1,894	1,815	2,130	2,209
	1,358	1,629	1,561	1,833	1,901
	1,138	1,365	1,308	1,536	1,593
	0,917	1,101	1,055	1,239	1,284
	0,697	0,837	0,802	0,941	0,976

	2,018	2,422	2,321	2,725	2,826
	1,743	2,092	2,005	2,353	2,440
	1,468	1,761	1,688	1,982	2,055
	1,193	1,431	1,372	1,610	1,670
	0,917	1,101	1,055	1,239	1,284

	1,578	1,894	1,815	2,130	2,209
	1,358	1,629	1,561	1,833	1,901
	1,138	1,365	1,308	1,536	1,593
	0,917	1,101	1,055	1,239	1,284
	0,697	0,837	0,802	0,941	0,976

	0,917	1,101	1,055	1,239	1,284
	0,780	0,936	0,897	1,053	1,092
	0,642	0,771	0,739	0,867	0,899
	0,505	0,606	0,580	0,681	0,706
	0,367	0,440	0,422	0,495	0,514

	0,367	0,440	0,422	0,495	0,514
	0,367	0,440	0,422	0,495	0,514
	0,367	0,440	0,422	0,495	0,514
	0,367	0,440	0,422	0,495	0,514
	0,367	0,440	0,422	0,495	0,514

#### catégorie d'importance IV

A	B	C	D	E
1,00	1,20	1,15	1,35	1,40

	1,070	1,284	1,231	1,445	1,498
	0,910	1,092	1,046	1,228	1,274
	0,749	0,899	0,862	1,011	1,049
	0,589	0,706	0,677	0,795	0,824
	0,428	0,514	0,492	0,578	0,599

	1,841	2,209	2,117	2,485	2,577
	1,584	1,901	1,822	2,139	2,218
	1,327	1,593	1,526	1,792	1,858
	1,070	1,284	1,231	1,445	1,498
	0,813	0,976	0,935	1,098	1,139

	2,355	2,826	2,708	3,179	3,297
	2,034	2,440	2,339	2,745	2,847
	1,713	2,055	1,969	2,312	2,398
	1,391	1,670	1,600	1,878	1,948
	1,070	1,284	1,231	1,445	1,498

	1,841	2,209	2,117	2,485	2,577
	1,584	1,901	1,822	2,139	2,218
	1,327	1,593	1,526	1,792	1,858
	1,070	1,284	1,231	1,445	1,498
	0,813	0,976	0,935	1,098	1,139

	1,070	1,284	1,231	1,445	1,498
	0,910	1,092	1,046	1,228	1,274
	0,749	0,899	0,862	1,011	1,049
	0,589	0,706	0,677	0,795	0,824
	0,428	0,514	0,492	0,578	0,599

	0,428	0,514	0,492	0,578	0,599
	0,428	0,514	0,492	0,578	0,599
	0,428	0,514	0,492	0,578	0,599
	0,428	0,514	0,492	0,578	0,599
	0,428	0,514	0,492	0,578	0,599

## B. Illustration de la conception avec coefficient de comportement

L'illustration présentée ci-dessous correspond au coefficient de comportement d'un bâtiment, ici envisagé égal à 3. Mais le principe est similaire pour un coefficient limité de 2 couvrant le comportement fixation/ENS.

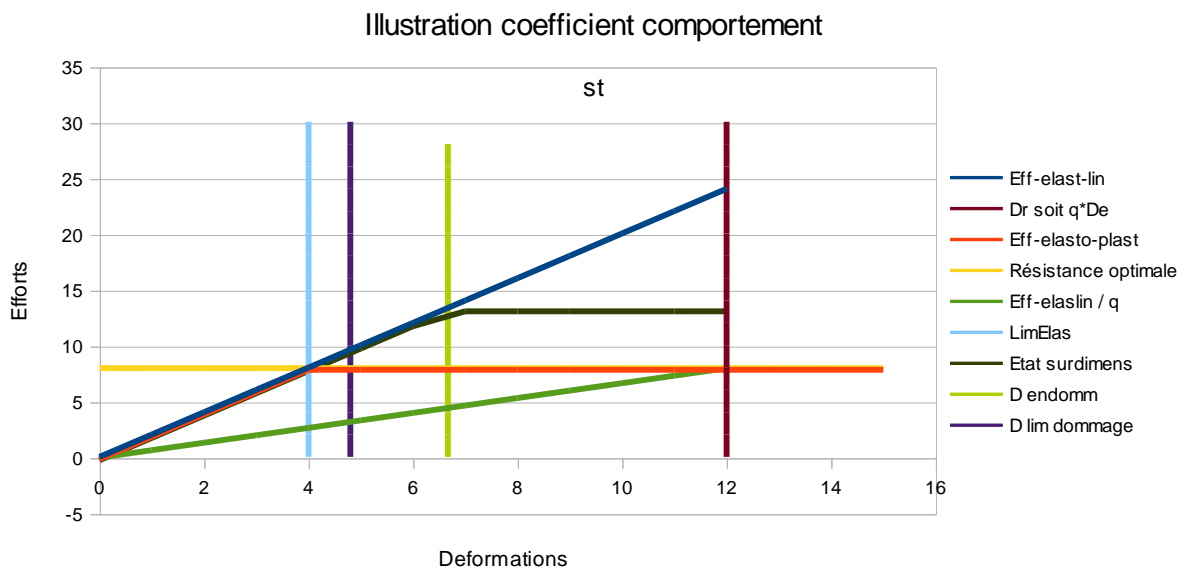
On ne peut se prévaloir de la division des efforts par  $q$  que dans le cas théorique d'un dimensionnement optimal.

Ainsi, dans le cas d'une conception effectuée pour couvrir des conditions de sol associées à un coefficient enveloppe  $S$  égal à 1,8, le transfert de cette structure à l'identique sur un sol tel que  $S = 1,35$  (voir article III.3.b du présent document) n'autorise pas à frapper les charges de dimensionnement d'un facteur 0,75 ( $=1,35/1,8$ ).

En effet, la structure se trouvant en état surdimensionné, les efforts et accélérations développés dans la structure resteront égaux à l'effort de dimensionnement initial (avec  $S=1,8$ ) si le coefficient de comportement utilisé pour ce dimensionnement optimal a été supérieur à 1,33 ( $=1/0,75$ ).

Simplement l'endommagement sera réduit puisque l'appel de ductilité sera plus faible.

Une situation de ce type est illustrée ci-dessous sous forme graphique :



Hypothèses du graphique :

- valeur de raideur et déformation ultime arbitraire
- $q_{\max}$  arbitrairement pris à 3
- $q$  mobilisé de l'état surdimensionné arbitrairement pris à 1,8

Le calcul linéaire avec spectre élastique conduirait aux états représentés par la droite bleue « Eff-elastic-lin ». Mais, compte tenu des capacités ductiles de la structure on peut se contenter des capacités représentées par la courbe orange « états Eff-elasto-plast ».

Le calcul pseudo-linéaire avec spectre de dimensionnement correspond aux états de la courbe verte « Eff-elastlin /  $q$  ».

Les résultats du calcul de dimensionnement pseudo linéaire (Efflin /  $q$ ) ne sont réalistes que pour la déformée  $Dr$  (droite magenta d'abscisse ici égale à 12)

A déplacement donné, l'effort réel peut être lu sur la courbe orange « Effort elasto-plast » si le dimensionnement est optimal.

Mais en cas de surdimensionnement, l'effort réel pourra être plus élevé, comme indiqué par la courbe vert sombre « Etat surdimens ». On constate qu'un endommagement de l'état surdimensionné commence à « D endomm », verticale vert clair, calée sur l'intersection du palier plastique et de la droite de réponse linéaire.

La réglementation demande de limiter l'endommagement pour « D lim dommage » =  $0,4 \cdot D_r$ , droite violette d'abscisse ici 4,8.

On constate de façon assez typique que le résultat produit par le calcul pseudo-linéaire avec spectre de dimensionnement courbe verte (« Eff-elaslin / q ») :

1. ne produit l'effort réel que pour le séisme de référence ELU si la structure est effectivement optimisée pour le séisme ;
2. sous-estime les efforts en toute situation si l'élément a été surdimensionné par rapport à l'optimal sismique ductile ;
3. sous-estime les efforts si le séisme en cours de vérification est inférieur au séisme qui a servi pour le dimensionnement ;

Pour un niveau d'accélération spectrale donné par le spectre de dimensionnement, l'effort qui produit le bon déplacement est q fois plus important.

On constate également que, sous séisme de limitation des dommages (séisme fréquent) :

1. les efforts maximaux dans la structure sont égaux à ceux du séisme de référence pour non effondrement si le coefficient de comportement q de dimensionnement dépasse 2,5
2. les efforts dans la structure peuvent être supérieurs aux efforts de dimensionnement ultime optimisé si la structure a été surdimensionnée.