

DISPOSITIONS SISMIQUES POUR LA PIERRE ATTACHÉE

Laurent PLAGNOL - APAVE
Membre du GT de rédaction

15 Avril 2015

PLAN DE LA PRESENTATION

- Familles de bâtiments et de types d'ouvrage
- Organisation des textes techniques et réglementaires
- Objectifs suivis par le GT SISMIQUE – P65 A
- Orientations retenues par le GT SISMIQUE – P65 A
- Limitations du domaine d'emploi
- Hypothèses du dimensionnement
- Déroulement du dimensionnement
- Points clés des règles
- Conclusions

FAMILLES DE BÂTIMENTS ET DE TYPES D'OUVRAGE

- Bâtiments à risque spécial (centrales nucléaires, casernes, hôpitaux,...)
- **Bâtiments à risque normal** (bureaux, immeubles, maisons,...)
- Ouvrages participants à la solidité des bâtiments (structures bois, acier ou béton),
- **Ouvrages participants au clos et au couvert** ce sont les éléments non structuraux (**ENS**) à l'extérieur (éléments de façade, de couverture,) ou à l'intérieur (cloisons, plafonds,....) ;
- Les équipements (chauffage, éclairage,...)

ORGANISATION DES TEXTES TECHNIQUES ET RÉGLEMENTAIRES

EUROCODE 8 (09-2005) + AN (12-2013) – Calcul des structures pour la résistance aux séismes – partie 1 :règles générales, actions sismiques et règles pour les bâtiments

EUROCODE 8 (09-2005) – § 4.3.5 Eléments Non Structuraux

4.3.5.2 Vérifications : définition de la force sismique horizontale F_a

4.3.5.3 Coefficient d'importance $\gamma_a = 1$ pour les cas courants

4.3.5.4 Coefficient de comportement $q_a = 2$ pour les cas courants



L'Eurocode 8 est insuffisant pour justifier les ENS aux actions sismiques

ORGANISATION DES TEXTES TECHNIQUES ET RÉGLEMENTAIRES

- **Arrêté du 22 octobre 2010** relatif aux bâtiments de la classe dite à risque normal (règles calcul EC 8, classifications des ouvrages, spectre d'accélération)
- **Arrêté du 15 septembre 2014** : règles calcul EC 8 pour justifier les ENS,
- **Guide MEDDE 2014** (Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie) : « dimensionnement parasismique des ENS du cadre bâti »
- **Arrêté du 15 septembre 2014** pour les ENS:
« tenir compte du caractère spécifique de leurs matériaux et des procédés constitutifs »



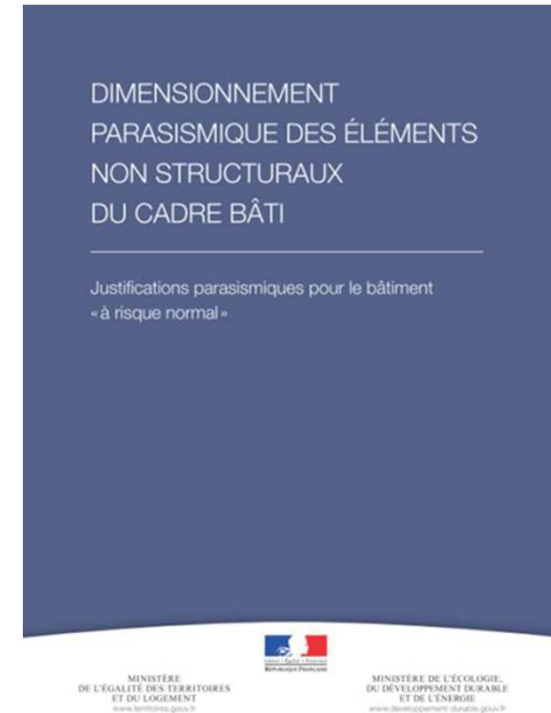
Guide MEDDE insuffisant pour justifier les pierres attachés aux actions sismiques



ORGANISATION DES TEXTES TECHNIQUES ET RÉGLEMENTAIRES

Guide MEDDE de dimensionnement parasismique des ENS :

- liste des ENS visés,
- ENS ne nécessitant pas une prise en compte du séisme
- Bâtiments visés (neuf et existant)
- Objectif de comportement (**sécurité des personnes**, limitation des dommages)
- **Effort inertiel** (composantes horizontale et verticales)
- Compatibilité avec déformations de la structure
- Combinaison des effets de l'action sismique (rappel des règles EC)
- **Dimensionnement des fixations** (chevilles)



ORGANISATION DES TEXTES TECHNIQUES ET RÉGLEMENTAIRES

**REVÊTEMENTS MURAUX ATTACHÉS
EN PIERRE MINCE**

**RÈGLES POUR LA CONCEPTION ET LA MISE EN
ŒUVRE EN ZONES SISMIQUES**

Version du 20 mars 2015



Règles suffisantes pour justifier les pierres attachées aux actions sismiques

OBJECTIFS DU GT SISMIQUE – P65 A

- assurer la protection des vies humaines par le non-effondrement des éléments non structuraux (ENS)
- fournir des règles accessible à tous et permettant de justifier des ouvrages devant répondre à des sollicitations mécaniques complexes
- être en cohérence avec le DTU 55.2
- être en cohérence avec les textes sismiques amonts (Eurocode 8 (09-2005) – § 4.3.5 , Arrêté du 15 septembre 2014 , guide MEDDE « dimensionnement parasismique des ENS du cadre bâti »)
- transcrire le caractère spécifique de la pierre naturelle et de son mode de fixation par attaches métalliques

ORIENTATIONS RETENUES PAR LE GT SISMIQUE – P65 A

- Conservation des limites constructives des pierres du DTU 55.2 (dimensions, épaisseur, élancement)
- Viser les travaux neufs et la rénovation (Arrêté du 15 septembre 2014)
- Evaluation expérimentale de la **raideur** du corps de l'attache du DTU 55.2 pour
 - les sollicitations perpendiculaires au revêtement (**risque de chocs entre l'attache et son support**)
 - les sollicitations parallèle au revêtement (**risque d'entrechoquement des pierres**)
- Ouverture vers le calcul pour les pattes spéciales uniquement

LIMITATIONS DU DOMAINE D'EMPLOI

- Limitation à la **France Métropolitaine** (zone de sismicité 5 non visée, pas d'accélération verticale)
- Limitation aux techniques du DTU 55.2 (**pattes mécaniques**) ayant fait l'objet d'essais (exclusion des attaches avec polochons et les pattes scellées)
- Limitation aux parois supports (**béton armé**) pour lesquelles des fixations validées en zone sismique dans le cadre d'un ATE (exclusion des maçonneries)
- Limitation à des conceptions de montage permettant de respecter les critères de justification (pattes dans les **joints horizontaux, joints vides**)
- Limitation de l'utilisation des outils de calculs numériques (priorité à l'**expérimentation** pour cette première version des règles)

HYPOTHÈSES DU DIMENSIONNEMENT

- **Calcul statique** équivalent proposé par le §4.3.5.2 de l'EC 8.1
- Principe de répartition des efforts sur **deux** attaches du DTU 55.2
- Conservation de la notion de **coefficient de sécurité** du DTU 55.2 définie à partir des résultats aux essais de flexion et de résistance aux attaches
- Dimensionnement **en capacité** des chevilles proposé par le §2.6.3 des règles MEDDE « dimensionnement parasismique des ENS du cadre bâti »

HYPOTHÈSES DU DIMENSIONNEMENT

Propres aux systèmes de pierres attachées

- Les **attaches métalliques** satisfont aux conditions de **ductilité** et de redondance pour un coefficient de comportement **qa = 2**
- Le revêtement en **Pierre** présente un comportement **fragile** à la rupture: on prend un coefficient de comportement **qa = 1**
- Eu égard au rapport de dimensions entre une pierre et un étage courant, la compatibilité avec déformations de la structure (drift) n'est pas à justifier

-Film essai parallélogramme

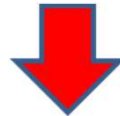


ETAPES DU DIMENSIONNEMENT

- **Calculer la force sismique horizontale F_a** en fonction de l'excitation sismique et du poids de la pierre ,



- **Calculer les forces sur les attaches** en fonction du type de montage,



- **Calculer les sollicitations dans les chevilles** en fonction de la géométrie de l'attache



- **Vérifier la raideur des attaches** pour éviter les déformations parasites

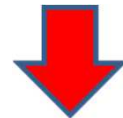


ETAPES DU DIMENSIONNEMENT

- **Vérifier la résistance de la pierre** aux ergots



- **Vérifier que la largeur de joints verticaux** pour éviter l'entrechoquement entre pierres

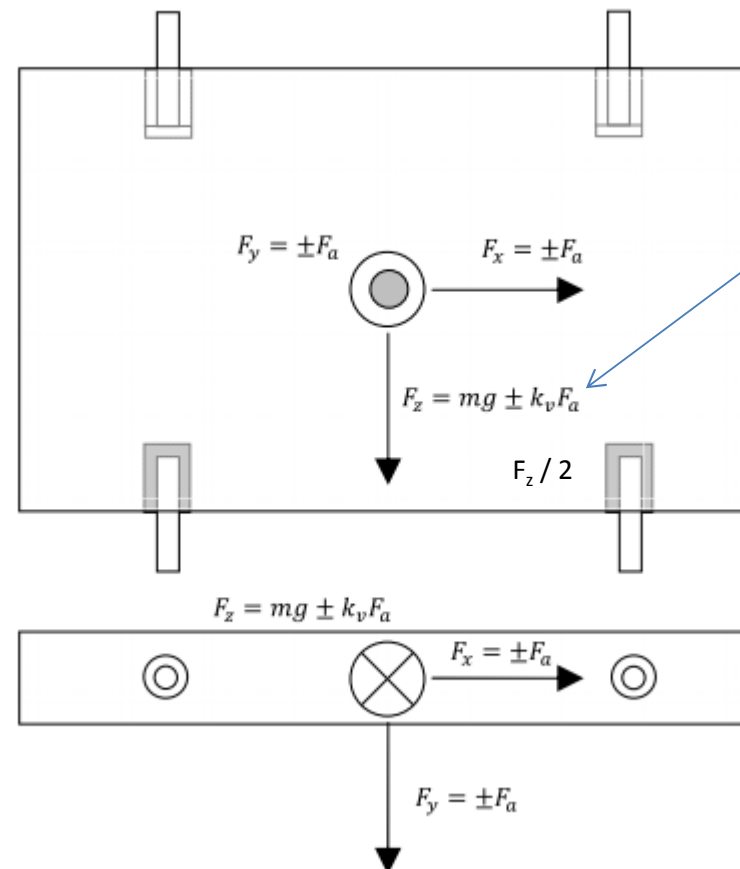


- **Choisir les chevilles** sous ATE adaptées

POINTS CLÉS DES RÈGLES

$F_a = k_a * m$ en daN
où
 m = masse de la pierre
en kg
 k_a = accélération
horizontale donnée par
tableau 2 ou 3 des
Règles

Exemple: $m = 50$ kg



$k_v = 0$
(zone
sismique 5
non visée)

POINTS CLÉS DES RÈGLES

Valeur de k_a (accélération sismique horizontale) dans le cas d'un bâtiment neuf

Valeurs de l'accélération sismique horizontale $k \times \gamma_l \times a_{gr} \times S$ (m/s ²)					
	Classe de sol	Catégorie d'importance de bâtiment			
		I	II	III	IV
Zone de sismicité 1	A				
	B				
	C				
	D				
	E				
Zone de sismicité 2	A			2,31	2,70
	B			3,12	3,64
	C			3,47	4,04
	D			3,70	4,31
	E			4,16	4,85
Zone de sismicité 3	A		3,03	3,63	4,24
	B		4,08	4,90	5,72
	C		4,54	5,45	6,35
	D		4,84	5,81	6,78
	E		5,45	6,53	7,62
Zone de sismicité 4	A		4,40	5,28	6,16
	B		5,94	7,13	8,32
	C		6,60	7,92	9,24
	D		7,04	8,45	9,86
	E		7,92	9,50	11,09

k_a est calculé avec $q_a = 2$

Exemple:

- zone sismique 3,
- catégorie bâtiment III,
- classe de sol C

Alors $k_a = 5.45 \text{ m/s}^2$

POINTS CLÉS DES RÈGLES

Deux vérifications pour la pierre:

- résistance en flexion (**f**)
- résistance aux attaches (**e**)

C_v (Coefficient de variation issu de l'essai)	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45
$C_{s, sis}$ (Coefficient de sécurité en zones sismiques)	1,50	1,50	1,50	1,50	1,63	1,84	2,07	2,32	2,59

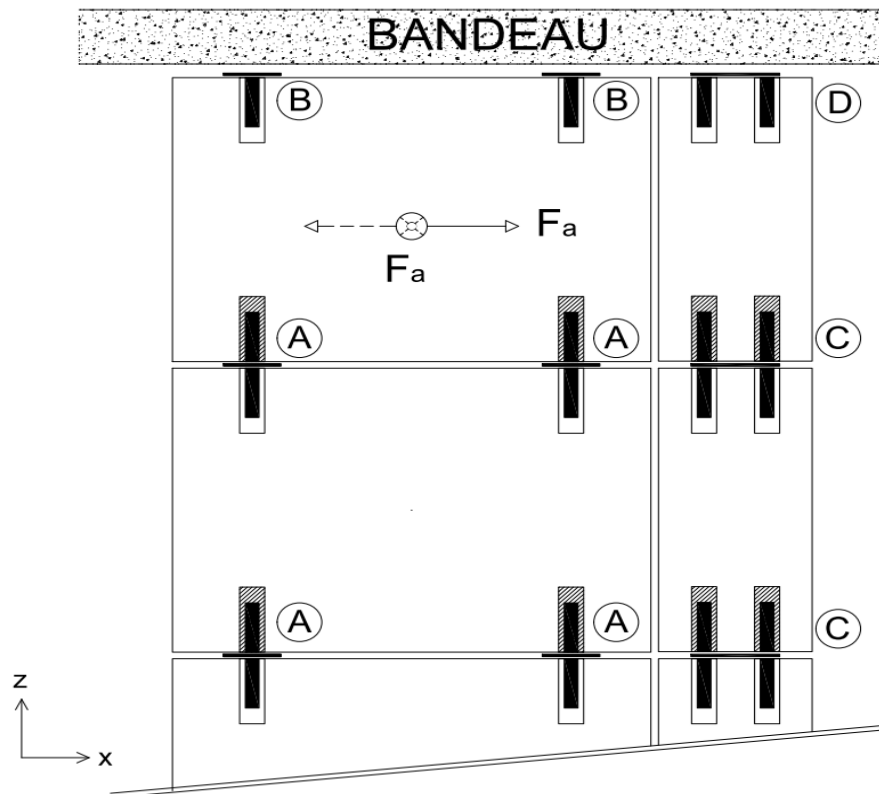
Attention: $C_{s, sis} \neq C_{s, DTU}$

$$R_{f, sis} = \frac{R_{fmoy}}{C_{s, f, sis}}$$

$$R_{e, sis} = \frac{R_{emoy}}{C_{s, e, sis}}$$

POINTS CLÉS DES RÈGLES

Vérification de la résistance mécanique des attaches
suivant le **type de montage**



POINTS CLÉS DES RÈGLES

Identification du **type de montage**

Type de montage	N = Nombre de plaques maintenues par l'attache	Nombre de fixations par plaque	$F_{n,attache}$ Ou $F_{p,attache}$
A	2	4	Fa
B	1	4	0.5 * Fa
C	2	2	Fa
D	1	2	0.5 * Fa

Exemple : montage type A, $F_a = k_a * m = 5.45 * 50 = 273 \text{ N}$

$F_{noup,attache} = 273 \text{ N}$

POINTS CLÉS DES RÈGLES

Vérification de la **résistance de l'attache** dans les directions **normale et perpendiculaire** à la plaque

$R_{n \text{ ou } p, \text{attache}}$ est déterminée selon la méthode indiquée en annexe et dans l'Avis Technique de l'attache.

$$R_{n, \text{attache}} \geq F_{n, \text{attache}}$$

$$R_{p, \text{attache}} \geq F_{p, \text{attache}}$$

Déplacement (mm)	
Perpendiculaire	Force (N)
0	0
0,5	100
1,4	250
2,2	450
4,5	750
6	HS

Tableau déplacement d'un fournisseur d'attache:

$F_{p, \text{attache}} \text{ max} = 750 \text{ N} > 273 \text{ N}$
d'où $d \text{ max} = 4.5 \text{ mm}$

$d(F_{p, \text{attache}}) = d(273 \text{ N}) = 1.5 \text{ mm}$



DISPOSITIONS SISMIQUES POUR LA PIERRE ATTACHÉE

POINTS CLÉS DES RÈGLES

Vérification du **non-entrechoquement** des pierres :
la largeur du joint vertical entre pierres e (en mm) doit vérifier l'inégalité suivante :

$$e \geq \max [6; 1,4 \times 2 d(F_{p,attache})]$$

Où d est le déplacement de l'attache

Exemple:

Suivant le tableau fournisseur ,on a : $d(F_{p,attache}) = d(273 \text{ N}) = 1.5 \text{ mm}$

Soit une largeur minimale du joint = $1.4 \times 2 \times d(F_{p,attache}) = 4.2 \text{ mm}$

D'où largeur des joints verticaux admissible = 6 mm

Film essai excitation dans le plan



CONCLUSIONS

- Le **risque d'entrechoquement** dépend de la rigidité de **l'attache**
- Le **risque de choc au support** dépend de la conception de **l'attache**
- le choix de **la pierre** (élément fragile du système) est déterminant sur ses comportements à **l'entrechoquement** (casse puis chute)
- La connaissance des performances des composants (chevilles, attaches et pierre) est indispensable
- Evolution prévisible des règles vers une approche **dynamique** des phénomènes et à l'utilisation de logiciel de **calculs numériques**

DISPOSITIONS SISMIQUES POUR LA PIERRE ATTACHÉE

Merci de votre attention

