

Commission chargée de formuler des Avis Techniques

Groupe Spécialisé n° 9

Cloisons, doublages et plafonds

Guide d'évaluation des plafonds sous actions sismiques

Ce document a été validé par la Commission chargée
de formuler des Avis Techniques le 10 juin 2014.

Établissement public au service de l'innovation dans le bâtiment, le CSTB, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, exerce quatre activités clés : la recherche, l'expertise, l'évaluation, et la diffusion des connaissances, organisées pour répondre aux enjeux de la transition écologique et énergétique dans le monde de la construction. Son champ de compétences couvre les produits de construction, les bâtiments et leur intégration dans les quartiers et les villes.

Avec plus de 900 collaborateurs, ses filiales et ses réseaux de partenaires nationaux, européens et internationaux, le groupe CSTB est au service de l'ensemble des parties prenantes de la construction pour faire progresser la qualité et la sécurité des bâtiments.

Toute reproduction ou représentation intégrale ou partielle, par quelque procédé que ce soit, des pages publiées dans le présent ouvrage, faite sans l'autorisation de l'éditeur ou du Centre Français d'Exploitation du droit de copie (3, rue Hautefeuille, 75006 Paris), est illicite et constitue une contrefaçon. Seules sont autorisées, d'une part, les reproductions strictement réservées à l'usage du copiste et non destinées à une utilisation collective et, d'autre part, les analyses et courtes citations justifiées par le caractère scientifique ou d'information de l'œuvre dans laquelle elles sont incorporées (Loi du 1er juillet 1992 - art. L 122-4 et L 122-5 et Code Pénal art. 425).

© CSTB 2014

Guide d'évaluation des plafonds sous actions sismiques

SOMMAIRE

1. Cadre réglementaire	2	Annexe 1	
1.1 Généralités	2	Variables utilisées dans ce référentiel.....	8
1.2 Éléments non structuraux	2	Annexe 2	
1.3 Analyse des plafonds	2	Exemples de calculs de m_{lim}.....	9
1.4 Plafonds nécessitant une prise en compte du séisme	3	Annexe 3	
1.5 Bilan sur l'analyse d'un plafond sous sollicitations sismiques	3	Représentation de l'effort vertical de la justification n° 1.....	10
2. Détermination des effets d'actions (E_d)	3	Annexe 4	
2.1 Justification n° 1 : action perpendiculaire au plan du plafond (effort vertical)	3	Vérification de la justification n° 1	11
2.2 Justification n° 2 : action dans le plan du plafond (effort horizontal)	4	Annexe 5	
2.3 Justification n° 3 : tenue du plafond sous déformation de la structure	5	Représentation de l'effort horizontal de la justification n° 2.....	12
2.4 Justification n° 3 bis : tenue du plafond sous déformation de la structure dans le plan du plafond.....	5	Annexe 6	
3. Détermination des capacités résistantes (R_d)	5	Protocole d'essai pour la justification n° 1.....	13
3.1 Justification n° 1 : action perpendiculaire au plan du plafond (effort vertical)	5	Annexe 7	
3.2 Justification n° 2 : action dans le plan du plafond (effort horizontal)	6	Compatibilité avec les déformations de la structure	14
3.3 Justification n° 3 : tenue du plafond sous déformation de la structure	6	Annexe 8	
		Méthodes pour déterminer les capacités résistantes de calcul R_d.....	15

Guide Technique spécialisé

Pour la constitution d'un dossier de demande d'Avis Technique : Plafonds sous actions sismiques

Objet

L'objet de ce référentiel est de donner des outils d'aide à la conception et à la mise en œuvre de plafonds capables de reprendre l'action sismique de calcul tout en étant compatibles avec les déformations de la structure lors d'un séisme. Ce guide est en conformité avec la norme NF EN 1998-1 (Eurocode 8) et le guide de dimensionnement parasismique des éléments non structuraux du cadre bâti (guide ENS).

Ce référentiel est destiné à être utilisé dans le cadre d'une demande d'Avis Technique ou de Document Technique d'Application⁽¹⁾ sur un procédé de plafond dont le domaine d'emploi vise les ouvrages requérant une vérification parasismique au sens de l'article 3 de 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 ».

1. Cadre réglementaire

1.1 Généralités

Le cadre réglementaire est celui défini par l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux bâtiments dite de « classe normal ».

L'article 3 de l'arrêté du 22 octobre 2010 précise les ouvrages pour lesquels des dispositions parasismiques sont requises, suivant la zone géographique⁽²⁾ et le type d'ouvrage⁽³⁾.

Tableau 1 – Ouvrages requérant une justification parasismique

	Catégorie I	Catégorie II	Catégorie III	Catégorie IV
Zone 1	Aucune vérification requise			
Zone 2			NF P 06-014 ou NF EN 1998-1	
Zone 3		NF P 06-014 ou NF EN 1998-1	NF EN 1998-1	
Zone 4				
Zone 5				

1. Les documents régissant la procédure des Avis Techniques et Documents Techniques d'Application sont l'arrêté du 21 mars 2012 et le règlement intérieur de la commission chargée de formuler des Avis Techniques (CCFAT) et Documents Techniques d'Application du 18 juin 2012.
2. Zone sismique définie dans le décret n° 2010-1255 du 22 octobre 2010 portant délimitation des zones de sismicité du territoire français.
3. Catégorie d'ouvrage définie à l'article 2 de l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié « Classification des bâtiments ».

Dans certains cas, pour certaines catégories d'ouvrages et/ou certaines zones sismiques, des règles simplifiées peuvent être applicables sous conditions. La réglementation s'applique aux structures des ouvrages, mais également aux éléments non structuraux.

1.2 Éléments non structuraux

Les éléments non structuraux des bâtiments (comme les plafonds) qui peuvent, en cas de rupture, exposer les personnes à des risques ou affecter la structure principale du bâtiment doivent être vérifiés – ainsi que leurs supports – en vue de résister à l'action sismique de calcul, conformément à l'article 4.3.5.1(1)P de la norme NF EN 1998-1 (septembre 2005).

Il convient de vérifier que les sollicitations en efforts et déformations E_d sont toujours inférieures aux capacités résistantes en efforts et déformations R_d :

$$E_d \leq R_d$$

Les vérifications de sécurité doivent porter sur l'exigence de non-effondrement à l'état limite ultime (vis-à-vis du séisme de référence) ainsi que sur l'exigence de limitation des dommages sous séisme fréquent⁽⁴⁾.

Le guide de dimensionnement des éléments non structuraux du cadre bâti (appelé également « guide ENS ») donne les principes d'analyse des éléments non structuraux et indique les calculs des efforts à prendre en compte ainsi que les compatibilités requises avec les déformations de la structure, en conformité avec l'Eurocode 8. Dans le cas particulier des plafonds, ces éléments sont donnés dans le paragraphe suivant.

1.3 Analyse des plafonds

La vérification de l'aptitude à l'emploi d'un plafond sous contraintes sismiques porte sur trois critères :

- justification sous action perpendiculaire au plan du plafond (effort vertical) ;
- justification sous action dans le plan du plafond (effort horizontal) ;
- justification de la tenue du plafond sous déformation de la structure.

Ces trois justifications sont détaillées ci-après.

Les plafonds doivent être évalués dans leurs configurations finales après mise en œuvre, en prenant notamment en compte toutes les surcharges⁽⁵⁾ et en particulier l'épaisseur et la masse volumique de l'isolant utilisé.

On ne vise que les plafonds suspendus soumis uniquement à leur poids propre et aux charges d'isolant, d'ossatures et la charge ponctuelle définie au § 6.2.2.2.1 de la norme NF DTU 25.41. Les équipements techniques non intégrés et leurs éventuels effets sur les plafonds suspendus ne sont pas visés dans ce document.

Les plafonds supportant des charges suspendues doivent être traités au cas par cas, en fonction de la position, de l'importance des charges et des systèmes de fixation utilisés.

4. Séisme de probabilité d'occurrence plus forte que le séisme de référence.
5. En effet, les surcharges augmentent le poids total du plafond, et donc l'effort sismique applicable. Par ailleurs, la présence de revêtement lourd de type fragile peut conférer au système de plafond ainsi revêtu un comportement différent d'un système de plafond sans ce revêtement. La compatibilité des revêtements éventuels avec les déformées des plafonds n'est pas visée dans le présent guide. Il appartient au maître d'œuvre de l'opération de s'assurer de cette compatibilité.

1.4 Plafonds nécessitant une prise en compte du séisme

Conformément au guide ENS, les plafonds nécessitant une analyse de comportement sismique sont définis par deux critères :

- une dimension de référence h_{lim} représentant la hauteur de chute de tout ou partie du plafond ;
- la masse surfacique du plafond m_{lim} .

Pour une dimension de référence inférieure à h_{lim} et une masse inférieure à m_{lim} , le risque est considéré comme négligeable et il n'est pas exigé de prendre en compte l'action sismique dans la conception et le dimensionnement du plafond. Dans le cas contraire, si la dimension de référence est supérieure à h_{lim} ou si la masse surfacique de l'élément est supérieure à m_{lim} , les plafonds doivent faire l'objet d'une prise en compte du risque sismique.

Les valeurs de h_{lim} et m_{lim} sont données ci-dessous pour les cloisons et doublages :

- 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⁽⁶⁾ : tous les éléments de cette famille doivent faire l'objet d'une analyse sismique ($h_{lim} = 0$; $m_{lim} = 0$).

Des exemples de calcul de m_{lim} sont donnés en *Annexe 1*.

Nota : un élément non structural du cadre bâti concerné par les critères de vérification ci-dessus peut ne pas faire l'objet d'une analyse parasismique au sens de la norme NF EN 1998-1 :

- si cet élément se situe à l'aplomb d'une aire de chute à occupation nulle ou quasi nulle (zone non accessible, zone uniquement accessible pour l'entretien, locaux techniques) ;
- ou si cet élément se situe à l'aplomb d'une aire protégée par un réceptacle ou par un auvent de protection.

1.5 Bilan sur l'analyse d'un plafond sous sollicitations sismiques

Par conséquent, la démarche suivante doit être adoptée pour justifier du comportement d'un plafond non traditionnel dans le cadre d'une demande d'Avis Technique ou de Document Technique d'Application :

- lorsque aucune exigence réglementaire n'est requise pour la structure de l'ouvrage, le plafond n'a pas à être vérifié sous sollicitation sismique ;
- lorsqu'une vérification parasismique est requise pour la structure de l'ouvrage, deux cas se présentent pour le plafond :
 - soit le plafond présente une hauteur de chute inférieure à h_{lim} et une masse surfacique totale inférieure à m_{lim} et dans ce cas celui-ci n'est pas soumis à une vérification parasismique,
 - soit le plafond présente une hauteur de chute supérieure à h_{lim} ou une masse surfacique totale supérieure à m_{lim} et dans ce cas celui-ci doit être vérifié suivant les trois vérifications énoncées au *paragraphe 1.3* du présent guide technique.

6. Le Groupe Spécialisé n° 9 de la commission chargée de formuler les Avis Techniques peut, sur la base d'une argumentation technique, demander à ce qu'un système particulier non traditionnel soit évalué par cette voie.

L'Avis Technique ou le Document Technique d'Application sur le procédé de plafond doit mentionner explicitement, au domaine d'emploi ainsi qu'au cahier des prescriptions techniques (CPT), les limitations induites par chacune des deux analyses menées ci-dessous.

2. Détermination des effets d'actions (E_d)

2.1 Justification n° 1 : action perpendiculaire au plan du plafond (effort vertical)

Pour certains éléments, il est nécessaire de tenir compte de la direction verticale de l'action sismique en complément de l'action sismique horizontale.

Pour mémoire, cette composante de l'action sismique n'est à considérer que pour les accélérations avg supérieures à $2,5 \text{ m/s}^2$ ⁽⁷⁾.

D'une manière générale, l'action sismique à prendre en compte pour les plafonds est une force sismique F_{av} appliquée verticalement (force ascendante ou descendante), prise orthogonalement à l'élément de plafond, et exprimée par la formule suivante⁽⁸⁾ :

$$F_{av} = \frac{S_{av} \times W_a \times \gamma_a}{q_a}$$

avec :

- Y_a : coefficient de sécurité donné en *Annexe 1* ;
- q_a : coefficient de comportement donné en *Annexe 1* ;
- W_a : poids de la cloison considérée (en daN/m²) intégrant toutes les surcharges ;
- S_{av} : coefficient sismique applicable aux éléments non structuraux défini dans la note (3) de l'article cité en note 8 et défini par la formule suivante :

$$S_a = \frac{a_{vg}}{g} \times C_{av}$$

avec C_{av} coefficient d'amplification du spectre de plancher, dépendant en particulier de l'amortissement du sous-système composé par le plafond et ses fixations. Dans le cas des plafonds suspendus, la valeur $C_{av} = 2$ peut généralement être adoptée⁽⁹⁾. Il convient de s'assurer que le montage prévu dans le projet est compatible avec l'exigence requise indiquée à la note 9.

7. En application de la clause de l'article 4. II. C de l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié (valeurs de a_{vg}/a_g) et en considérant les cas où a_{vg} est supérieure à $2,5 \text{ m/s}^2$, la composante sismique verticale n'est à prendre en compte qu'en zone de sismicité 5 pour les bâtiments de catégorie d'importance III et IV.

8. Basé sur l'expression de l'action sismique horizontale donnée dans l'article 4.3.5.2 (2) de la norme NF EN 1998-1.

9. Cette hypothèse forte suppose qu'il n'y a pas risque de mise en résonance du système constitué du plancher, du plafond et de ses fixations (assimilable à un système masse-ressort-masse). Pour cela, il convient de vérifier que la fréquence propre du système, définie par

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

est supérieure à 10 Hz, k étant la raideur du système de fixation (ancrages compris) et m la masse surfacique du plafond.

Ainsi, pour un plafond de poids W_a , de longueur L , de largeur l et située dans une situation de projet sismique donnée⁽¹⁰⁾, est soumis à un effort sollicitant $E_{d,1}$:

$$E_{d,1} = L \times l \times F_a = L \times l \times \frac{W_a \times \gamma_a}{q_a} \times \left(\frac{2a_{vg}}{g} \right)$$

Cet effort est considéré comme étant dirigé orthogonalement au plan du plafond, réparti linéairement sur la surface de celui-ci. Une représentation graphique de cet effort est donnée en *Annexe 3*.

L'accélération a_{vg} est donnée à l'article 4.II.c) de l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié, suivant la zone de sismicité :

Zones de sismicité	a_{vg}/a_g
1 à 4	0,8
5	0,9

L'accélération horizontale de calcul au niveau d'un sol de type rocheux (classe A au sens de la norme NF EN 1998-1 septembre 2005), a_g , est égale à a_{gr} multipliée par le coefficient d'importance Y_1 défini à l'article 2 de l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié, soit $a_g = Y_1 \times a_{gr}$.

Les valeurs des accélérations a_{gr} sont données à l'article 4.II.a) de l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié suivant la zone de sismicité :

Zones de sismicité	a_{gr}
1	0,4
2	0,7
3	1,1
4	1,6
5	3

2.1.1 Dimensionnement des éléments de fixation du plafond

Conformément au paragraphe 2.6.1 du guide ENS, l'effort sismique agissant sur un plafond doit être réparti sur l'ensemble de ses fixations à la structure pour autant que cela corresponde à une réalité physique, au sens où les résistances des fixations doivent pouvoir être mobilisables dans la direction envisagée.

Un coefficient majorateur de 1,5 doit être ajouté à la sollicitation précédemment calculée pour la vérification des éléments de fixation à la structure afin de dimensionner l'ensemble « en capacité » (résistance plus importante des éléments de fixation afin d'éviter l'effondrement de la cloison en cas de dépassement accidentel de la sollicitation de calcul).

Par conséquent, les fixations d'un plafond de poids W_a , de longueur L , de largeur l , située dans une situation de projet sismique donnée, et soumise à un effort sollicitant $E_{d,1}$ sont soumises à un effort sollicitant $E_{d,2}$:

$$E_{d,1,fixation} = 1,5 \times \frac{E_{d,1}}{N} = 1,5 \times \frac{L \times l \times F_a}{N}$$

N étant le nombre de fixations du plafond au plancher.

2.1.2 Dimensionnement en capacité des ancrages et de la structure portante

Conformément au paragraphe 2.6.2 du guide ENS, l'exigence de dimensionnement en capacité des éléments d'ancrage du plafond peut être considérée comme satisfaite en utilisant comme effort de dimensionnement la valeur de l'effort E_a calculée à l'ancrage, dans laquelle la part due au séisme A_{Ed} a été multipliée par $1,2q_a$.

Par conséquent, l'élément de structure dans lequel est ancré un plafond soumis à un effort sollicitant $E_{d,1}$ doit être dimensionné pour pouvoir reprendre un effort $E_{d,1,ancrage}$:

$$E_{d,1,ancrage} = \max(E_{d,1,fixations}; 1,2 \times q_a \times \frac{E_{d,1}}{n})$$

2.2 Justification n° 2 : action dans le plan du plafond (effort horizontal)

Cette justification se base sur l'action sismique définie dans l'article 4.3.5.2 (2) de la norme NF EN 1998-1, et repris au paragraphe 2.2 du guide ENS. Cette action sismique est prise horizontalement, dans le plan du plafond, conformément à sa définition et exprimée de manière surfacique.

Cette action est égale à :

$$F_a = \frac{S_a \times W_a \times \gamma_a}{q_a}$$

avec :

- Y_a : coefficient de sécurité donné en *Annexe 1* ;
- q_a : coefficient de comportement donné en *Annexe 1* ;
- W_a : poids du plafond considéré (en daN/m²) intégrant toutes les surcharges ;
- S_a : coefficient sismique applicable aux éléments non structuraux défini dans la note (3) de l'article précédemment cité et dont l'expression peut être simplifiée par la formule suivante :

$$S_a = 5,5 \times \alpha \times S$$

- α : rapport entre l'accélération de calcul au niveau d'un sol de classe A, a_g , et l'accélération de la pesanteur g , et défini par l'expression suivante :

$$\alpha = \frac{\gamma_1 \cdot a_{gR}}{g}$$

a_g est l'accélération de calcul. Elle peut correspondre à des valeurs spécifiques définies dans la réglementation.

Ainsi, pour un plafond de poids W_a , de longueur L , de largeur l située dans une situation de projet sismique donnée⁽¹¹⁾, est soumise à un effort sollicitant $E_{d,2}$:

$$E_{d,2} = L \times l \times F_a = L \times l \times \frac{S_a \times W_a \times \gamma_a}{q_a}$$

10. Une situation de projet sismique permet d'obtenir les coefficients Y_a , S_a et q_a nécessaires aux calculs.

11. Une situation de projet sismique permet d'obtenir les coefficients Y_a , S_a et q_a nécessaires aux calculs.

Cet effort est considéré comme étant dirigé horizontalement, dans le plan du plafond, réparti uniformément sur la surface du plafond. Une représentation graphique de cet effort est donnée en *Annexe 5*.

2.2.1 Dimensionnement des éléments de fixation du plafond

Conformément au paragraphe 2.6.1 du guide ENS, l'effort sismique agissant sur un plafond doit être réparti sur l'ensemble de ses fixations à la structure pour autant que cela corresponde à une réalité physique, au sens où les résistances des fixations doivent pouvoir être mobilisables dans la direction envisagée.

Un coefficient majorateur de 1,5 doit être ajouté à la sollicitation précédemment calculée pour la vérification des éléments de fixation à la structure afin de dimensionner l'ensemble « en capacité » (résistance plus importante des éléments de fixation afin d'éviter l'effondrement du plafond en cas de dépassement accidentel de la sollicitation de calcul).

Par conséquent, les fixations d'un plafond de poids W_a , de longueur L , de largeur I , située dans une situation de projet sismique donnée, et soumise à un effort sollicitant $E_{d,1}$ sont soumises à un effort sollicitant $E_{d,2}$:

$$E_{d,2,fixation} = 1,5 \times \frac{E_{d,1}}{N} = 1,5 \times \frac{L \times I \times F_a}{N}$$

N étant le nombre de fixations du plafond au plancher.

2.3 Justification n° 3 : tenue du plafond sous déformation de la structure

L'exigence de compatibilité d'un plafond avec les déformations de la structure de l'ouvrage auquel celui-ci est incorporé est donnée dans la norme NF EN 1998-1 et rappelée dans le guide ENS. Les déformations horizontales de la structure à envisager sont les déplacements interétages.

Il est nécessaire de démontrer que le plafond est capable de supporter les déplacements interétages pouvant survenir lors du séisme de référence sans effondrement partiel ou global, et lors du séisme fréquent sans dommage nécessitant des coûts de réparation disproportionnés.

Chaque situation de projet sismique présente des déplacements interétages différents pour les structures porteuses du bâtiment auquel sont incorporés les plafonds. Il appartient au bureau d'études de structure de l'opération d'indiquer les déplacements interétages induits sous séisme fréquent et sous séisme de référence par la situation de projet sismique, et de vérifier que celles-ci sont inférieures aux déformations horizontales admissibles du plafond.

Dans le cas d'une demande d'Avis Technique ou de Document Technique d'Application, étant entendu que les contraintes en déformations horizontales (déplacements interétages) de la structure diffèrent suivant la situation de projet et que leur calcul ne relève pas du lot « plafond », il appartient au tenant de système du procédé de plafond faisant l'objet d'une demande d'Avis Technique ou de Document Technique d'Application d'indiquer les performances en déformations horizontales admissibles dans le Dossier Technique de demande, sans autre vérification complémentaire.

Conformément au paragraphe 2.4.2 du guide ENS, un procédé de plafond capable de supporter les valeurs de déformations au niveau du plénum correspondant aux valeurs de déplacements interétages indiquées au Tableau 2.6 du guide ENS peuvent s'affranchir de justifications spécifiques du déplacement interétages quel que soit le bâtiment considéré.

2.4 Justification n° 3 bis : tenue du plafond sous déformation de la structure dans le plan du plafond

Les effets de torsion dus au séisme peuvent entraîner une mise en parallélogramme des planchers et créer ainsi des contraintes particulières liées aux déformations des plafonds dans leur plan, pouvant causer une chute partielle ou totale de ces derniers.

Les plafonds suspendus mis en œuvre dans des ouvrages dont la structure respecte les prescriptions de la norme NF EN 1998 ne sont pas à vérifier vis-à-vis de cette justification.

3. Détermination des capacités résistantes (R_d)

Les capacités résistantes (R_d) des produits, procédés et assemblages, peuvent être déterminées par calcul suivant les référentiels et guides techniques existants, ou par essai(s). Dans ce cas, on utilise les bases de calculs données à l'Annexe D « Dimensionnement assisté par l'expérimentation » de la norme NF EN 1990, modifiées pour tenir compte des spécificités des procédés de plafonds suspendus. La capacité résistante (R_d) ainsi déterminée permet donc d'afficher un niveau de sécurité satisfaisant vis-à-vis des sollicitations envisagées.

Il convient de déterminer la valeur de calcul d'une propriété X par la formule suivante :

$$X_d = \frac{\eta_d}{\gamma_m} \times X_k$$

Où :

- η_d est un coefficient de réduction ;
- γ_m est un coefficient de sécurité sur les matériaux ;
- X_k est la valeur caractéristique de la propriété X .

L'Annexe 9 comporte des méthodes de calculs de X_k et des valeurs des coefficients η_d et γ_m suivant le type d'essai(s) réalisé(s).

3.1 Justification n° 1 : action perpendiculaire au plan du plafond (effort vertical)

La justification n° 1 considère un effort statique équivalent F_{av} vertical à prendre en compte pour le plafond. Il convient de justifier que le plafond et ses fixations sont capables de reprendre cet effort dans toutes les configurations visées dans le Dossier Technique de demande d'Avis Technique ou de Document Technique d'Application.

Plusieurs méthodes de justifications sont possibles.

Méthode A : essai de chargement vertical alterné sur plafond

Réalisation d'un essai de chargement vertical alterné sur plafond piloté en accélération (amplitude et fréquence). Cet essai permet de déterminer, pour une configuration de plafond testée, une accélération maximale admissible. L'Annexe 6 présente un protocole d'essai pour cette méthode de justification.

La capacité résistante de calcul est donnée par :

$$R_{d,1} = \frac{\eta_d}{\gamma_m} \times R_k$$

Pour un plafond de longueur L et de la largeur l testé avec un poids propre W_a , la capacité résistante est donnée par :

$$R_{d,1} = \frac{\eta_d}{\gamma_m} \times L \times l \times W_a \times a_{essai}$$

Où a_{essai} est l'accélération maximale admissible observée lors de l'essai aux premières chutes d'éléments du parement.

La justification n° 1 est vérifiée lorsque :

$$R_{d,1} \geq E_{d,1}$$

Soit

$$\frac{\gamma_m}{\eta_d} \times a_{essai} \geq \left(\frac{\gamma_a}{q_a} \right) \times \left(\frac{2 \times a_{vg}}{g} \right) \quad (12)$$

Extrapolation sur le chargement du plafond :

Les résultats issus de la méthode A ne sont valables que pour le plafond testé, notamment en ce qui concerne la masse totale de celui-ci (y compris les surcharges d'isolant). Or il peut être nécessaire d'extrapoler ces résultats d'essais pour des données de chargements supérieurs à ceux testés, pour couvrir des utilisations spécifiques. Dans ce cas, il est admis que les résultats menés par la méthode A sont valables pour des plafonds dont la masse totale (toutes surcharges comprises) est supérieure jusqu'à 10 % de la masse testée.

Méthode B : essai de chargement vertical sur éléments de plafond

Réalisation d'un essai de chargement statique ou dynamique vertical sur le système de fixation, en prenant en compte les ancrages.

$$R_{d,1,fixation} = \frac{\eta_d}{\gamma_m} \times R_{k,fixation}$$

Il convient ensuite de vérifier :

$$R_{d,1,fixation} \geq E_{d,1,fixation}$$

Avec $E_{d,1,fixation}$ donné au paragraphe 2.1.

Nota : il convient de procéder à une vérification complémentaire sur le parement mis en flexion par l'effort $E_{d,1}$ ramené par unité de surface de parement. Des données en raideur de flexion des parements peuvent apporter des informations suffisantes pour cette justification complémentaire de sécurité.

3.2 Justification n° 2 : action dans le plan du plafond (effort horizontal)

La justification n° 1 considère un effort statique équivalent F_a horizontal à prendre en compte pour le plafond. Il convient de justifier que le plafond et ses fixations sont capables de reprendre cet effort dans toutes les configurations visées dans le Dossier Technique de demande d'Avis Technique ou de Document Technique d'Application.

Plusieurs cas se présentent.

Cas A : pas de déplacement possible

C'est le cas d'un plafond en butée, sur toute sa périphérie, contre des éléments verticaux stables (murs ou cloisons maintenues en tête et en pieds). Il n'y a alors pas de déplacement possible du plafond, et donc pas de risque de désordres suivant la justification n° 2. Dans ce cas la justification n° 2 n'est pas à effectuer, et le Dossier Technique doit comporter les éléments suivants :

- dispositions constructives mises en œuvre sur la périphérie du plafond ;
- les limitations correspondantes sur le domaine d'emploi.

Il convient toutefois de s'assurer que les efforts en compression à la butée ne risquent pas d'entraîner des chutes d'éléments.

Cas B : des déplacements sont possibles

C'est le cas des plafonds qui présentent des retombées, des jouées ou des décrochés, et dont la mise en œuvre permet un déplacement horizontal. L'essai utilisé pour effectuer cette vérification est le même que celui utilisé pour la justification n° 3 (cf. paragraphe 3.3) : vérification du plafond par une caractérisation en effort/déplacement du système de fixation.

Nota : la détermination de la valeur de calcul sur la base d'essai(s) doit être réalisée suivant la méthodologie décrite à l'Annexe 9.

3.3 Justification n° 3 : tenue du plafond sous déformation de la structure

Le Dossier Technique de demande d'Avis Technique ou de Document Technique d'Application doit faire figurer, pour répondre à l'exigence de compatibilité avec les déformations de la structure reprise par la justification n° 3, les déformations admissibles sous séisme fréquent $d_{m,f}$ (ne présentant pas de dommage nécessitant des coûts de réparation disproportionnés) et sous séisme de référence $d_{m,r}$ (effondrement total ou partiel du plafond)⁽¹³⁾.

La détermination des déformations horizontales admissibles du plafond doit se faire par un essai de caractérisation horizontale du système de fixation dont le protocole d'essai est donné en Annexe. Si cette caractérisation est réalisée sous chargement statique, des coefficients de sécurité doivent être appliqués pour prendre en compte les phénomènes difficilement prévisibles mis en jeu en dynamique⁽¹⁴⁾.

La valeur de déformation admissible $d_{m,r}$ est prise comme la valeur maximale obtenue sans chute d'éléments.

12. Ainsi sur la base d'une accélération obtenue lors d'un essai, il est possible, en utilisant cette inéquation, de déterminer un domaine d'emploi admissible en situation de projet sismique.

13. L'Annexe 7 indique les déformations horizontales admissibles à mesurer lors de l'essai de mise en parallélogramme.

14. Utiliser les coefficients de réduction donnés en Annexe.

Utilisation de cet essai pour la justification n° 2 :

L'essai utilisé pour effectuer cette vérification est le même que celui utilisé pour la justification n° 2 (cf. *paragraphe 3.2*) : vérification du plafond par une caractérisation en effort/déplacement du système de fixation.

Nota : la détermination de la valeur de calcul sur la base d'essai(s) doit être réalisée suivant la méthodologie décrite à l'Annexe 8.

Annexe 1

Variables utilisées dans ce référentiel

Variable	Référence	Définition																		
W_a	-	Poids du plafond considéré (daN/m²) Ce poids doit intégrer le poids propre des éléments constitutifs de ce plafond ainsi que l'ensemble des charges qui s'y reportent (isolant, luminaires, etc.)																		
γ_a	Article 4.3.5.3 de l'Eurocode 8	1,5 si le plafond peut être considéré comme « <i>élément d'ancrage de machines ou d'équipements nécessaires au fonctionnement des réseaux vitaux</i> », 1,0 sinon																		
γ_l	Article 4.2.5 de l'Eurocode 8 L'arrêté du 22 octobre 2010 reprend les valeurs conseillées dans cet article	Valeur en fonction de la classe d'importance du bâtiment : <table><tr><th>Classe d'importance du bâtiment</th><th>I</th><th>II</th><th>III</th><th>IV</th></tr><tr><th>Valeur de γ_l</th><td>0,8</td><td>1,0</td><td>1,2</td><td>1,4</td></tr></table>	Classe d'importance du bâtiment	I	II	III	IV	Valeur de γ_l	0,8	1,0	1,2	1,4								
Classe d'importance du bâtiment	I	II	III	IV																
Valeur de γ_l	0,8	1,0	1,2	1,4																
q_a	Coefficient de comportement de la cloison Tableau 4.4 de l'Eurocode 8	En conformité avec l'article 2.2.1 du guide ENS, on choisit les valeurs de q_a suivantes : 1,0 dans les cas fragiles 2,0 dans les cas ductiles Lorsqu'il a été démontré (soit par essai, soit par calcul), que la défaillance locale d'une fixation ou d'un élément support de plafond n'entraînerait pas la ruine totale ou partielle de l'élément suspendu, on peut admettre la redondance du système et retenir un coefficient de 1,5 Le Groupe Spécialisé n° 9, qui formule les Avis Techniques et Documents Techniques d'Application sur les procédés de plafonds, peut exiger l'utilisation d'un coefficient de comportement spécifique (1,0 ou 1,5 ou 2,0) suivant le type de procédé examiné																		
T_a	-	Période fondamentale de vibration du plafond dans son plan																		
T_1	Article 4.3.3.2.2 de l'Eurocode 8	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																		
h	-	Hauteur totale du bâtiment																		
d_r	Articles 4.4.2.2 et 4.4.3.1 de l'Eurocode 8	Déplacement de calcul entre étages défini en 4.4.2.2(2)																		
ν	Article 4.4.3.1 de l'Eurocode 8 Article 4 de l'arrêté du 22 octobre 2010	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 Sa valeur est définie par l'arrêté à 0,4																		
h	Article 4.4.3.1 de l'Eurocode 8	Hauteur d'un étage																		
d_f		Distance parement/fixation Hauteur maximale du plenum du plafond																		
d_m		Déplacement de calcul entre la plaque du plafond et le plan horizontal de son support																		
S	Article 3 de l'Eurocode 8 L'arrêté du 22 octobre 2010 définit les valeurs à prendre en compte	Paramètres de sol <table><tr><th>Classe de sol</th><th>A</th><th>B</th><th>C</th><th>D</th><th>D</th></tr><tr><th>S (pour les zones de sismicité 1 à 4)</th><td>1</td><td>1,35</td><td>1,5</td><td>1,6</td><td>1,8</td></tr><tr><th>S (pour la zone de sismicité 5)</th><td>1</td><td>1,2</td><td>1,15</td><td>1,35</td><td>1,4</td></tr></table>	Classe de sol	A	B	C	D	D	S (pour les zones de sismicité 1 à 4)	1	1,35	1,5	1,6	1,8	S (pour la zone de sismicité 5)	1	1,2	1,15	1,35	1,4
Classe de sol	A	B	C	D	D															
S (pour les zones de sismicité 1 à 4)	1	1,35	1,5	1,6	1,8															
S (pour la zone de sismicité 5)	1	1,2	1,15	1,35	1,4															

Annexe 2

Exemples de calculs de m_{lim}

Cas d'un plafond constitué de plaques vissées sur ossatures avec isolant :

Exemple 1 :

Plaque BA13 : 9 kg/m²

Ossatures métalliques conformes au DTU 25.41, par exemple M70/40 à entraxe 60 cm : 1 kg/m²

Masse surfacique de l'isolant, par exemple 20 cm de laine de verre à 15 kg/m³ : 3 kg/m²

Surcharge complémentaire conforme au DTU 25.41 : 1,4 kg/m²

Total : $m_{lim} = 9 + 1 + 3 + 1,4 = 14,4 \text{ kg/m}^2$

Exemple 2 :

Plaque BA13 doublée : 18 kg/m²

Ossatures métalliques conformes au DTU 25.41, par exemple M90/40 doublé à entraxe 60 cm : 3 kg/m²

Masse surfacique de l'isolant, exemple isolant visé dans le tableau 2 du DTU 25.41 P1-1 : 6 kg/m²

Surcharge complémentaire conforme au DTU 25.41 : 1,4 kg/m²

Total : $m_{lim} = 18 + 3 + 6 + 1,4 = 28,4 \text{ kg/m}^2$

Cas d'un plafond en terre cuite :

Masse surfacique des briquettes, par exemple 50 cm × 25 cm × 3 cm à montage M-F : 30 kg/m²

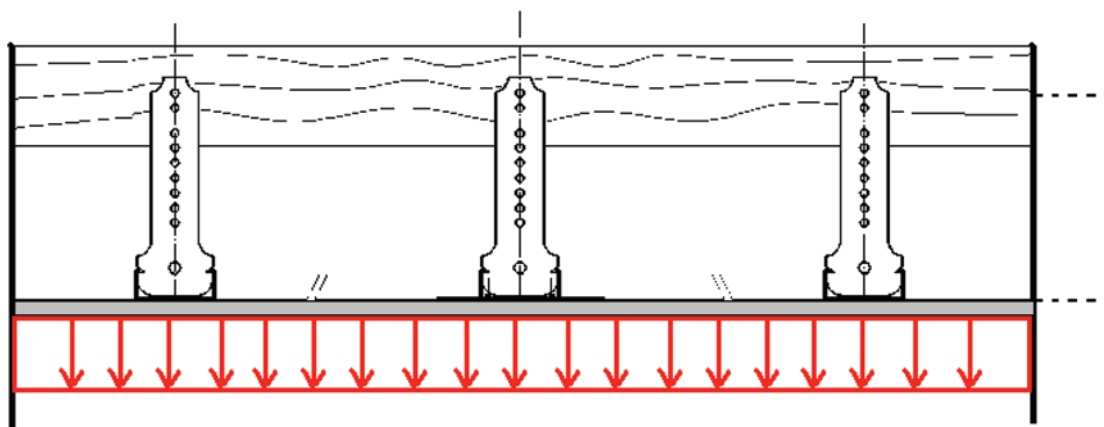
Masse surfacique de l'enduit en plâtre utilisé : 15 kg/m²

Masse surfacique de l'isolant, exemple isolant visé dans le tableau 2 du DTU 25.41 P1-1 : 6 kg/m²

Total : $m_{lim} = 30 + 15 + 6 = 51 \text{ kg/m}^2$

Annexe 3

Représentation de l'effort vertical de la justification n° 1



Force sismique surfacique verticale F_{av}

Annexe 4

Vérification de la justification n° 1

On considère les cas où le dimensionnement du plafond à l'État Limite Ultime fondamentale permet de couvrir avec une sécurité satisfaisante le dimensionnement en situation sismique. Pour cela, on utilise les combinaisons linéaires de la norme NF EN 1990 (Eurocode 0).

En situation fondamentale, la charge de calcul des éléments constitutifs du plafond suspendu est :

$$F_{statique} = 1,35 \times G_{total} + 1,5 \times Q$$

Dans la majorité des cas, il n'y a pas à prendre en compte, dans le dimensionnement des plafonds, de charge d'exploitation ($Q = 0$). De plus, pour un plafond en plaques vissées sur ossatures (cf. DTU 25.41) ou en terre cuite (cf. DTU 25.231), une charge de vent de 10 daN/m² est intégrée dans le dimensionnement au calcul du poids propre du plafond, d'où :

$$F_{statique} = 1,35 \times (G + Q_{vent})$$

En situation sismique, en considérant une accélération sismique verticale descendante, la charge de calcul est :

$$F_{total,sismique} = G + 2 \times \frac{a_{vg}}{g} \times G$$

Le terme $2(a_{vg}/g)G$ étant la force d'inertie verticale qui viendrait s'ajouter à la charge G ; ce terme devient sous-tractif en cas d'accélération verticale ascendante.

La justification n° 1 n'est pas nécessaire lorsque⁽¹⁵⁾ :

$$F_{statique} \geq F_{total,sismique}$$

Ce qui revient à écrire :

$$2 \times \left(\frac{a_{vg}}{g} \right) \leq 0,35 + 1,35 \times \left(\frac{Q_{vent}}{G} \right)$$

Le tableau ci-dessous donne la valeur de la grandeur $2(a_{vg}/g)$ en fonction de la catégorie d'ouvrage et de la zone sismique⁽¹⁶⁾ :

		Zone sismique				
		1	2	3	4	5
Catégorie d'ouvrage	I					
	II			0,18	0,26	0,55
	III		0,14	0,22	0,31	0,66
	IV		0,16	0,25	0,37	0,77

Le tableau ci-dessous donne les valeurs de la grandeur « $0,35 + 1,35(Q_{vent}/G)$ » pour différentes valeurs de G :

G (daN/m ²)	15	30	45	60	$Q_v = 0$
$0,35 + 1,35(Q_{vent}/G)$	1,25	0,8	0,65	0,575	0,35

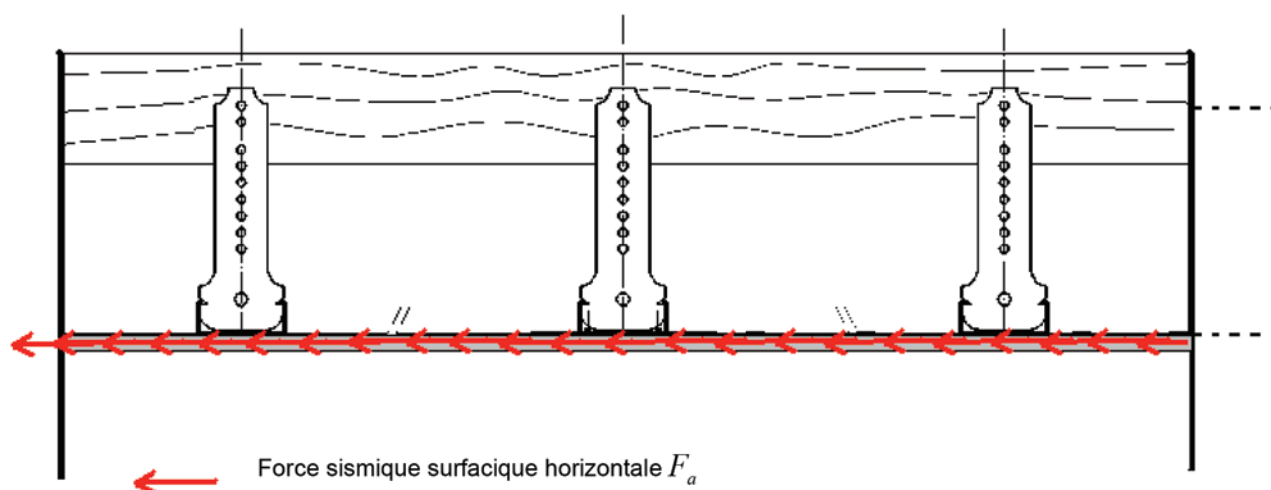
Par suite, suivant la situation de projet, le poids du plafond, et si une charge de vent de 10 daN/m² a été prise en compte dans le dimensionnement du plafond à froid, la justification n° 1 est à effectuer en zone 4 catégorie IV ou zone 5.

15. Cela n'est valable que lorsqu'il a été démontré que la valeur de résistance de calcul $R_d = R_k/Y_m$ est proche en situation statique et sismique.

16. Les valeurs des paramètres utiles au calcul de a_{vg} sont données dans l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié.

Annexe 5

Représentation de l'effort horizontal de la justification n° 2



Annexe 6

Protocole d'essai pour la justification n° 1

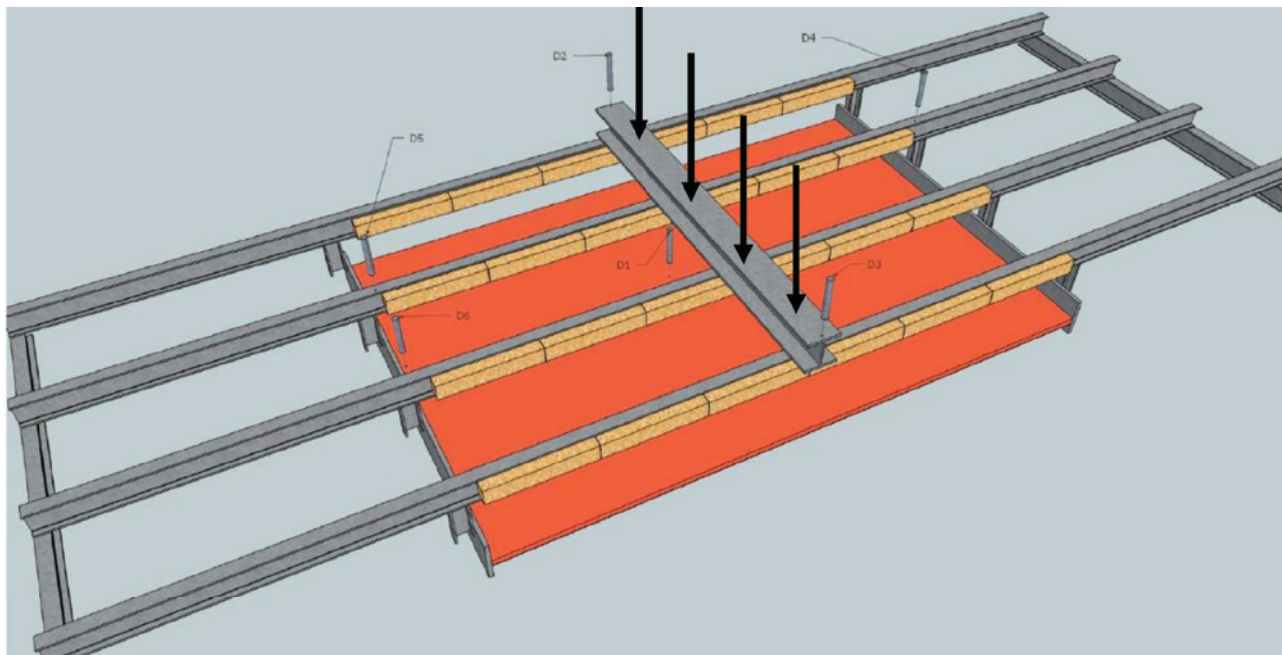


Figure 1 – Protocole de chargement vertical alterné de plafond

	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4	Phase 5	Phase 6	Phase 7	Phase 8
Accélération (m/s ²)	3,5	5	6,4	8	9,3	11,2	14	16,5
80% accélération	2,8	4	5,12	6,4	7,44	8,96	11,2	13,2
f en Hz	Déplacement imposé au vérin (mm)							
1								
2	35,5							
3		22,5	28,8	36,0	41,9			
4						28,4	35,5	41,8
5	5,7	8,1	10,4					
6				9,0				
7					7,7	9,3		
8	2,2						8,9	
9		2,5						8,3
10			2,6					
11				2,7				
12					2,6			
13						2,7		
14							2,9	
15								3,0

Figure 2 – Sollicitations imposées au plancher support

Annexe 7

Compatibilité avec les déformations de la structure

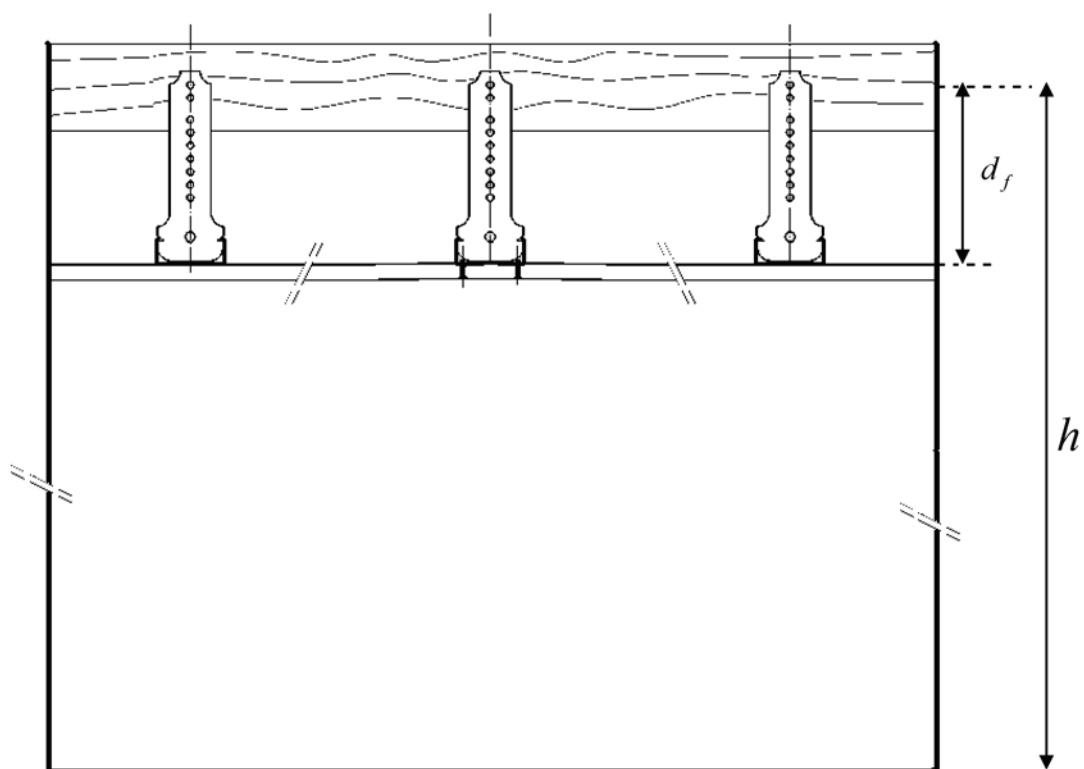


Figure 3 – Représentation du plafond et du plénum

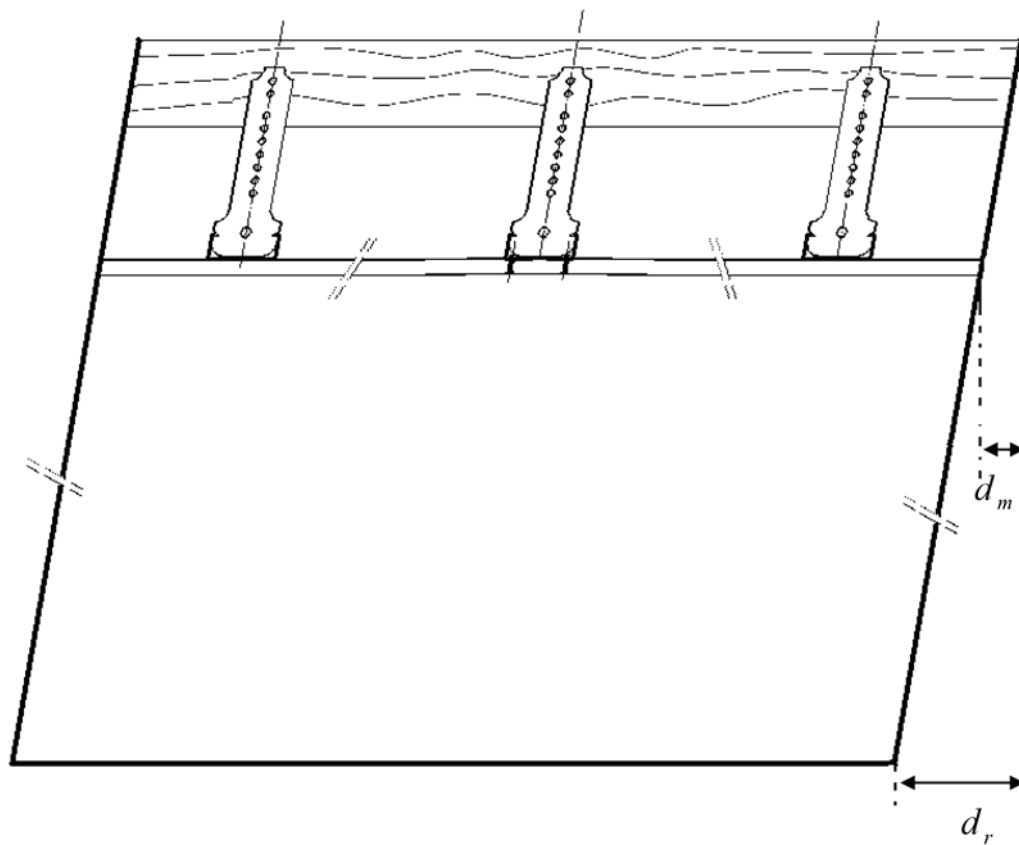


Figure 4 – Déformations sous déplacement interétages

Annexe 8

Méthodes pour déterminer les capacités résistantes de calcul R_d

Il convient de déterminer la valeur de calcul d'une propriété X par :

$$X_d = \frac{\eta_d}{\gamma_m} \times X_k$$

Où X_d est la grandeur de calcul
 X_k est la grandeur caractéristique
 η_d est la valeur de calcul du coefficient de conversion lié à l'essai
 γ_m est le coefficient de sécurité sur les matériaux

Dans le cas d'une campagne d'essai(s) en vue de l'étude des performances d'un produit, procédé ou assemblage en situation de projet sismique, deux cas se présentent :

1) 1 essai dynamique a été réalisé

Dans ce cas, la capacité résistante de calcul s'écrit :

$$X_d = \frac{\eta_d}{\gamma_m} \times 0,6 \times X_{essai}$$

Où X_{essai} est la valeur obtenue lors de l'essai ;
 η_d est pris égal à 1,0 ;
 γ_m est pris, suivant le type de procédé, dans le tableau ci-dessous :

	Plaques de plâtre vissées sur ossature métallique	Cloisons en maçonnerie de petits éléments suivant NF DTU 20.13	Autre type de cloison
γ_m	1,15	1,5	À déterminer au cas par cas lors de l'instruction suivant matériaux, à valider par le GS9

2) Au moins 3 essais statiques

Dans ce cas, la capacité résistante de calcul s'écrit :

$$X_d = \frac{\eta_d}{\gamma_m} \times m \times (1 - k_n \times V)$$

Où m est la valeur moyenne, sur n échantillons, issue des essais
 η_d est pris égal à 1,0
 γ_m est pris égal à 1,0
 k_n est un coefficient utilisé pour aboutir à une valeur caractéristique de 5 % donné dans le tableau ci-dessous :

n	3	4	5	6	8	10	20	30	∞
k_n	3,37	2,63	2,33	2,18	2,00	1,92	1,76	1,73	1,64

V est la variance de la série de n échantillons issue des essais, donnée par la formule :

$$V = \frac{1}{m} \times \sqrt{\frac{1}{n-1} \times \sum_{i=1}^n (x_i - m)^2}$$

SIÈGE SOCIAL

84, AVENUE JEAN JAURÈS | CHAMPS-SUR-MARNE | 77447 MARNE-LA-VALLÉE CEDEX 2
TÉL. (33) 01 64 68 82 82 | FAX (33) 01 60 05 70 37 | www.cstb.fr



CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BÂTIMENT | MARNE-LA-VALLÉE | PARIS | GRENOBLE | NANTES | SOPHIA ANTIPOLIS