

## WEB-ATELIER #2

# LES ELEMENTS NON STRUCTURAUX FACE AUX SÉISMES

CYCLE DE WEB-ATELIERS : *CONCEVOIR ET CONSTRUIRE PARASISMIQUE*



**Andrei Balgiu**  
- AFPS -  
Mardi 9 novembre 2021



# SOMMAIRE

- 1) LES SEISMES ET LEURS CAUSES**
- 2) LA REGLEMENTATION PARASISMIQUE CONCERNANT LES ELEMENTS NON-STRUCTURAUX (EUROCODE 8 ET GUIDE ENS-PS)**
- 3) DOMMAGES SISMIQUES AUX ELEMENTS NON-STRUCTURAUX**

# 1) LES SEISMES ET LEURS CAUSES

## 1.1) Les séismes en France

- La sismicité, les risques de glissement de terrain ou de liquéfaction des sols sont considérés comme **modérés** en France métropolitaine.
- Chaque année, on dénombre une vingtaine de séismes de magnitude supérieure à 3,5 alors que plusieurs milliers sont ressentis dans **le bassin méditerranéen**.
- Historiquement, on peut retrouver des récits concernant des séismes **en France**, retenus pour les dégâts constatés :
  - 23 juin 590 (attesté par Grégoire de Tours)
  - 1227 : Aix en Provence – Lambesc – 5.000 morts

# 1) LES SEISMES ET LEURS CAUSES

- 9 séismes dans les années 1300
- 13 séismes dans les années 1400
- 7 séismes dans les années 1500 (dont celui de Roquebillière près de Nice) – 850 morts
- 8 séismes dans les années 1600 (dont celui de Bagnères de Bigorre – 653 morts)
- 22 séismes dans les années 1700
- 15 séismes dans les années 1800

# 1) LES SEISMES ET LEURS CAUSES

- Au XX<sup>ème</sup> siècle, depuis que l'on dispose d'instruments de mesure fiables, on a dénombré pas moins de 45 séismes de magnitude supérieure à 5, dont celui de **Lambesc en 1909**.

» **11 juin 1909** :

- magnitude 6,2
- 46 morts
- 250 blessés,
- 5 villages détruits.

» Une modélisation a été effectuée pour évaluer le nombre de victimes et les dégâts occasionnés **par le même tremblement de terre se produisant actuellement** :

- 400 à 970 morts
- 1850 à 5650 blessés
- Coûts directs et indirects : 762 M.€

# 1) LES SEISMES ET LEURS CAUSES

## 1.2) La cause des séismes

### » Séismes déclenchés par l'homme (volontaires ou non) :

- Explosions nucléaires ou classiques
- Poids de l'eau des réservoirs artificiels, terrassements, mines, etc.

### » Séismes naturels :

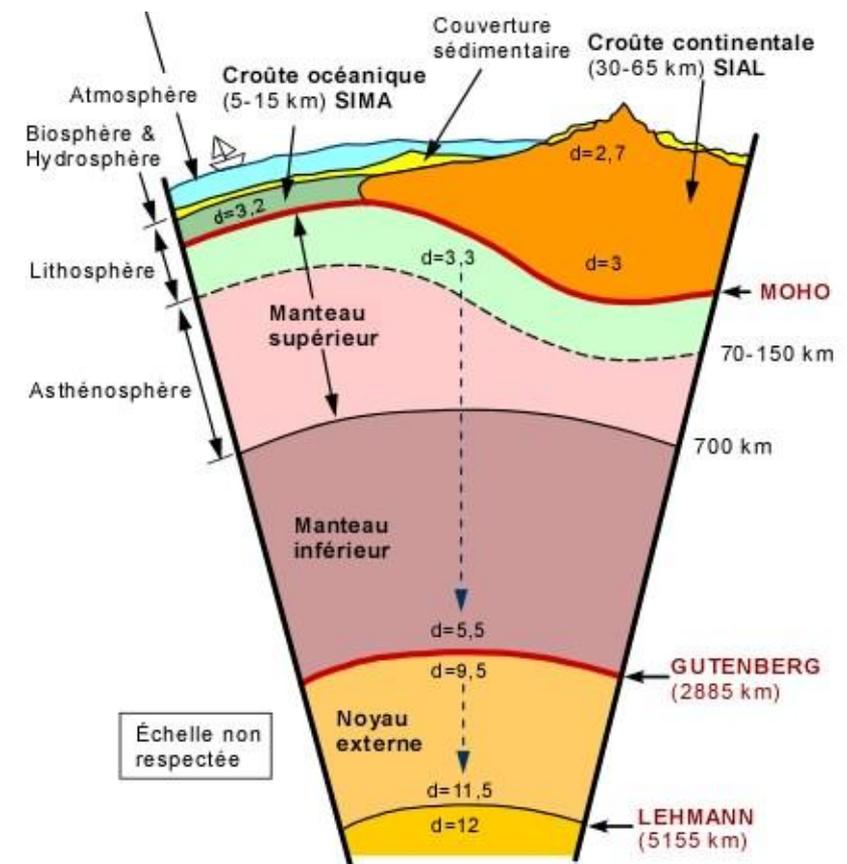
- Séismes tectoniques
- Séismes volcaniques
- Séismes volcanotectoniques
- Séismes d'effondrement

# 1) LES SEISMES ET LEURS CAUSES

- Les séismes naturels d'origine tectonique sont les plus nombreux.

**C'est essentiellement ces derniers qui sont visés par la réglementation actuelle (Arrêtés du 22 octobre 2010, EUROCODE 8).**

- La TERRE : 3<sup>ème</sup> planète du système solaire.
- » Age : 4,5 Milliards d'années
- » Diamètre : 12730 km

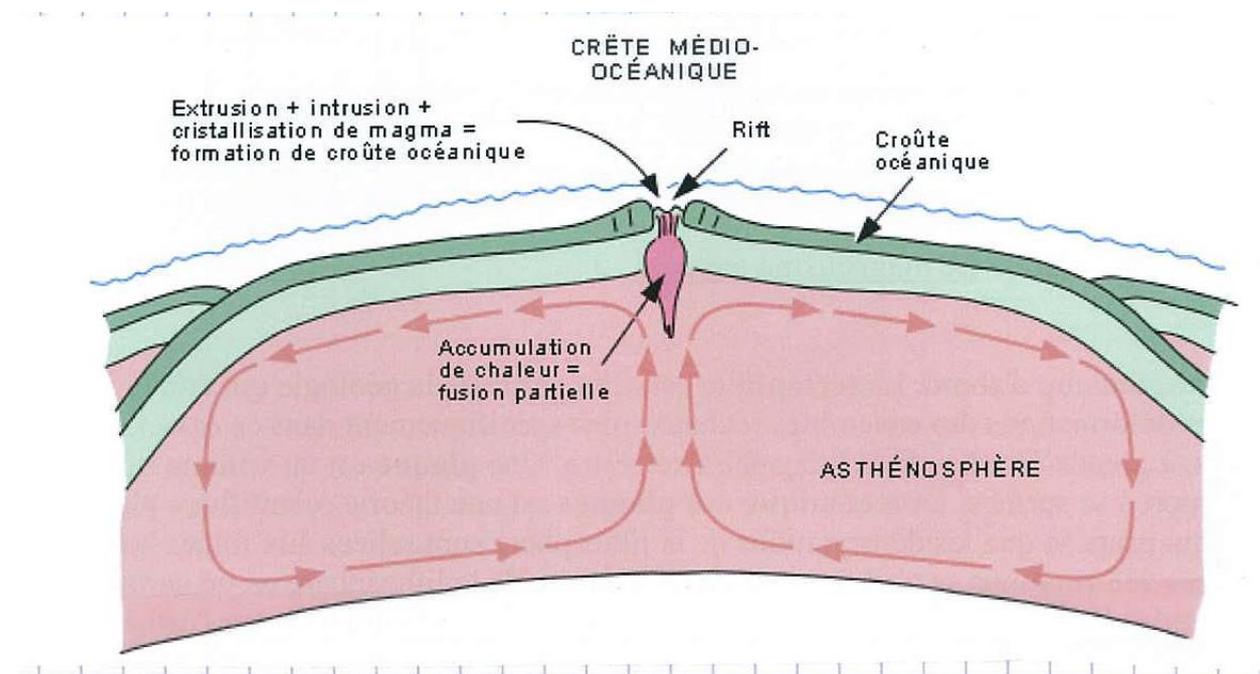


# 1) LES SEISMES ET LEURS CAUSES

- **La croute terrestre (Lithosphère)** (du grec « Lithos », pierre) s'est solidifiée il y a environ 4 milliards d'années. Elle n'est pas homogène, mais constituée de **Plaques** qui « flottent » sur l'Asthénosphère (du grec « asthenos », sans résistance).
- Ces plaques sont entraînées par le phénomène de **Convection** qui se produit au sein du manteau (**Asthénosphère**) : les blocs tectoniques ont donc un déplacement relatif les uns par rapport aux autres, qui engendre des efforts de **Compression, de traction** et de **cisaillement**, particulièrement aux limites des plaques.
- La **Tectonique des Plaques** complète la théorie de la **Dérive des Continents** (continent unique : « **PANGÉE** » ayant existé à la fin du Carbonifère, il y a 300 Millions d'années, s'étant ensuite séparé en plusieurs continents).

# 1) LES SEISMES ET LEURS CAUSES

- Lorsque deux plaques s'éloignent l'une de l'autre, le manteau a tendance à remonter. La frontière divergente correspond à une ride océanique (dorsale ou rift), siège d'un **volcanisme intense** (par exemple au milieu de l'Atlantique).

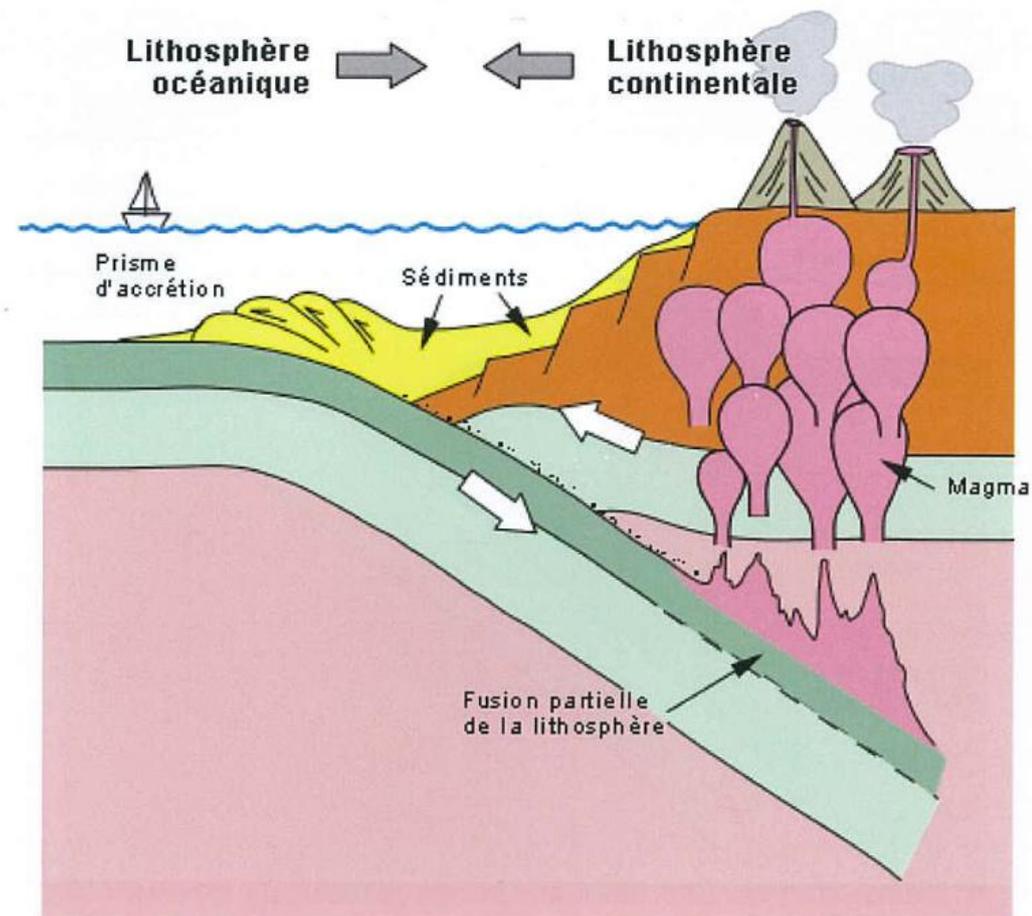


# 1) LES SEISMES ET LEURS CAUSES

- Lorsque deux plaques se rapprochent, il peut se produire les phénomènes suivants :
  - » Entre une plaque **océanique** (plus dense) et une plaque **continentale**, la première s'incurve et se glisse sous la seconde : on dit qu'il y a **subduction** (Japon, Côte Ouest de l'Amérique).
  - » Entre **2 plaques continentales de même nature et de même densité**, il y a **collision**, et généralement formation d'une chaîne de montagnes (Himalaya).

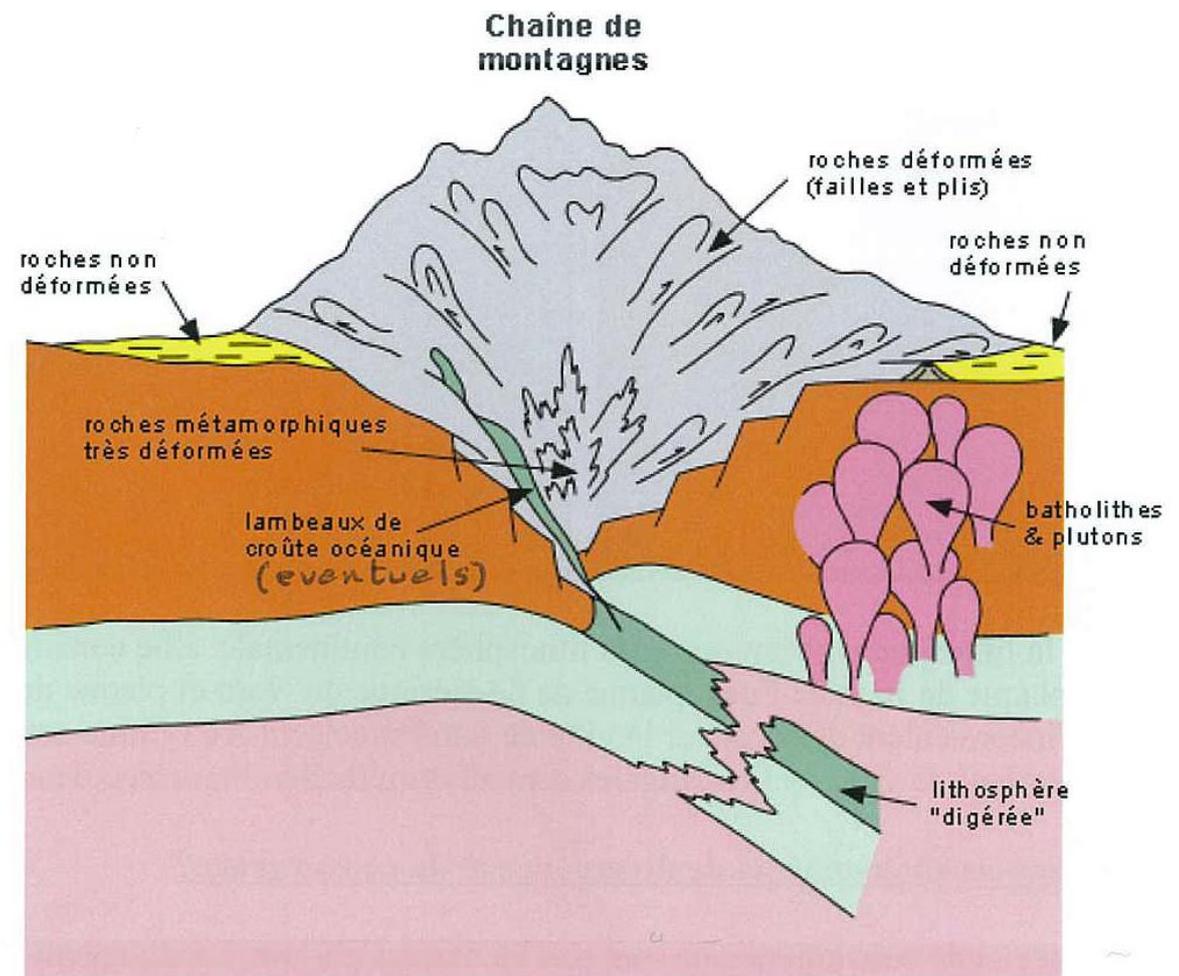
# 1) LES SEISMES ET LEURS CAUSES

- Exemple de **Subduction** :



# 1) LES SEISMES ET LEURS CAUSES

- Exemple de **Collision** :

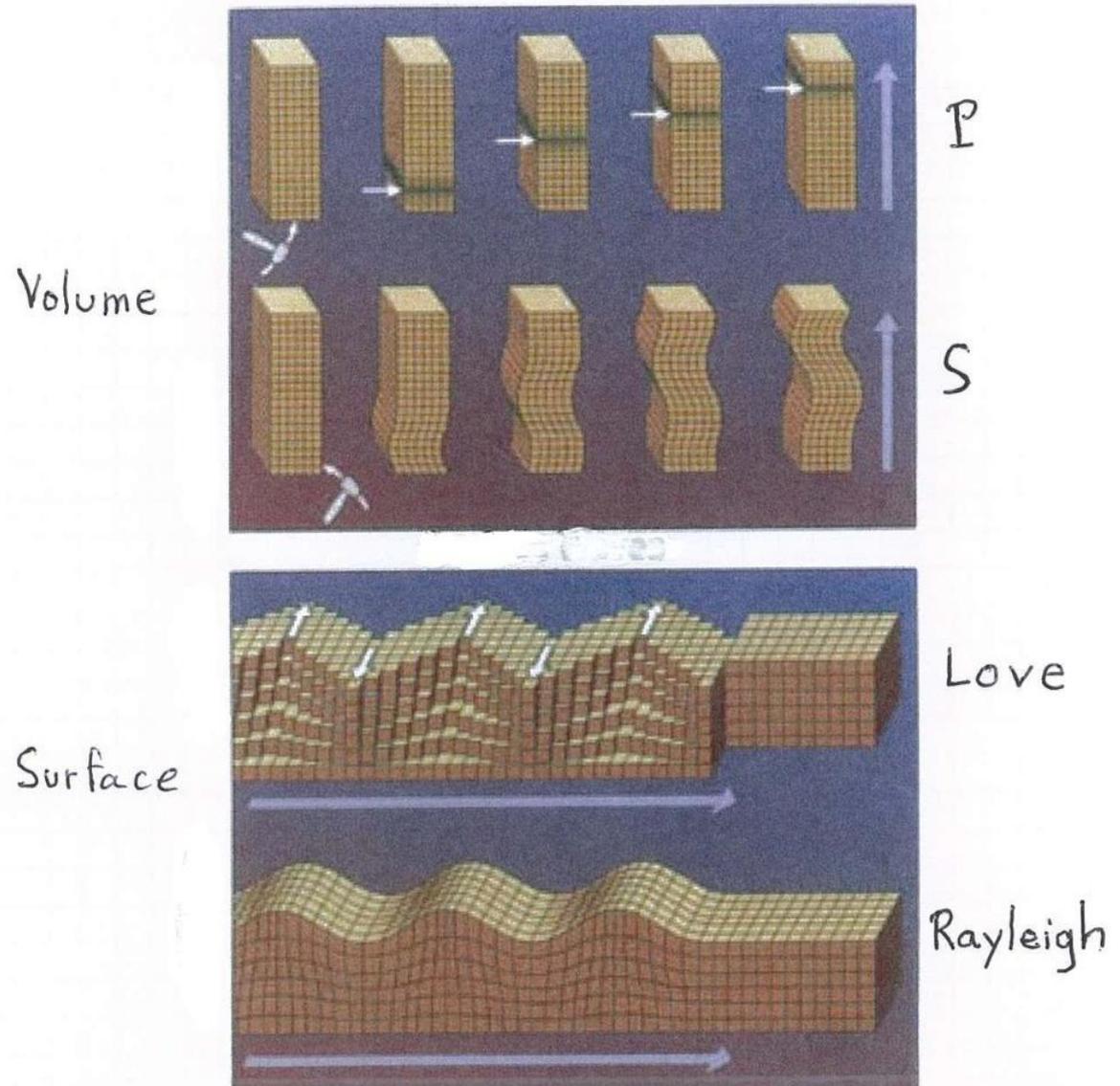


# 1) LES SEISMES ET LEURS CAUSES

- L'énergie emmagasinée lors de convergence est bien plus importante que celle emmagasinée lors de divergence (la résistance en traction des roches est plus faible que la résistance en compression).
- Cette énergie se libère sous forme d'ondes, qui se propagent à l'intérieur du globe (**ondes de volume**) et à la surface de la terre (**ondes de surface**).
- C'est essentiellement les ondes de **Love (ondes de surface)** qui provoquent un ébranlement horizontal à la surface de la terre, et qui sont par conséquent la cause des plus gros dégâts des séismes.

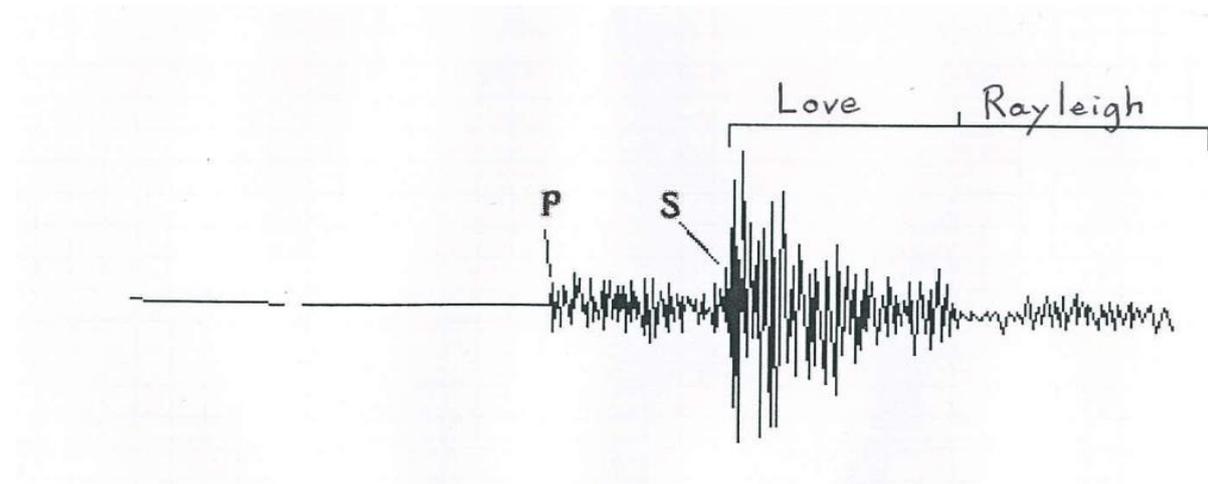
# 1) LES SEISMES ET LEURS CAUSES

- Les quatre types d'ondes sont :



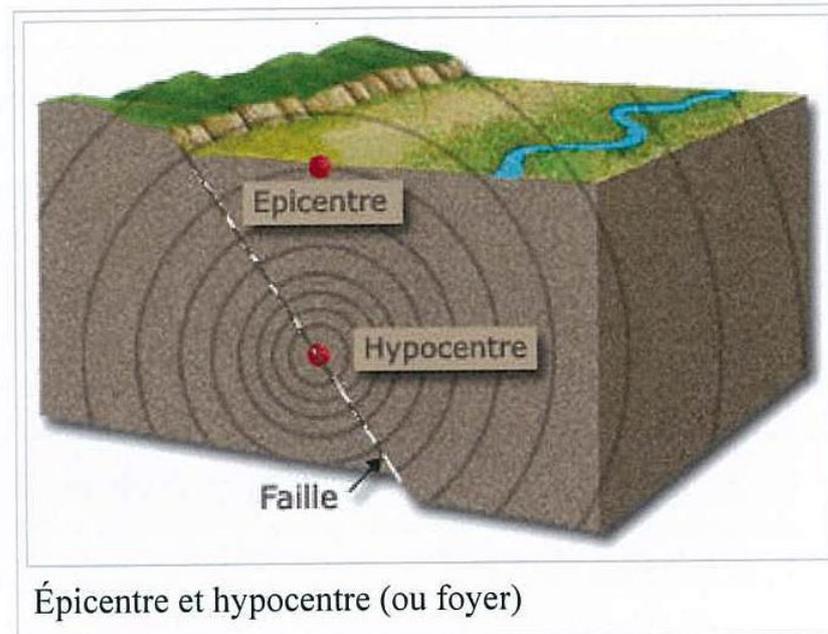
# 1) LES SEISMES ET LEURS CAUSES

- Les diverses ondes ont des vitesses différentes :
  - Les **ondes P** ont une vitesse de l'ordre de 6 km/s, ce sont les plus rapides, et donc les premières à être enregistrées par un sismogramme.
  - Les **ondes S** ont une vitesse de l'ordre de 4 km/s, elles sont les secondes à être enregistrées par un sismogramme.
  - Les **ondes de surface** sont moins rapides, mais leur amplitude est plus forte, et leur fréquence plus faible.



# 1) LES SEISMES ET LEURS CAUSES

Lors d'un séisme, on désigne par **épicentre** la projection à la surface de la Terre de l'hypocentre, le point où prend naissance la rupture (le préfixe grec 'epi' signifie "en dessus"). Le travail consistant à déterminer la position de l'épicentre du séisme s'appelle localisation. Pour être plus clair, l'épicentre correspond à la verticale exacte du foyer. Ainsi les ondes sismiques ont à parcourir le chemin le plus court pour atteindre l'épicentre à la surface du sol. Elles perdent, du coup, très peu d'énergie du fait du peu de roches que ces ondes traversent. Comme elles ont plus d'énergie à l'épicentre, les dégâts provoqués sont plus importants en cet endroit qu'ailleurs.



La source sismique est la surface de rupture du massif : elle peut s'étendre sur une distance variable, qui peut atteindre 500 km pour les séismes les plus violents.

# 1) LES SEISMES ET LEURS CAUSES

- En 1935, Richter a défini la **magnitude** d'un séisme par la formule :

$$M = \log_{10} (A/A_0), \text{ où :}$$

$$A_0 = \text{amplitude de base} = 10^{-3} \text{ mm} = 1 \mu$$

A : est l'amplitude maximale enregistrée par un sismogramme Wood-Anderson à 100 km de distance de l'épicentre.

- » C'est une échelle **ouverte**, c'est-à-dire **non limitée** en théorie.
- » On estime qu'une valeur maximale doit exister, à environ **10**, étant donné qu'il y a une limite physique à la quantité d'énergie mécanique que les roches peuvent accumuler.

# 1) LES SEISMES ET LEURS CAUSES

- A partir de la magnitude, on peut avoir l'ordre de grandeur de l'accélération maximale du sol.

Magnitude	Accélération maximale (en % g)	Durée (s)
5	9	2
5,5	15	6
6	22	12
6,5	29	18
7	37	24
7,5	45	30
8,	50	34
8,5	50	37

## Corrélations entre magnitude, accélération maximale et durée

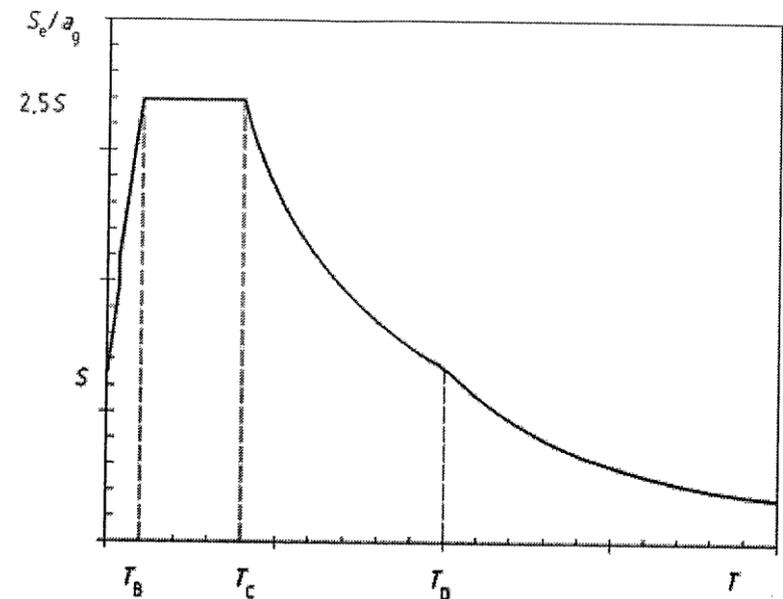
# 1) LES SEISMES ET LEURS CAUSES

- C'est bien évidemment les accélérations, et plus particulièrement les **accélérations horizontales** du sol qui engendrent le plus de dégâts sur les constructions, en dehors des phénomènes particuliers liés au séisme, tels que **Tsunami** ou **Liquéfaction de sol**.
- Un bâtiment traditionnel est généralement conçu pour résister aux efforts verticaux (**gravitaires**), et à des efforts horizontaux relativement faibles (vent).
- De plus, les mouvements du sol sont de type vibratoire : il y a donc **amplification** des effets d'un séisme sur un bâtiment lorsque ce dernier a une **période propre** du même ordre de grandeur que celle du séisme (phénomène de **résonance**).

# 1) LES SEISMES ET LEURS CAUSES

- S'il est facile de déterminer la **période propre du mode fondamental** d'un bâtiment, il est impossible de prévoir la valeur de la **période de vibration du sol** lors d'un séisme réel.
- On définit donc un séisme de calcul, caractérisé par un **spectre de réponse élastique**, qui donne l'amplification de l'accélération appliquée par le sol au bâtiment, en fonction de sa période propre.

Forme du spectre de réponse élastique (EC 8)



# 1) LES SEISMES ET LEURS CAUSES

- **L'intensité** d'un séisme est définie en un lieu par rapport aux effets produits par ce séisme, qu'ils soient seulement observés ou ressentis par l'homme (réveil, chute d'objets, fissures...) ou qu'ils aient causés des dégâts plus ou moins importants aux constructions.
- **L'intensité d'un séisme dépend du lieu d'observation des effets causés par le séisme**. Elle décroît généralement lorsqu'on s'éloigne de l'épicentre du séisme mais varie aussi selon la structure géologique.
- Plusieurs échelles d'intensité ont été définies. Les plus utilisées sont **l'échelle de Mercalli** qui date de 1902 et qui a été modifiée en 1956 et **l'échelle MSK** créée en 1964, du nom des trois sismologues européens Medvedev, Sponheuer et Karnik. Ces deux échelles comportent **douze degrés** notés généralement en **chiffres romains de I à XII**. Le degré I correspond aux secousses les plus faibles, à peine ressenties, le degré XII aux secousses les plus fortes, celles ayant entraînées une destruction totale des bâtiments. Depuis peu, une nouvelle échelle a été adoptée par les pays européens : **EMS 98** (European Macroseismic Scale 1998). La France l'utilise depuis janvier 2000.

# 1) LES SEISMES ET LEURS CAUSES

- L'**aléa** est l'événement menaçant ou la probabilité d'occurrence dans une région et au cours d'une période données, d'un phénomène pouvant engendrer des dommages.
- Les **éléments exposés** ou éléments à risque : population, constructions et ouvrages de génie civil, activités économiques, services et infrastructures publiques, etc., exposés à un aléa.

Un élément exposé ayant une valeur constitue un enjeu.

- La **vulnérabilité (sismique)** c'est le degré de perte (de 0 % à 100 %) d'un élément à risque résultant d'un phénomène (séisme) susceptible d'engendrer des victimes et des dommages matériels.
- Le **spectre de réponse** c'est la représentation de l'accélération subie par une série d'oscillateurs à un degré de liberté soumis à un accélérogramme donné.

## 2) LA REGLEMENTATION PARASISMIQUE CONCERNANT LES ELEMENTS NON-STRUCTURAUX

- Les éléments non-structuraux ont fait l'objet d'un traitement spécifique dans la réglementation parasismique en vigueur : **l'Arrêté du 22 octobre 2010** modifié, qui s'appuie sur l'**Eurocode 8** (chapitre 4.3.5) et le **Guide** que l'Association Française de Génie Parasismique (**AFPS**) a réalisé pour le Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie – « **Dimensionnement Parasismique des Éléments Non-Structuraux du Cadre Bâti - Justifications parasismiques pour le bâtiment «à risque normal** » .
- Dans l'Eurocode 8 est spécifié que les éléments non-structuraux des bâtiments 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.
- 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.

## 2) LA RÉGLEMENTATION PARASISMIQUE CONCERNANT LES ÉLÉMENTS NON-STRUCTURAUX

- L'objectif de comportement réglementaire minimum vis-à-vis du risque sismique est d'assurer la protection des vies humaines par le non-effondrement des structures.
- Les règles parasismiques applicables aux bâtiments relevant de la classe à risque normal s'intéressent au comportement de la structure résistante mais également au dimensionnement des **éléments non-structuraux**. En effet, une prévention parasismique efficace doit considérer les risques induits par ces éléments, à l'intérieur comme à l'extérieur du bâtiment. En cas de séisme, les éléments non-structuraux peuvent en effet occasionner des blessures aux occupants ou gêner leur évacuation.
- La réglementation parasismique impose, dans certaines zones sismiques et pour certaines catégories de bâtiment, le dimensionnement au séisme des éléments non-structuraux dans un bâtiment neuf mais aussi dans un bâtiment existant, à l'occasion de travaux sur la structure mais également à l'occasion d'ajout ou du remplacement d'un de ces éléments.

## 2) LA REGLEMENTATION PARASISMIQUE CONCERNANT LES ELEMENTS NON-STRUCTURAUX

- L'arrêté du 22 octobre 2010 modifié (relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux bâtiments de la classe dite à risque normal) s'appuie sur les dispositions de l'Eurocode 8 (norme NF EN 1998-1 Septembre 2005). L'Eurocode 8 étant un document conçu pour différentes natures d'ouvrages à risque normal (ponts, silos, bâtiments...), la partie relative aux exigences sur les éléments non structuraux demandait à être précisée afin de définir les principes de dimensionnement et de vérification propres aux éléments non-structuraux du cadre bâti.
- Le guide réalisé par l'AFPS a donc explicité le champ et les principes de l'Eurocode 8 dans sa partie dédiée aux éléments non structuraux du cadre bâti afin de proposer une méthode simplifiée pour l'application des clauses réglementaires. Dans un premier temps, sont définis, à partir de la liste de l'Eurocode 8, les éléments non-structuraux du cadre bâti devant faire l'objet d'un traitement parasismique. Le guide précise, dans sa seconde partie, les objectifs de comportement, les principes d'analyse et de vérification ainsi que les paramètres à retenir pour l'application de l'Eurocode 8 aux éléments non-structuraux du cadre bâti (notés couramment ENS pour simplification dans le guide).

## 2) LA REGLEMENTATION PARASISMIQUE CONCERNANT LES ELEMENTS NON-STRUCTUR

### 2.1) Éléments non structuraux visés par le Guide

- Les éléments constitutifs du bâtiment sont distingués suivant la fonction qu'ils assurent :
  - **les éléments structuraux** (murs, planchers...) 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...) contribuent de façon négligeable à la reprise des efforts dans la structure ;
  - **les équipements techniques** 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...).
- À partir des définitions du code civil, les éléments non-structuraux peuvent donc être définis comme étant les éléments d'ouvrages ou d'équipements du bâtiment autres que ceux constituant les ouvrages de fondation et d'ossature du bâtiment et autres que les équipements techniques.

## 2) LA REGLEMENTATION PARASISMIQUE CONCERNANT LES ELEMENTS NON-STRUCTURAUX

- Les éléments non structuraux du cadre bâti faisant l'objet de ce guide sont :

Typologies d'éléments non structuraux visés	Familles d'éléments non structuraux visés
Éléments assurant la fonction de clos et couvert	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Éléments de façade (a)</li> <li>- Menuiseries extérieures (b)</li> <li>- Éléments de couverture (c)</li> </ul>
Éléments intérieurs surfaciques verticaux et horizontaux	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cloisons</li> <li>- Doublages</li> <li>- Plafonds suspendus</li> <li>- Planchers surélevés</li> </ul>
Autres	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Éléments rapportés n'ayant pas de fonction portante (d)</li> <li>- Souches de cheminées maçonnées (e)</li> <li>- Éléments maçonnés : acrotères, balustres, garde-corps</li> </ul>

- Les équipements techniques ne sont pas considérés comme des éléments non-structuraux du cadre bâti et sont donc exclus du présent domaine d'application. Toutefois, les équipements techniques assurant une fonction de clos et de couvert sont, par destination, à considérer comme des éléments non-structuraux du cadre bâti au sens de ce guide.

## 2) LA REGLEMENTATION PARASISMIQUE CONCERNANT LES ELEMENTS NON-STRUCTUR

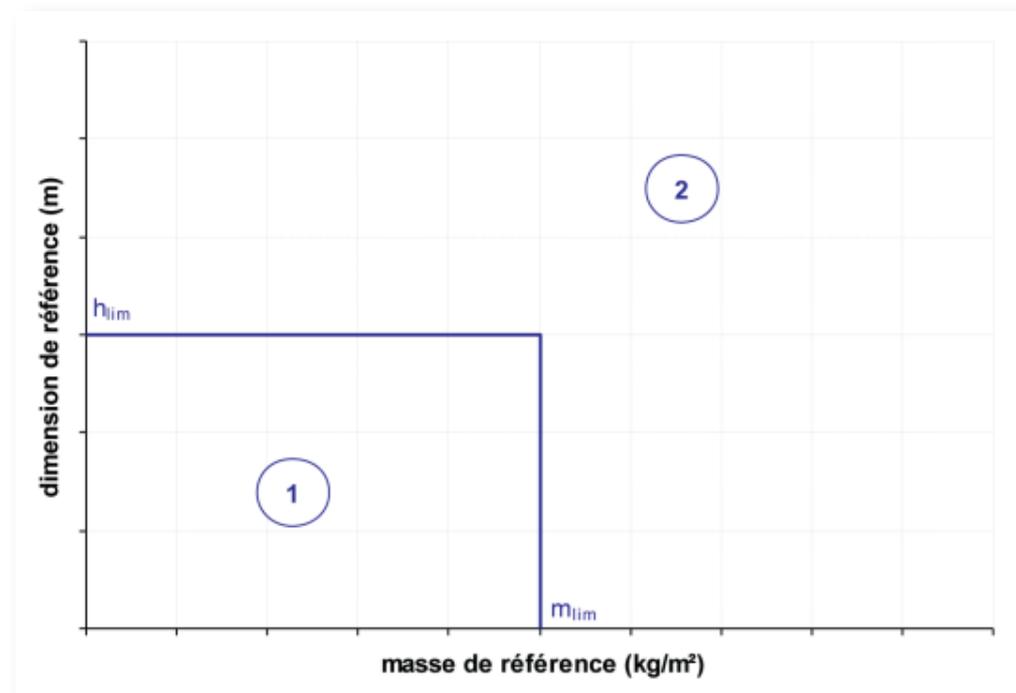
- Un panneau photovoltaïque intégré en toiture assurant une fonction de clos et de couvert est donc de fait considéré comme un élément non structurel au sens de ce guide, au titre des éléments de couverture.
- La définition d'«**éléments non- structuraux du cadre bâti** » est volontairement plus restreinte dans ce guide que les définitions apportées par l'Eurocode 8 partie 1 (§ 4.3.5) et dans l'Eurocode 1. En effet, l'Eurocode 8 traite également des éléments non-structuraux et d'équipements techniques non spécifiques au cadre bâti. Le guide ne vise que le traitement parasismique des éléments non-structuraux du cadre bâti.

### 2.1.1) **Éléments non-structuraux (ENS) du cadre bâti nécessitant une prise en compte du séisme**

- La définition du périmètre des **ENS** nécessitant une analyse de comportement sismique est basée sur l'analyse du risque pour la sécurité des personnes. Dans la plupart des cas, deux critères sont pris en compte :
  - **la dimension de référence** (sauf mention contraire, il s'agit de la distance verticale entre le point haut de l'**ENS** hors dispositions de fixation et l'aire de chute potentielle située directement sous l'**ENS**) ;
  - **la masse surfacique de l'élément.**

## 2) LA REGLEMENTATION PARASISMIQUE CONCERNANT LES ELEMENTS NON-STRUCTURALS

- Un diagramme masse/hauteur permet de définir précisément les éléments pour lesquels une analyse sismique est nécessaire. Pour une dimension de référence inférieure à  $h_{lim}$  et une masse inférieure à  $m_{lim}$ , le risque est considéré comme faible et il n'est pas exigé de prendre en compte l'action sismique dans la conception et le dimensionnement de l'élément (**région 1**). Dans le cas contraire (**région 2**), si la dimension de référence est supérieure à  $h_{lim}$  ou si la masse surfacique de l'élément est supérieure à  $m_{lim}$ , les éléments doivent faire l'objet d'une prise en compte du risque sismique.



## 2) LA REGLEMENTATION PARASISMIQUE CONCERNANT LES ELEMENTS NON-STRUCTURAUX

- Les valeurs  $h_{lim}$  et  $m_{lim}$  dépendent de la famille d'éléments non-structuraux et sont précisées si besoin dans le tableau ci-dessous. Ce tableau fournit donc le domaine d'application au sein de chaque famille d'éléments non-structuraux définis au sens de ce guide :

Familles d'éléments non structuraux du cadre bâti	Domaine d'application par famille notamment : - hauteur de référence ( $h_{lim}$ ) - masse de référence ( $m_{lim}$ )
Éléments de façade	Fixation à la structure par liaison mécanique seule : - $h_{lim} = 3,5$ m - $m_{lim} = 25$ kg/m <sup>2</sup>  Autre mode de fixation à la structure (collage seul, calé-chevillé...): - pas de limitation selon la hauteur d'implantation ( $h_{lim} = +\infty$ ) - $m_{lim} = 25$ kg/m <sup>2</sup>

## 2) LA REGLEMENTATION PARASISMIQUE CONCERNANT LES ELEMENTS NON-STRUCTURUX

Familles d'éléments non structuraux du cadre bâti	Domaine d'application par famille notamment : - hauteur de référence ( $h_{lim}$ ) - masse de référence ( $m_{lim}$ )
Menuiseries extérieures	Les menuiseries extérieures en tunnel et en applique intérieure ou extérieure ne doivent pas faire l'objet d'une analyse sismique, à l'exception : - des menuiseries dont les remplissages sont de surface supérieure à $4 \text{ m}^2$ ; - des fenêtres juxtaposées.
Éléments de couverture	Pas de limitation en masse ni hauteur : tous les éléments de la famille doivent faire l'objet d'une analyse sismique.
Cloisons et doublages	- $h_{lim} = 3,5 \text{ m}$ - $m_{lim} = 25 \text{ kg/m}^2$
Plafonds suspendus	Plafonds suspendus à l'aide d'une ossature : - $h_{lim} = 3,5 \text{ m}$ - $m_{lim} = 25 \text{ kg/m}^2$  Plafonds suspendus par système d'accroche non rigide : tous les éléments de cette famille doivent faire l'objet d'une analyse sismique ( $h_{lim} = 0$ ; $m_{lim} = 0$ ).
Planchers surélevés	- $h_{lim} = 1 \text{ m}$ - pas de limitation de masse ( $m_{lim} = +\infty$ )
Éléments rapportés sans fonction portante	- $h_{lim} = 1,5 \text{ m}$ avec $h_{lim}$ , longueur du porte-à-faux - $m_{lim} = 25 \text{ kg/m}^2$
Souches de cheminées maçonnées	- $h_{lim} = 1,4 \text{ m}$ avec $h_{lim}$ , hauteur de souche - pas de limitation de masse ( $m_{lim} = +\infty$ )
Acrotères, balustres et garde-corps maçonnés	Pas de limitation en masse ni hauteur : tous les éléments de la famille doivent faire l'objet d'une analyse sismique ( $h_{lim} = 0$ ; $m_{lim} = 0$ ).

## 2) LA REGLEMENTATION PARASISMIQUE CONCERNANT LES ELEMENTS NON-STRUCTUR

### 2.1.2) Périmètre d'application pour un ENS dans un bâtiment neuf

- 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. Dans ce cas, le dimensionnement des éléments non-structuraux est également requis :

		Catégorie d'importance du bâtiment			
		I	II	III	IV
Zone sismique	1				
	2			Application des règles PS	
	3				
	4				
	5				

### 2.1.3) Périmètre d'application pour un bâtiment existant

L'application des dispositions parasismiques en cas d'ajout ou de remplacement d'éléments non-structuraux est imposée par l'arrêté pour les mêmes catégories et zones définies que celles définies pour un bâtiment neuf.

## 2) LA REGLEMENTATION PARASISMIQUE CONCERNANT LES ELEMENTS NON-STRUCTURAUX

### 2.2) Principes d'analyse des éléments non-structuraux

#### 2.2.1) Objectifs de comportement

- Dans le cas de bâtiments neufs ou de bâtiments existants faisant l'objet de travaux structurels, les objectifs de comportement visés sont la sécurité des personnes et la limitation des dommages en cas de séisme de moindre intensité.
- Le respect de limitation des dommages sur les éléments non-structuraux est basé sur la vérification du déplacement inter-étages de la structure du bâtiment. Il n'y a pas de vérification à effectuer sur l'élément non-structurel à proprement parler mais sur la structure à laquelle est fixé cet élément.
- La limitation des dommages sur l'ouvrage ne signifie pas l'absence de dommage et ne garantit pas la continuité de fonctionnement (opérationnelle) du bâtiment.
- Pour l'ajout ou le remplacement d'un élément non-structurel dans un bâtiment existant sans autres travaux portant sur la structure du bâtiment, seul l'objectif de sécurité des personnes est visé.

## 2) LA REGLEMENTATION PARASISMIQUE CONCERNANT LES ELEMENTS NON-STRUCTUR

### 2.2.2) Effort inertiel – composante horizontale

#### 2.2.2.1) Calcul de l'effort sismique supporté par l'ENS et ses fixations à partir de l'Eurocode 8

##### a) Formulation de l'Eurocode

###### RÉFÉRENCE EUROCODE 8-1 ART. 4.3.5.2

(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 ;

$q_a$  : coefficient de comportement de l'élément ;

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

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

## 2) LA REGLEMENTATION PARASISMIQUE CONCERNANT LES ELEMENTS NON-STRUCTUR

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  $\alpha \cdot S$ .

### b) Coefficient d'importance $\gamma_a$

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

### c) Coefficient de comportement $q_a$

- Les valeurs maximales du coefficient de comportement à considérer sont données dans l'article 4.3.5.4 de l'Eurocode 8.

## 2) LA RÉGLEMENTATION PARASISMIQUE CONCERNANT LES ÉLÉMENTS NON-STRUCTURAUX

### RÉFÉRENCE EUROCODE 8-1 ART. 4.3.5.4

#### 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.

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

## 2) LA REGLEMENTATION PARASISMIQUE CONCERNANT LES ELEMENTS NON-STRUCTUR

### d) Autres paramètres

- La formule simplifiée proposée par l'Eurocode 8 prend également en compte :

1) **L'accélération de calcul  $a_g$**  ( $= a_{gr} * \gamma_i$ ) dépendant de la zone sismique et de la catégorie d'importance du bâtiment, au travers du coefficient sismique :  $\alpha = a_g/g$ ,  $g$  étant l'accélération de la pesanteur.

		Catégorie d'importance du bâtiment			
		I	II	III	IV
Zone sismique	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 2-1 : Accélération de calcul  $a_g$  (m/s<sup>2</sup>)

## 2) LA REGLEMENTATION PARASISMIQUE CONCERNANT LES ELEMENTS NON-STRUCTURALS

2) **Les conditions de sol** par l'intermédiaire du **coefficient de sol S**, dont les valeurs sont données par l'article 4.II.d) de l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié :

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 2-2: Coefficient de sol S

## 2) LA REGLEMENTATION PARASISMIQUE CONCERNANT LES ELEMENTS NON-STRUCTURALS

3) 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.

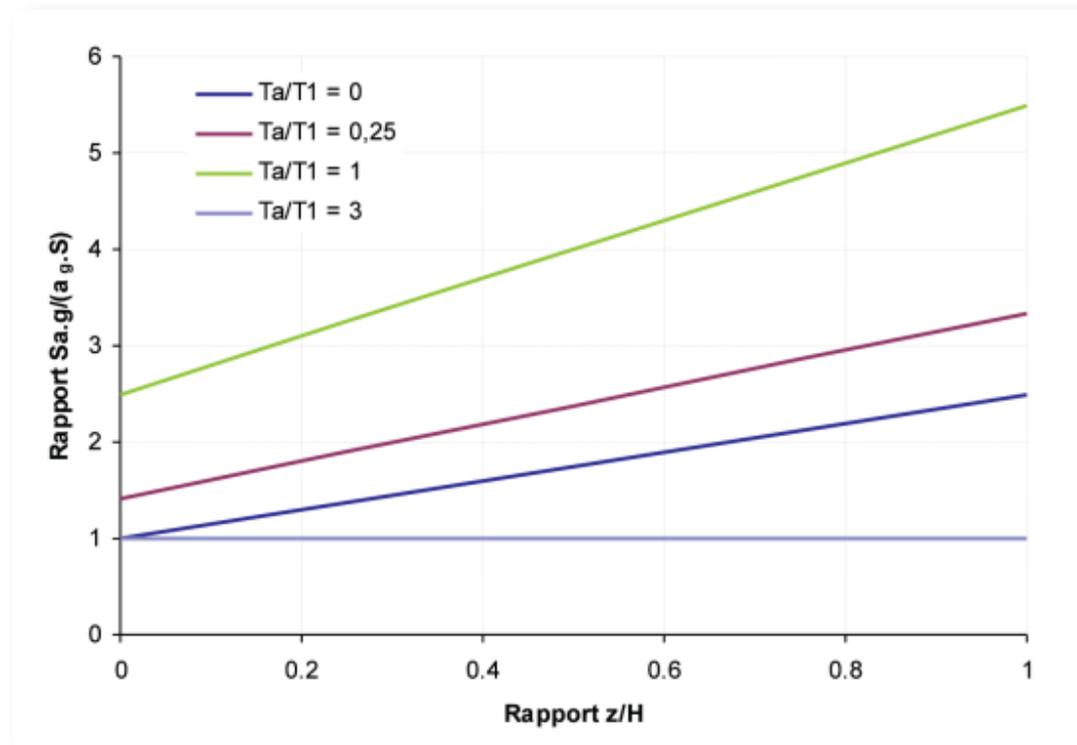


Figure 2-3 : Influence du niveau de l'ENS sur la valeur de l'effort sismique

## 2) LA REGLEMENTATION PARASISMIQUE CONCERNANT LES ELEMENTS NON-STRUCTURAUX

4) Le **rapport des périodes de l'ENS** et de la structure pour couvrir l'éventuelle amplification due à une résonance :

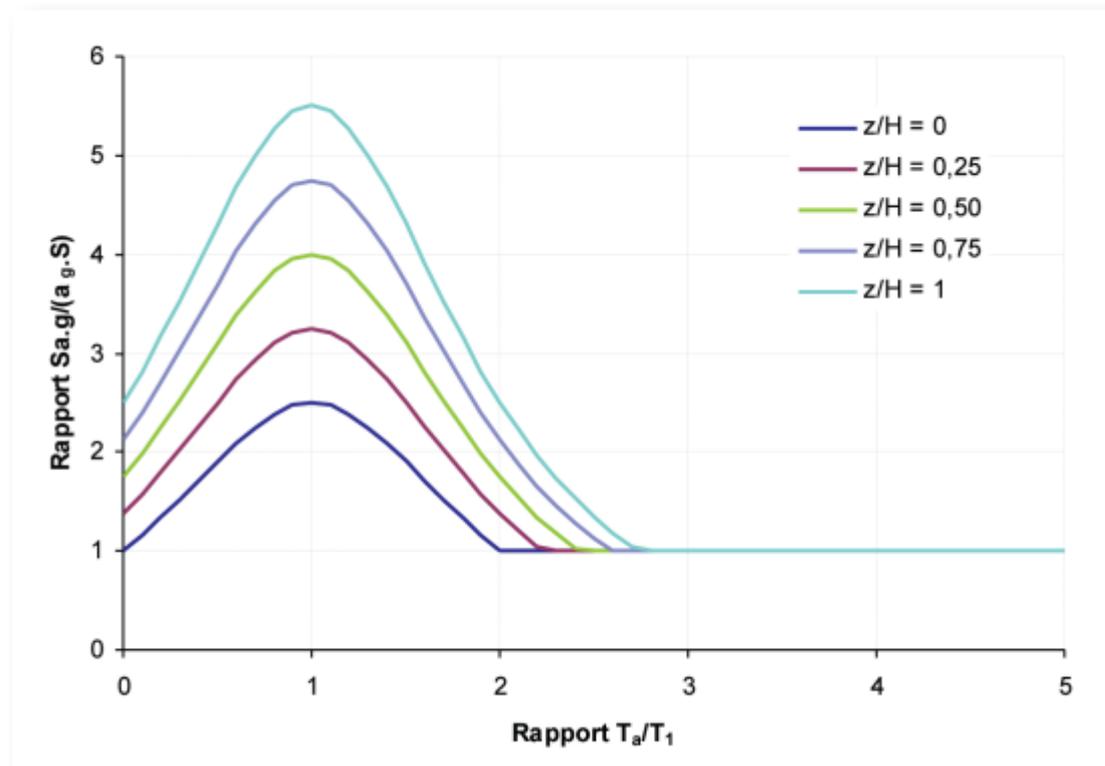


Figure 2-4 : Influence du rapport  $T_a/T_1$  sur la valeur de l'effort sismique

## 2) LA REGLEMENTATION PARASISMIQUE CONCERNANT LES ELEMENTS NON-STRUCTUR

### 2.2.2.1) Calcul de l'effort sismique supporté par l'ENS et ses fixations à partir d'une approche enveloppe

- Pour une approche enveloppe, les paramètres considérés sont les suivants :
  - sol de classe E ;
  - éléments non-structurel situé au sommet du bâtiment :  $z = H$  ;
  - résonance entre l'élément non-structurel et le bâtiment :  $T_a = T_1$ .
- Ainsi, une approche enveloppe de l'action sismique horizontale agissant dans un bâtiment sur un ENS et sur ses fixations peut alors être définie par les formules suivantes :

- Dans les zones de sismicité 2, 3 et 4:  $F_a = \frac{1,8 \times a_g / g \times 5,5 \times W_a}{q_a} = k_a \cdot W_a$

Valeur approchée:  $F_a = \frac{a_g \cdot W_a}{q_a}$

## 2) LA REGLEMENTATION PARASISMIQUE CONCERNANT LES ELEMENTS NON-STRUCTURELS

- Dans la zone de sismicité 5: 
$$F_a = \frac{1,4 \times a_g / g \times 5,5 \times W_a}{q_a} = k_a \cdot W_a$$

Valeur approchée: 
$$F_a = \frac{0,8 a_g \cdot W_a}{q_a}$$

avec :

$W_a$  : poids de l'élément non structural

$q_a$  : coefficient de comportement ( $q_a = 1$  ou  $2$ , voir §2.2.1.c)

$a_g$  : accélération de calcul exprimée en  $m/s^2$  dépendant de la zone sismique et de la catégorie d'importance de l'ouvrage

$k_a$  : coefficient adimensionnel représentant l'influence de  $a_g$  et de  $q_a$  sur l'effort appliqué à l'ENS

Les valeurs du coefficient  $k_a$  peuvent être lues dans les tableaux ci-dessous. Une valeur de  $k_a$  supérieure à 1 signifie que l'intensité de l'effort sismique est supérieure à celle du poids propre.

## 2) LA REGLEMENTATION PARASISMIQUE CONCERNANT LES ELEMENTS NON-STRUCTURALS

$q_a = 1$

		Catégorie d'importance du bâtiment		
		II	III	IV
Zone sismique	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 2-3: Coefficient sismique  $k_a$  pour  $q_a = 1$ 

$q_a = 2$

		Catégorie d'importance du bâtiment		
		II	III	IV
Zone sismique	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 2-4: Coefficient sismique  $k_a$  pour  $q_a = 2$

## 3) DOMMAGES SISMIQUES AUX ELEMENTS NON-STRUCTURAUX

### 3.1) Typologies d'éléments non-structuraux

- On désigne par « **éléments non-structuraux** », les éléments de l'ouvrage qui n'ont pas de fonction porteuse.
- Cependant sous sollicitation sismique, ils peuvent selon les cas :
  - subir des déformations préjudiciables (ex: vitrages, cheminées...);
  - être désolidarisés de la structure et présenter un danger ;
  - être arrachés, projetés... si leur ancrage initial n'était pas adéquat.
- Dans le cadre des missions post-sismiques réalisées par l'AFPS et d'autres missions réalisées par des experts internationaux, la typologie des éléments non-structuraux pour lesquels leur comportements lors des tremblement de terre a été étudié, est la suivante :

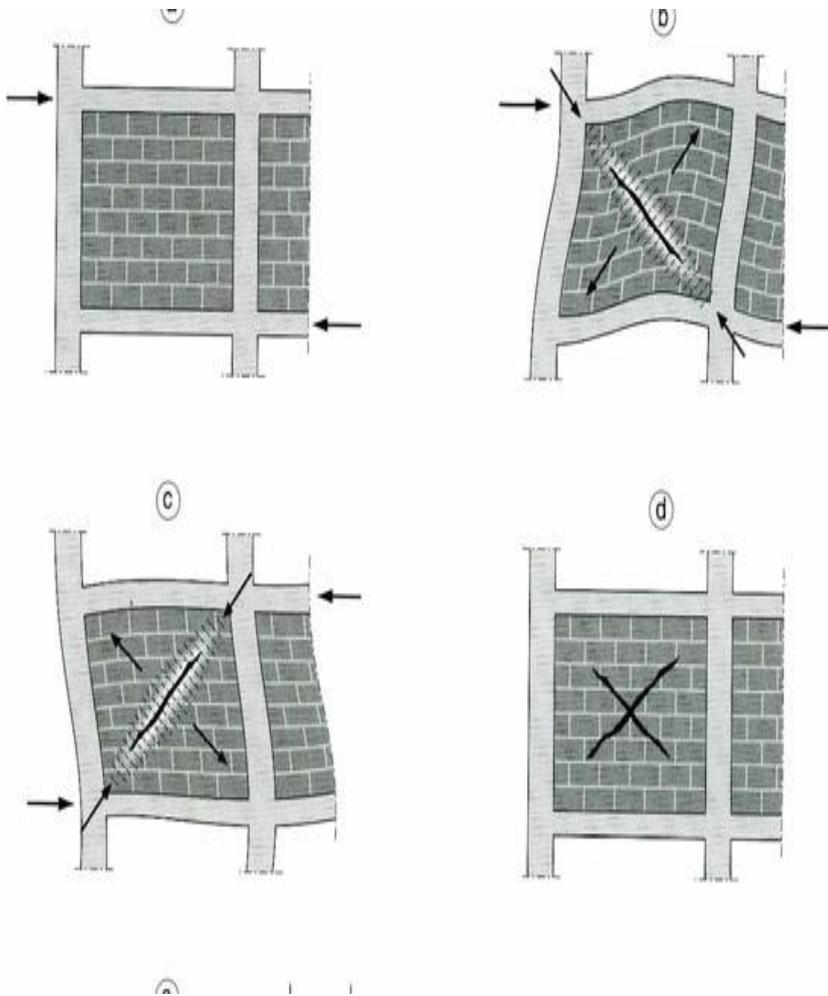
### 3) DOMMAGES SISMIQUES AUX ELEMENTS NON-STRUCTURAUX

- Les éléments de façade (bardages, parements, claustras, brises soleil, bandeaux, éléments décoratifs, ...)
- Les éléments en toiture (couverture, acrotères...)
- Les cloisons ;
- Les planchers autres que porteurs (combles inaccessibles) ;
- Les plafonds, suspendus ou rigides ;
- Les revêtements de murs (faïences, habillages,...) ;
- Les revêtements de sols (carrelage, parquets ...)
- Les cheminées ;
- Les vitrages ;

### 3) DOMMAGES SISMIQUES AUX ELEMENTS NON-STRUCTURAUX

- Le comportement des éléments non-structuraux sous séisme fait souvent apparaître deux types de désordres : à l'élément lui même, ou à sa liaison avec la structure principale.
- Désordres sur l'élément :
  - rupture par défauts de contreventement (cas des cloisons légères ou des maçonneries) ;
  - rupture par défauts de chaînage et de confinement (cas des maçonneries).
- Désordres sur la liaison :
  - chute, rupture par défauts de fixation, d'arrimage et d'ancrage dans les éléments du génie civil (caractéristique des équipements) ;
  - chute, désolidarisation, rupture par insuffisances de ductilité par rapport à la structure principale (caractéristique des faux plafonds).

### 3) DOMMAGES SISMIQUES AUX ELEMENTS NON-STRUCTURAUX



Les déformations excessives des structures sont extrêmement préjudiciables pour les éléments non-structuraux.

En particulier les cloisons, les vitrages et les éléments de façade (claustras, bandeaux, etc.), qui peuvent subir des déformations permanentes dont la réparation est souvent impossible.

## 3) DOMMAGES SISMIQUES AUX ELEMENTS NON-STRUCTURAUX

### 3.2 ) Exemples de dommages sismiques aux éléments non-structuraux

#### 3.2.1) – Eléments extérieurs de façade

- Eléments de façades lourdes
- Eléments de façades légères
- Vitrages

#### 3.2.2) – Eléments décoratifs de façades et divers

- Bandeaux & Acrotères
- Claustras, brises soleil et autres éléments décoratifs
- Couvertures
- Cheminées et clochers

#### 3.2.3) – Eléments intérieurs

- Cloisons (murs de remplissage)
- Plafonds suspendus

## 3) DOMMAGES SISMIQUES AUX ELEMENTS NON-STRUCTURAUX

### 3.2.1) – Eléments extérieurs de façade ■ Eléments de façades lourdes



**(Destruction des parements extérieurs en brique –  
Séisme d’Aquila 2009, Italie – Source Rapport de  
mission AFPS – F. DUNAND)**

### 3) DOMMAGES SISMIQUES AUX ELEMENTS NON-STRUCTURAUX



(Endommagement de remplissages en maçonnerie, Amatrice, Séisme 2016, Italie – Source Rapport de mission AFPS – A. BALGIU)

### 3) DOMMAGES SISMIQUES AUX ELEMENTS NON-STRUCTURAUX



**(Endommagement de remplissages en maçonnerie, Amatrice, Séisme 2016, Italie – Source Rapport de mission AFPS – A. BALGIU)**

### 3) DOMMAGES SISMIQUES AUX ELEMENTS NON-STRUCTURAUX



**(Dégâts dans les panneaux maçonnés du bâtiment en charpente métallique, Amatrice, Séisme 2016, Italie – Source Rapport de mission AFPS – A. BALGIU)**

### 3) DOMMAGES SISMIQUES AUX ELEMENTS NON-STRUCTURAUX



**(Destruction des parements extérieurs de remplissage –  
Séisme d'Aquila 2009, Italie – Source Rapport de  
mission AFPS – F. DUNAND)**

### 3) DOMMAGES SISMIQUES AUX ELEMENTS NON-STRUCTURAUX



**(Destruction des panneaux extérieurs de façade –  
Séisme d’Aquila 2009, Italie – Source Rapport de  
mission AFPS – F. DUNAND)**

### 3) DOMMAGES SISMIQUES AUX ELEMENTS NON-STRUCTURAUX



**(Destruction des panneaux extérieurs de façade – Séisme d'Aquila 2009, Italie – Source Rapport de mission AFPS – F. DUNAND)**

### 3) DOMMAGES SISMIQUES AUX ELEMENTS NON-STRUCTURAUX



**(Destruction des panneaux extérieurs de façade – Séisme d’Haïti 2010 – Source Rapport de mission AFPS – F. DUNAND)**

### 3) DOMMAGES SISMIQUES AUX ELEMENTS NON-STRUCTURAUX



**(Destruction partielle des trumeaux et des panneaux de façade  
– Source Rapport de mission AFPS)**

### 3) DOMMAGES SISMIQUES AUX ELEMENTS NON-STRUCTURAUX



**(Destruction des panneaux extérieurs de façade – Séisme d’Haïti 2010 – Source Rapport de mission AFPS – F. DUNAND)**

### 3) DOMMAGES SISMIQUES AUX ELEMENTS NON-STRUCTURAUX



**(Damage étendu aux parements extérieurs en brique – Séisme de Boumerdès 2003, Algérie – Source Rapport de mission AFPS)**

### 3) DOMMAGES SISMIQUES AUX ELEMENTS NON-STRUCTURAUX



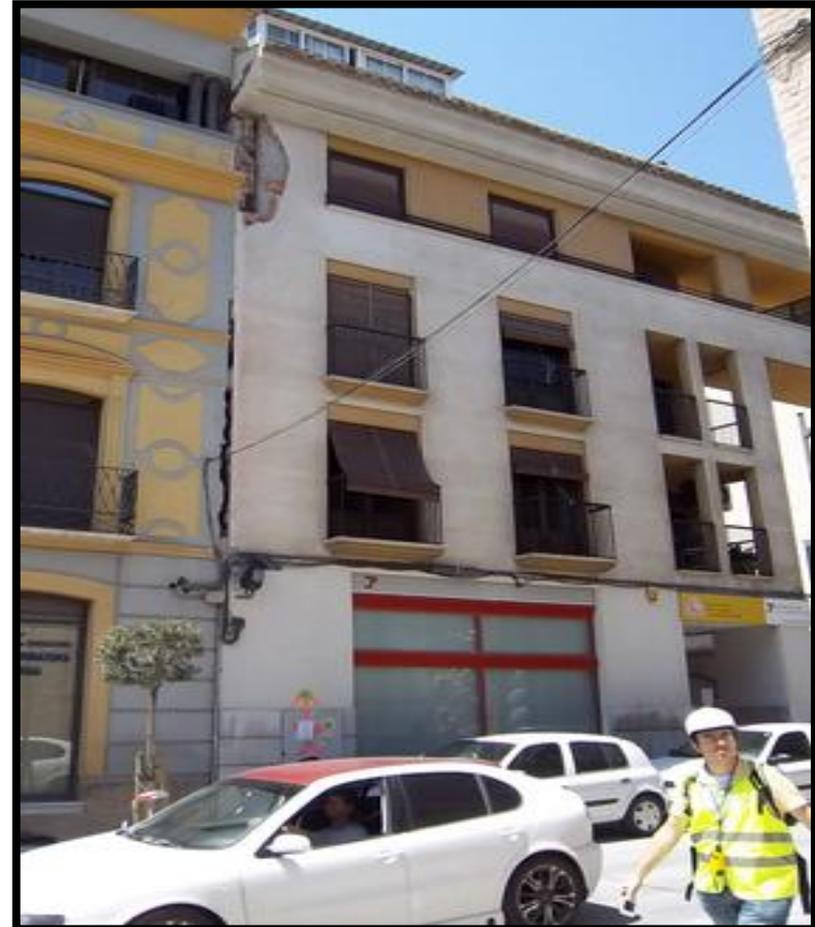
**(Dommage partiel aux remplissages et parements de façade – Séisme de Lorca 2011, Espagne – Source Rapport de mission AFPS – G. VERRHIEST)**

### 3) DOMMAGES SISMIQUES AUX ELEMENTS NON-STRUCTURAUX



**(Chute des éléments de façade lourds. Cause : liaisons d'éléments de façade sous-dimensionnés – Séisme d'Emilie-Romagne 2011, Italie – Source Rapport de mission AFPS)**

### 3) DOMMAGES SISMIQUES AUX ELEMENTS NON-STRUCTURAUX



**(Dommage partiel aux revêtements de façade – Séisme de Lorca 2011, Espagne – Source Rapport de mission AFPS – G. VERRHIEST)**

### 3) DOMMAGES SISMIQUES AUX ELEMENTS NON-STRUCTURAUX



**(Chute de parapet au niveau d'une terrasse au dernier niveau - Séisme d'Emilie-Romagne 2012, Italie - Source Rapport de mission AFPS)**

### 3) DOMMAGES SISMIQUES AUX ELEMENTS NON-STRUCTURAUX

#### ■ Éléments de façades légères



**(Façade légère complètement détruite suite aux déformations de la structure - Séisme d'Alaska 1964, Etats-Unis - Source M. ZACEK)**

### 3) DOMMAGES SISMIQUES AUX ELEMENTS NON-STRUCTURAUX



**(Destruction totale des panneaux de façade - Séisme de Niscally 2001, Etats-Unis - Source P. BALANDIER)**

### 3) DOMMAGES SISMIQUES AUX ELEMENTS NON-STRUCTURAUX



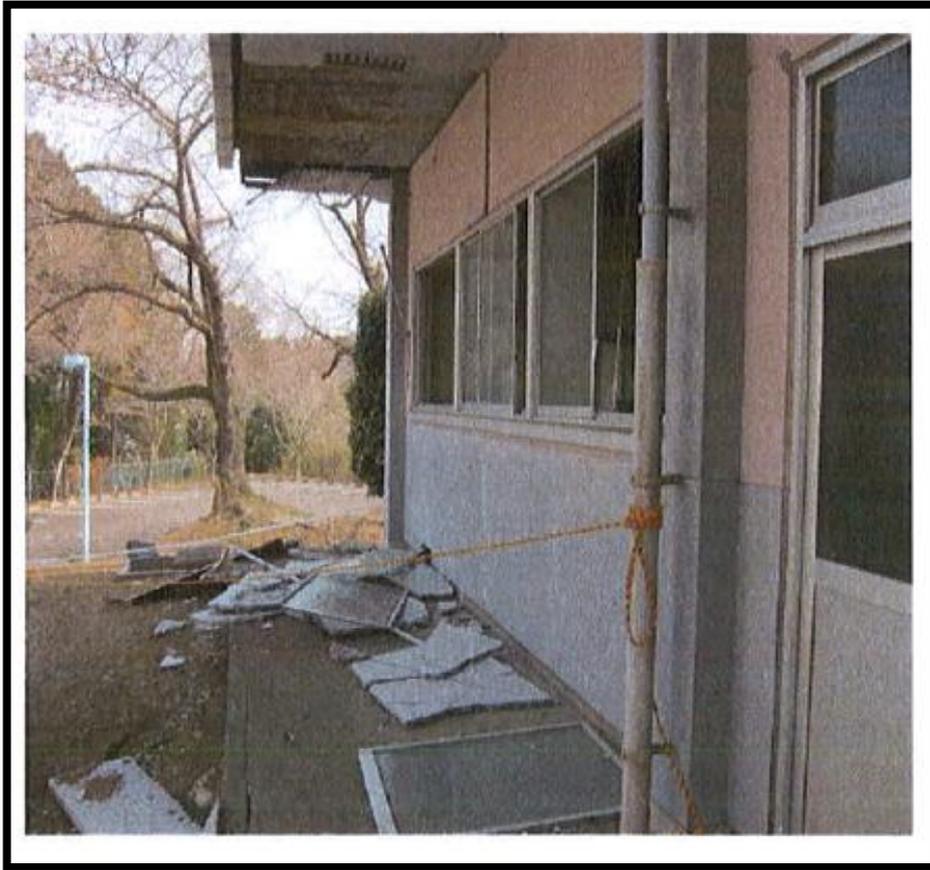
**(Façade légère qui se détache de la structure d'un entrepôt - Séisme de Coalinga 1983, Etats-Unis – Source M. ZACEK)**

### 3) DOMMAGES SISMIQUES AUX ELEMENTS NON-STRUCTURAUX



**(Chute des habillages de façade - Séisme de Boumerdès 2003, Algérie – Source Rapport de mission AFPS)**

### 3) DOMMAGES SISMIQUES AUX ELEMENTS NON-STRUCTURAUX



(Séisme de Tohoku 2011, Japon – Source Rapport BRI Japon)

### 3) DOMMAGES SISMIQUES AUX ELEMENTS NON-STRUCTURAUX

#### ■ Vitrages



**Grande étendue des dommages aux vitrages - Séisme d'Izmit 1999, Turquie – Source M. ZACEK)**

### 3) DOMMAGES SISMIQUES AUX ELEMENTS NON-STRUCTURAUX



(Séisme Tohoku 2011, Japon - Source Rapport BRI Japon)

### 3) DOMMAGES SISMIQUES AUX ELEMENTS NON-STRUCTURAUX



**(Dommage partiel vitrage façade  
- Séisme de Maule 2010, Chili  
- Source RMS Post Event Report )**

## 3) DOMMAGES SISMIQUES AUX ELEMENTS NON-STRUCTURAUX

### 3.2.2) – Eléments décoratifs de façades et divers

#### ■ Bandeaux & Acrotères



(Chutes d'acrotères en maçonnerie – Séisme de Maule 1960, Chili -  
Source M. ZACEK)

### 3) DOMMAGES SISMIQUES AUX ELEMENTS NON-STRUCTURAUX



**(Console verticale complètement cassée - Séisme d'Aquila 2009, Italie - Source Rapport mission AFPS – P.PERROTIN)**

### 3) DOMMAGES SISMIQUES AUX ELEMENTS NON-STRUCTURAUX



**(Chute des débords de toiture en béton en porte à faux - Séisme d'Haïti 2010 – Source Rapport de mission AFPS)**

### 3) DOMMAGES SISMIQUES AUX ELEMENTS NON-STRUCTURAUX



*Séisme des Saintes du 28 novembre 2004*

➤ → Les bandeaux de façade sont des éléments non-structuraux en béton armé soumis aux intempéries



dégâts modérés

➤ → L'accrochage à la structure est fortement fissuré pouvant entraîner la chute des bandeaux

(Séisme des Saintes du 28 novembre 2004 – Source Rapport de mission AFPS)

### 3) DOMMAGES SISMIQUES AUX ELEMENTS NON-STRUCTURAUX



**(Endommagement et chute de parapet et fronton en maçonnerie - Séisme d'Emilie-Romagne 2012, Italie – Source Rapport de mission AFPS)**

### 3) DOMMAGES SISMIQUES AUX ELEMENTS NON-STRUCTURAUX

#### ■ Claustras, brises soleil et autres éléments décoratifs



**(Claustras détruits par le séisme – Séisme d’Haïti 2010  
– Source Rapport de mission AFPS – F. DUNAND)**

### 3) DOMMAGES SISMIQUES AUX ELEMENTS NON-STRUCTURAUX



**(Claustras détruits par le séisme – Séisme d’Haïti 2010  
– Source Rapport de mission AFPS – F. DUNAND)**

### 3) DOMMAGES SISMIQUES AUX ELEMENTS NON-STRUCTURAUX



**(Claustras détruits par le séisme – Séisme d’Haïti 2010  
– Source Rapport de mission AFPS – F. DUNAND)**

### 3) DOMMAGES SISMIQUES AUX ELEMENTS NON-STRUCTURAUX



Séisme des Saintes du 28 novembre 2004

Dégâts importants

- Brise soleil métalliques horizontaux présentant une importante instabilité

**(Brises soleil métalliques décrochés de leur support suite à une déformation excessive de la structure métallique – Séisme des Saintes 2004 – Source Rapport de mission AFPS )**

### 3) DOMMAGES SISMIQUES AUX ELEMENTS NON-STRUCTURAUX



**(Perte de support des poutres brise-soleil béton, faiblement encastées dans le mur – Séisme d’Emilie-Romagne 2012, Italie – Source - Rapport de mission AFPS – P. PERROTIN )**

### 3) DOMMAGES SISMIQUES AUX ELEMENTS NON-STRUCTURAUX



*Séisme de Martinique du 29 novembre 2007*

➤ -Bâtiment de la Poste, chute d'une lame décorative en béton



➤ -L'impact au sol de la lame en béton

**(Séisme de Martinique du 29 novembre 2007 – Source Rapport de mission AFPS – P. PERROTIN )**

### 3) DOMMAGES SISMIQUES AUX ELEMENTS NON-STRUCTURAUX



**(Claustras partiellement endommagés - Séisme d'Haïti 2010  
– Source Rapport de mission AFPS – F. DUNAND)**

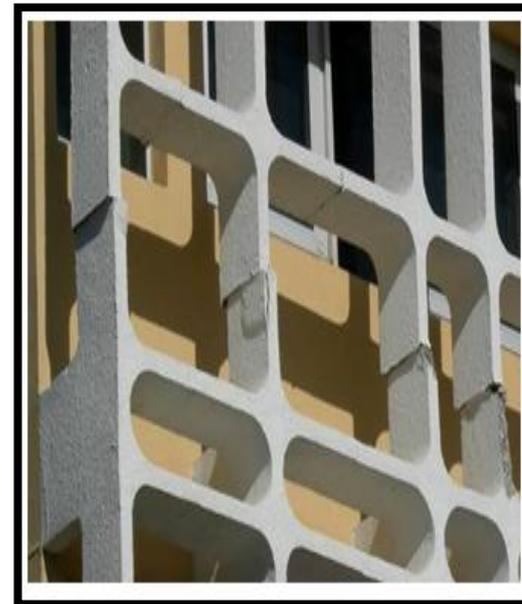
### 3) DOMMAGES SISMIQUES AUX ELEMENTS NON-STRUCTURAUX



29 novembre 2007

*Séisme de Martinique du 29 novembre 2007*

- Les éléments de façade présentent une très grande fragilité, zone dangereuse pour les piétons
- Dégradations des liaisons entre les éléments de façade



- Détail des dégradations des liaisons entre les éléments de façade

(Séisme de Martinique du 29 novembre 2007 – Source Rapport de mission AFPS )

### 3) DOMMAGES SISMIQUES AUX ELEMENTS NON-STRUCTURAUX

#### ■ Couvertures



**(Rupture des fixations, déplacement important et destruction des tuiles, suites à des dommages importants à la structure en maçonnerie - Séisme d'Aquila 2009, Italie – Source Rapport de mission AFPS – P. PERROTIN)**

### 3) DOMMAGES SISMIQUES AUX ELEMENTS NON-STRUCTURAUX



**(Dommages importants - toiture en verre – Séisme de Maule 2010, Chili  
- Source RMS Post Event Report )**

### 3) DOMMAGES SISMIQUES AUX ELEMENTS NON-STRUCTURAUX



**(Perte partielle des éléments de toitures sur bâtiment résidentiel - Séisme de Niigata 2007, Japon – Source O. SCOTTI)**

### 3) DOMMAGES SISMIQUES AUX ELEMENTS NON-STRUCTURAUX



**(Dommage aux liaisons des éléments de toitures - Séisme d'Emilie-Romagne 2012, Italie – Source de Rapport mission AFPS)**

### 3) DOMMAGES SISMIQUES AUX ELEMENTS NON-STRUCTURAUX

#### ■ Cheminées et clochers



**(Rupture des fixations de la cheminée extérieure - Défaut d'ancrage des cheminées - Source M. ZACEK)**

### 3) DOMMAGES SISMIQUES AUX ELEMENTS NON-STRUCTURAUX



**(Cisaillement des conduits de cheminée - Séisme d'Aquila 2009, Italie – Source Rapport de mission AFPS)**

### 3) DOMMAGES SISMIQUES AUX ELEMENTS NON-STRUCTURAUX



**(Cisaillement des conduits de cheminée - Séisme de San Fernando 1971, Etats-Unis – Source M. ZACEK)**

### 3) DOMMAGES SISMIQUES AUX ELEMENTS NON-STRUCTURAUX



**(Destruction de clocher - Séisme d'Aquila 2009, Italie  
– Source Rapport de mission AFPS – F. DUNAND )**

### 3) DOMMAGES SISMIQUES AUX ELEMENTS NON-STRUCTURAUX



**(Fissures très importantes dans les maçonneries du clocher -  
Séisme d'Aquila 2009, Italie – Source Rapport de mission AFPS –  
F. DUNAND )**

### 3) DOMMAGES SISMIQUES AUX ELEMENTS NON-STRUCTURAUX



**(Dommage partiel cheminée - San Simeon, California 2003, Etats-Unis – Source RMS Post Event Report)**

## 3) DOMMAGES SISMIQUES AUX ELEMENTS NON-STRUCTURAUX

### 3.2.3) – Eléments intérieurs

#### ■ Cloisons (murs de remplissage)



**(Fissures en “X” visibles dans la cloison du fond (photo gauche) et sur la cloison latérale (photo droite) - Séisme de Boumerdès 2003, Algérie - Source Rapport de mission AFPS)**

### 3) DOMMAGES SISMIQUES AUX ELEMENTS NON-STRUCTURAUX



**(Destruction complète des cloisons, sans conséquences pour les poteaux, suite à une déformation importante de la structure - Séisme de Boumerdès 2003, Algérie – Source Rapport de mission AFPS)**

### 3) DOMMAGES SISMIQUES AUX ELEMENTS NON-STRUCTURAUX



**(Chute des cloisons en maçonnerie - Séisme d'Aquila 2009, Italie  
– Source Rapport de mission AFPS – F. DUNAND )**

### 3) DOMMAGES SISMIQUES AUX ELEMENTS NON-STRUCTURAUX



**(Chute des cloisons en maçonnerie - Séisme d'Aquila 2009, Italie  
– Source Rapport de mission AFPS – F. DUNAND )**

### 3) DOMMAGES SISMIQUES AUX ELEMENTS NON-STRUCTURAUX



**(Chute des cloisons en maçonnerie - Séisme d'Aquila 2009, Italie  
– Source Rapport de mission AFPS – F. DUNAND )**

### 3) DOMMAGES SISMIQUES AUX ELEMENTS NON-STRUCTURAUX



**(Fissures très importantes dans les cloisons en maçonnerie - Séisme d'Aquila 2009, Italie – Source Rapport de mission AFPS – F. DUNAND )**

### 3) DOMMAGES SISMIQUES AUX ELEMENTS NON-STRUCTURAUX



**(Eclatement et fissuration de cloisons en maçonnerie – Source AFPS)**

### 3) DOMMAGES SISMIQUES AUX ELEMENTS NON-STRUCTURAUX



*Séisme de Saintes du 28 novembre 2004*

➤→ Fissure à 45° dans la cloison due probablement à la trop grande souplesse de la structure porteuse en béton armé



*Séisme de Martinique du 29 novembre 2007*

➤→ Fissure à 45° de la cloison

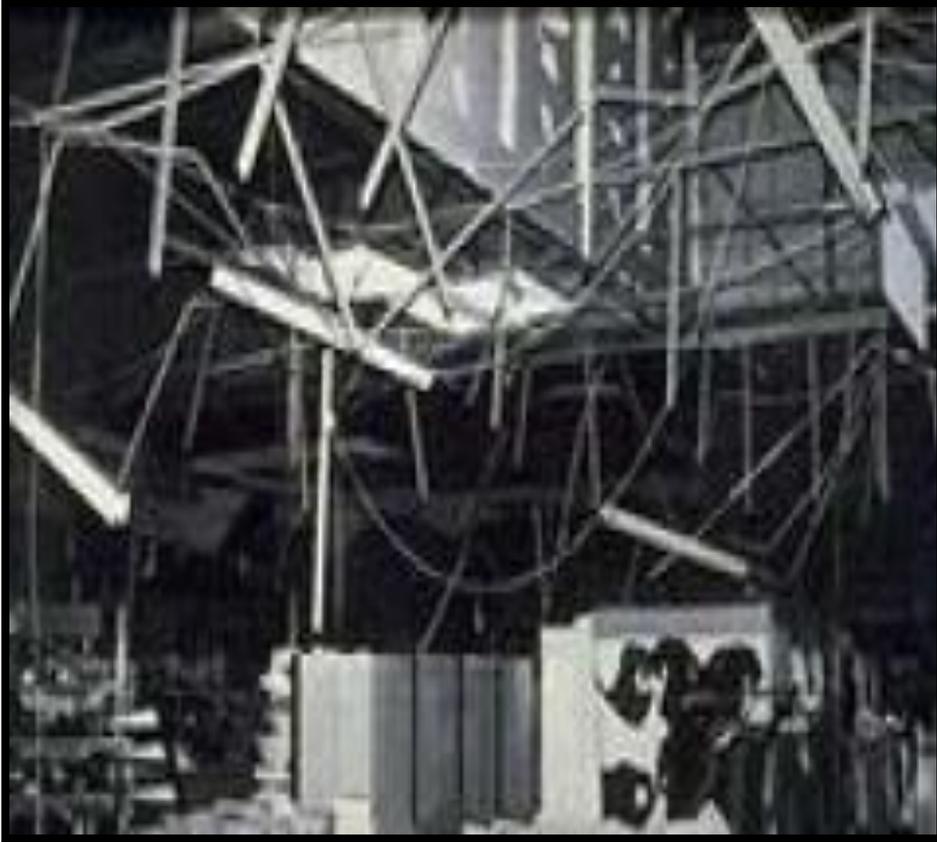
### 3) DOMMAGES SISMIQUES AUX ELEMENTS NON-STRUCTURAUX



**(Fissures assez importantes dans un mur intérieur en maçonnerie  
- Séisme d'Haïti 2010 – Source Rapport de mission AFPS – F. DUNAND)**

### 3) DOMMAGES SISMIQUES AUX ELEMENTS NON-STRUCTURAUX

#### ■ Plafonds suspendus



**(Chute des faux-plafonds non contreventés – Source V. DAVIDOVICI)**

### 3) DOMMAGES SISMIQUES AUX ELEMENTS NON-STRUCTURAUX



**(Chute de plaques des plafonds suspendus – Séisme de Salvador 2001  
- Source P. BALANDIER)**

### 3) DOMMAGES SISMIQUES AUX ELEMENTS NON-STRUCTURAUX



**(Chute plafond suspendu. Rupture des éléments de suspension –  
Séisme de Maule 2010, Chili – Source RMS Post Event Report )**

### 3) DOMMAGES SISMIQUES AUX ELEMENTS NON-STRUCTURAUX



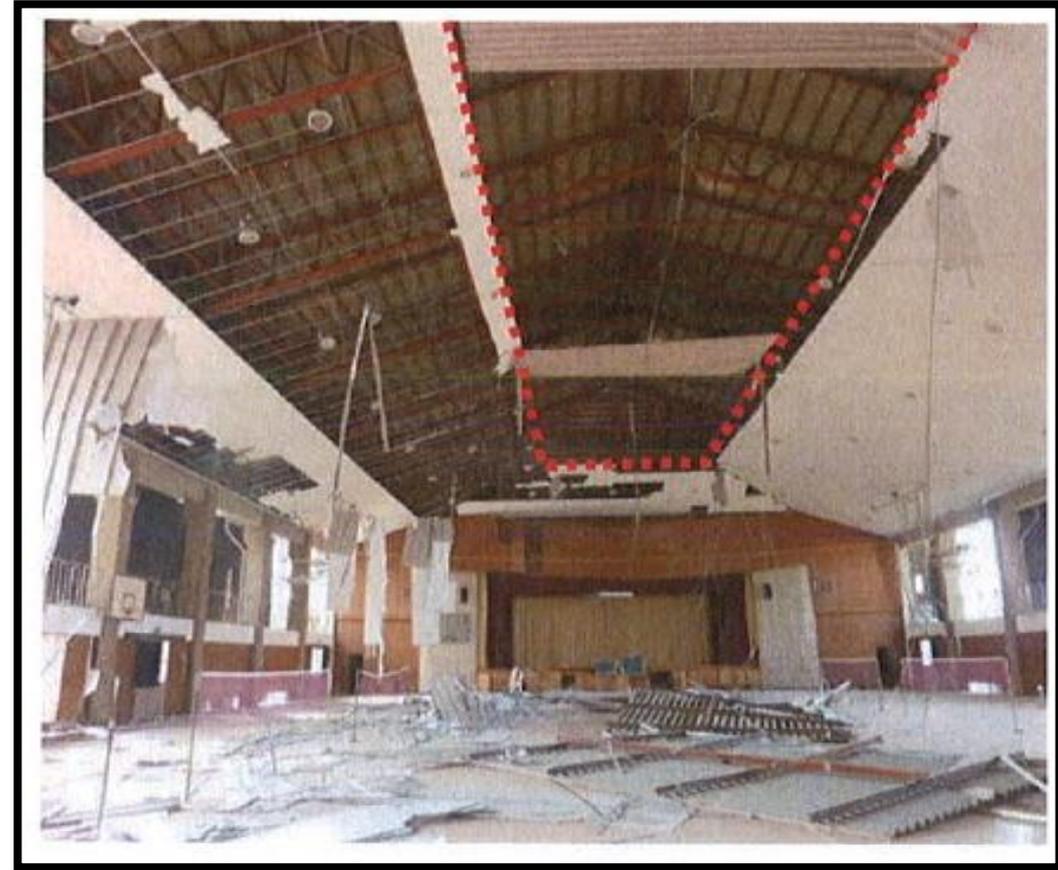
**(Chute des faux plafonds en plaques de bois clouées sur une structure porteuse en bois - Séisme d'Haïti 2010 – Source Rapport de mission AFPS – F. DUNAND)**

### 3) DOMMAGES SISMIQUES AUX ELEMENTS NON-STRUCTURAUX



**(Chute des faux plafonds - Séisme d'Haïti 2010 – Source Rapport de mission AFPS – F. DUNAND)**

### 3) DOMMAGES SISMIQUES AUX ELEMENTS NON-STRUCTURAUX



**(Chute des faux plafonds - Séisme Tohoku 2011, Japon  
– Source Rapport BRI Japon)**

### 3) DOMMAGES SISMIQUES AUX ELEMENTS NON-STRUCTURAUX



**(Chute des faux plafonds et des blocs lumineux – Séisme Aquila 2009, Italie – Source Rapport de mission AFPS)**

### 3) DOMMAGES SISMIQUES AUX ELEMENTS NON-STRUCTURAUX



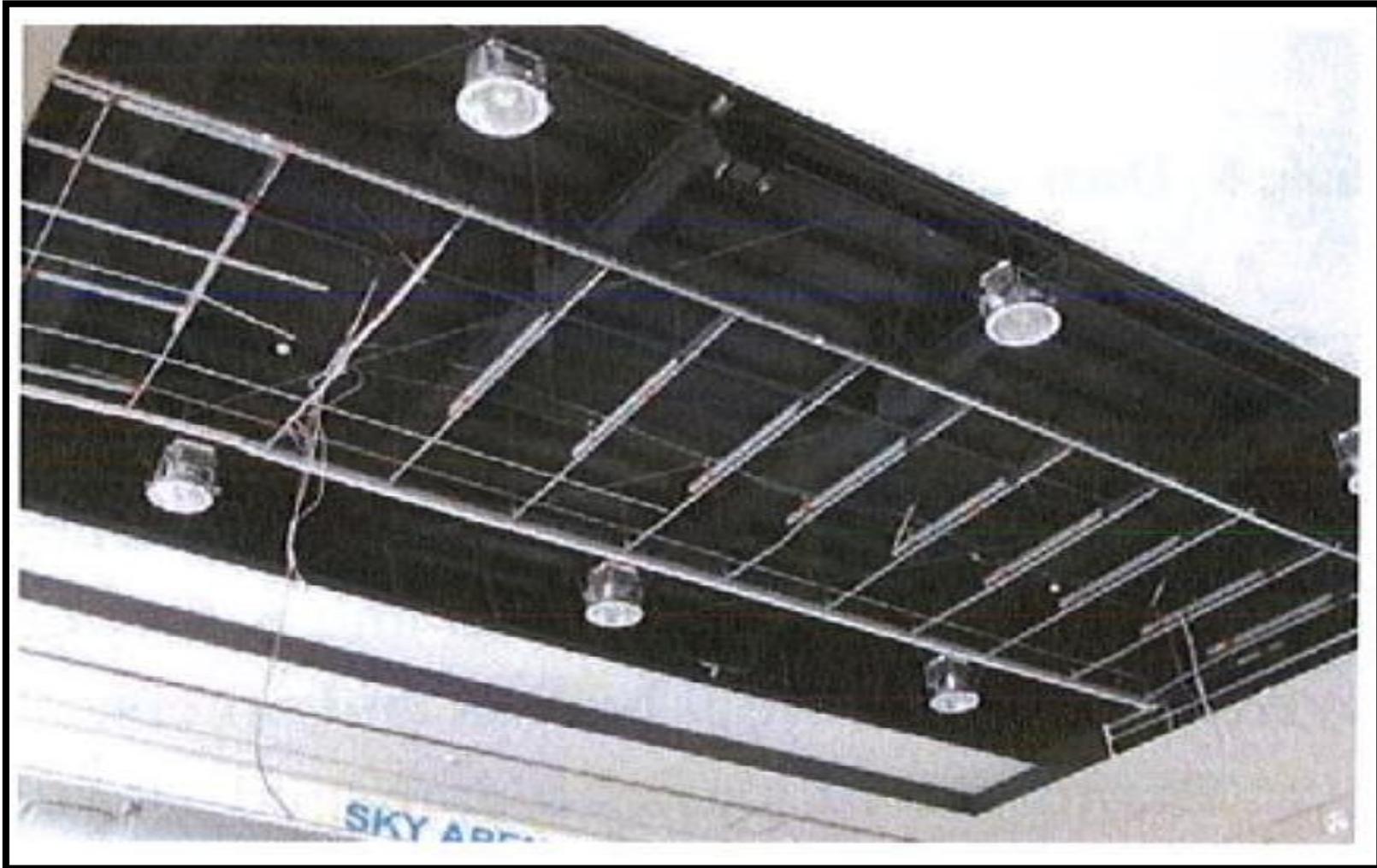
**(Chute partielle des panneaux de plafond en bois, suite à la perte des fixations à la structure du plafond suspendu – Séisme de Maule 2010, Chili – Source Rapport de mission AFPS)**

### 3) DOMMAGES SISMIQUES AUX ELEMENTS NON-STRUCTURAUX



(Séisme Tohoku 2011, Japon – Source Rapport BRI Japon)

### 3) DOMMAGES SISMIQUES AUX ELEMENTS NON-STRUCTURAUX



(Séisme Tohoku 2011, Japon – Source Rapport BRI - Japon)

# MERCI DE VOTRE ATTENTION

