

Protocole d'essais statiques et d'essais en situation sismique sur les dispositifs d'accrochage pour voile extérieur librement dilatable

Le présent protocole est référencé dans la liste minimale de la famille de « Dispositif d'accrochage pour voile extérieur librement dilatable ». Ces documents doivent être utilisés conjointement.

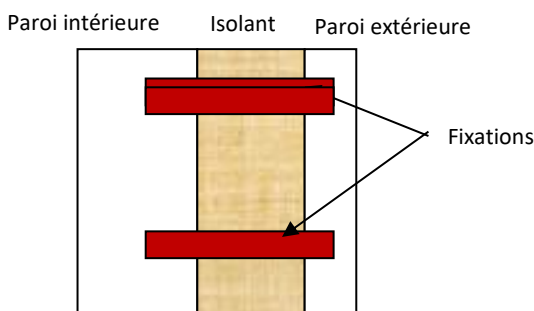
1. Principes

1.1. Hypothèses générales

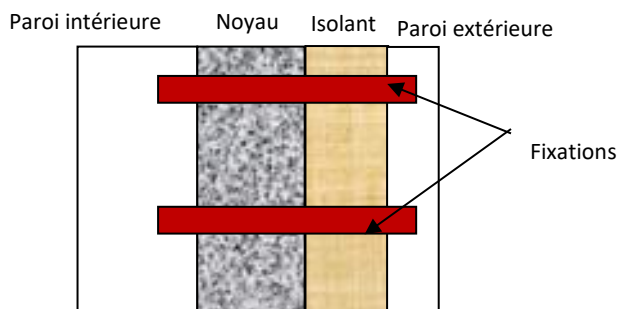
Les fixations qui font l'objet du présent protocole sont celles utilisées pour les procédés de Panneaux Sandwichs et de Murs à Coffrage et isolant intégrés (MCII). Ces systèmes de fixations sont prévus pour relier deux parois en béton armé :

- une paroi extérieure librement dilatable
- une paroi intérieure

Configuration Panneau Sandwich



Configuration MCII

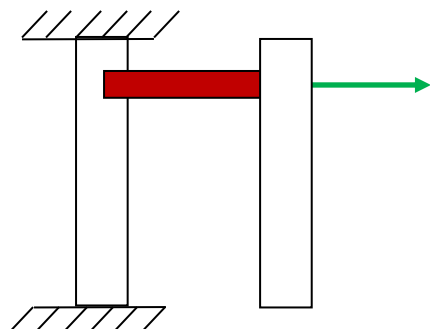


Les essais visent à qualifier :

- l'ancrage des fixations, soumises à la traction et au cisaillement sous un chargement monotone croissant (essai dit statique)
- l'ancrage des fixations, soumises à la traction et à la combinaison flexion/cisaillement sous un chargement cyclique (essai dit dynamique).

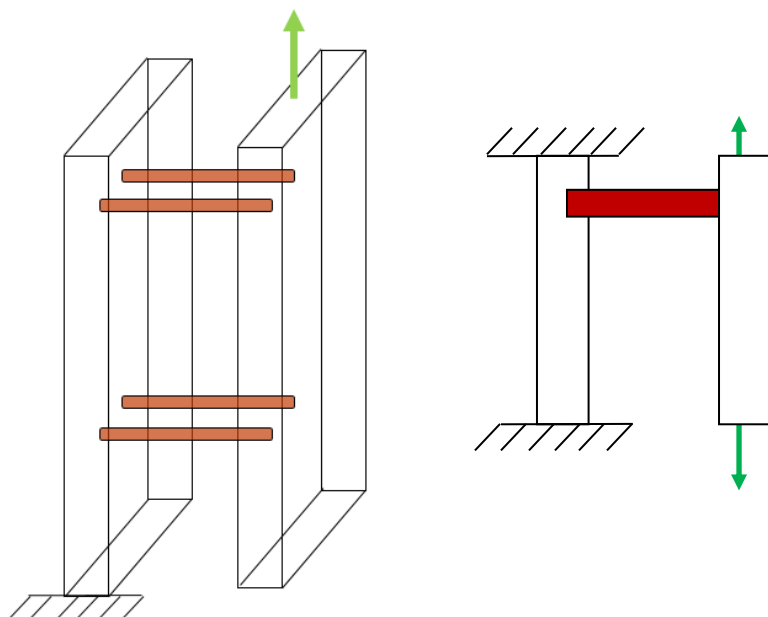
1.2. Principe des essais

- **Configuration Traction** – Effort exercé hors du plan du mur :



NOTA : la dimension en plan des parois devra être adaptée afin de permettre la formation des éventuels cônes d'arrachement.

- **Configuration Cisaillement :** effort exercé dans le plan du mur



L'essai de résistance en cisaillement est mené sur des maquettes constituées de deux parois en béton (paroi extérieure et paroi intérieure) reliées par 4 connecteurs (ou 2 ancres) ancrées à chacune de leur extrémité dans les parois en béton (ancrage dans les conditions les plus défavorables). Les distances entre fixations peuvent être prises égales à la dimension maximale de la maille revendiquée (cas des connecteurs) ou à la distance minimale entre deux ancres revendiquée.

L'essai est réalisé par application d'un effort sur la paroi extérieure. La disposition des éléments de fixation dans le corps d'épreuve devra être déterminée de façon à éviter la rotation de la paroi extérieure par rapport à la paroi intérieure (les deux parois doivent rester parallèles) durant l'essai de flexion-cisaillement. Des glissières situées sur les bords latéraux de la paroi extérieure sont un moyen d'éviter cette rotation.

Afin de ne pas solliciter les connecteurs/fixations en compression durant l'essai, l'essai sera réalisé avec les parois orientées verticalement.

Le corps d'épreuve ne doit pas comporter d'isolant ou être constitué de deux couches d'isolant désolidarisées permettant un glissement libre entre les deux parois.

Dans le cas de fixations dont la géométrie de section n'est pas symétrique, il conviendra de réaliser les essais de cisaillement dans les deux directions du plan du mur.

Les dimensions des corps d'épreuve devront être déterminées au cas par cas en fonction de la nature du système de fixation.

1.3. Synthèse des essais à réaliser

Le tableau ci-dessous résume les essais à réaliser :

Type d'essai – essais statiques	Valeur cible	Nombre d'essais minimum
Essai de traction sous chargement monotone croissant	N_{max}	3
Essai de cisaillement sous chargement monotone croissant	V_{max}	3

Type d'essai – essais dynamiques	Valeur cible	Nombre d'essais minimum
Essai de référence en traction monotone croissant	N_{max}	3
Essai de traction répété	$N_{essai, ind}$	3
Essai de référence en cisaillement/flexion monotone croissant	V_{max}	3

Essai de cisaillement/flexion alterné pour les systèmes de fixation de géométrie symétrique. Essai de cisaillement/flexion pour les systèmes de fixation de géométrie non symétrique : -essai répété dans la direction verticale -essai alterné dans la direction horizontale	$V_{\text{essai, ind}}$	3
--	-------------------------	---

Etant donné les modalités d'essais, il conviendra de réaliser 5 corps d'épreuve pour chaque type d'essai: soit 10 maquettes pour 6 essais de traction et 10 maquettes pour 6 essais de cisaillement-flexion.

Dans le cas de fixations ayant un type d'utilisation dédiée (ne travaillant par exemple uniquement qu'en traction), ces fixations devront être qualifiées en fonction de leur utilisation prévue. Si plusieurs types de fixations différents sont utilisés, les essais seront réalisés indépendamment sur chaque type. Les éléments de fixation sont testés individuellement sous la sollicitation correspondante (traction ou cisaillement).

Les essais seront réalisés dans une configuration représentative de l'utilisation visée : ancrage dans les deux parois en béton, épaisseurs des parois et de l'isolant, type de béton utilisé (voir §2.3).

2. Mode opératoire

2.1. Caractérisation

L'échantillon d'essai fera l'objet des mesures suivantes :

- Résistance du béton (cylindres ou cubes confectionnés le jour du coulage des corps d'épreuve) ;
- Epaisseur des parois préfabriquées et du noyau (cas MCII) ;
- Epaisseur de l'isolant (vide entre les deux parois) ;
- Profondeur d'ancrage de l'élément de fixation (mesure réalisée à la fabrication du corps d'épreuve);
- Dans le cas de système d'ancrage liaisonné au ferrailage des parois : positionnement des armatures

L'interprétation des résultats d'essais tiendra compte de l'écart entre ces mesures observées et les valeurs théoriques affichées (voir §4 ci-dessous).

2.2. Conditions d'acceptation de l'échantillon

L'essai est considéré comme acceptable si les mesures de l'échantillon restent dans les tolérances suivantes :

- Résistance du béton : il convient de prendre comme résistance du béton la valeur moyenne des résistances mesurées au moment des essais $f_{cm,essais}$, qui doit être comprise dans une plage de +/- 20% par rapport à f_{ck} .
NOTA : pour des essais de caractérisation de la résistance des fixations au jeune âge, la résistance du béton devra correspondre à +/- 20% de la résistance affichée au jeune âge (valeur garantie à la livraison pour les vérifications lors du remplissage des MCII / valeur garantie au démoulage pour les vérifications en phase de démoulage).
- Epaisseurs des parois préfabriquées : +/- 6mm (valeur individuelle) et +/- 3 mm (valeur moyenne sur 6 mesures : 2 en pied, 2 en tête et 2 à mi-hauteur) par rapport à la dimension nominale. L'épaisseur des parois devra être mesurée localement au droit des éléments de fixation.
- Epaisseur du noyau (cas MCII) : +/- 15 mm (valeur individuelle).
- Epaisseur du vide (longueur libre correspondant à l'épaisseur de l'isolant) entre les deux parois : +/- 10 mm (valeur individuelle) par rapport à la dimension nominale.

Il convient de réaliser des essais de contrôle sur les caractéristiques des éléments de fixation (matériaux : nuance, ...). Ces essais devront être réalisés par le fabricant afin de mesurer les caractéristiques (qualité effective) des éléments de fixation pour le lot concerné.

2.3. Mode opératoire

Pour les configurations décrites dans le §1.1, les essais doivent être réalisés selon les modalités décrites ci-après.

- Les essais doivent être conduits avec une longueur libre de fixation (qui correspond au vide entre les deux parois préfabriquées) correspondant à l'utilisation prévue. Dans le cas de plusieurs longueurs libres, les deux longueurs libres extrêmes devront être testées et les longueurs libres intermédiaires à retenir seront définies au cas par cas en fonction de la nature du système de fixation, des épaisseurs d'isolant visées et du mode de ruine constaté pour les longueurs extrêmes.

- Dans le cas d'une série d'essais faisant varier la longueur libre de fixation, il n'est pas possible d'extrapoler à des longueurs allant au-delà des valeurs extrêmes. Il est possible d'interpoler entre deux valeurs, moyennant une évaluation satisfaisante de la loi de comportement observée lors des essais.
- Les conditions de ferrailage des parois doivent être les conditions minimales, et le noyau doit être non armé (cas MCII).
- Les essais doivent être réalisés dans les conditions d'ancrage les plus défavorables (profondeur d'ancrage minimale, dispositions d'ancrage complémentaires, ...).
- Si les essais sont réalisés sur des éléments de fixation de géométrie différente, l'extrapolation pour d'autres géométries n'est pas admise.
- Lors des essais de traction et de cisaillement/flexion, le déplacement relatif entre les deux parois dans la direction de l'effort devra être mesuré.

2.4. Chargement

Cas des essais en situation sismique

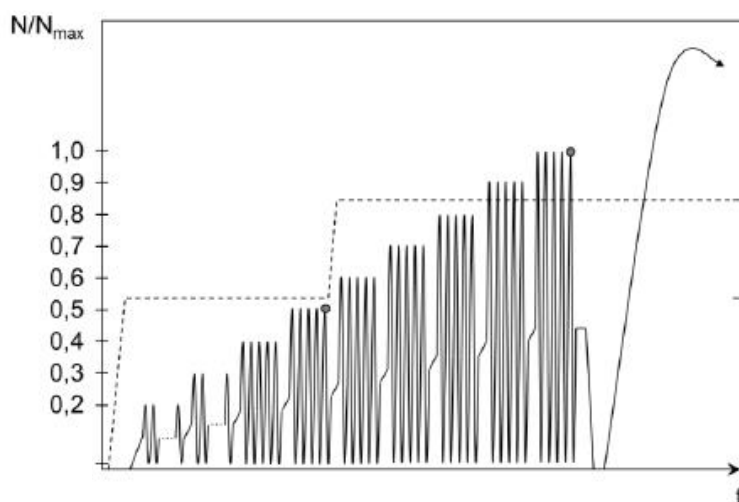
• Configuration traction :

Au préalable, des essais de références monotones croissants, dont la durée totale doit être comprise entre 1 et 3 minutes, doivent être effectués afin de connaître la charge maximale statique N_{max} , déterminée comme suit :

$$N_{max} = 0,75 N_{u,stat}$$

Avec $N_{u,stat}$: moyenne des valeurs de ruine mesurées lors des essais de référence de traction.

Le chargement peut être conduit comme ci-après (chargement répété):



La durée de la dernière montée en charge jusqu'à la ruine doit être identique à celle des essais de référence.

Le nombre de cycles est donné ci-après, avec une fréquence de 0,5 Hz minimum.

N/N_{max}	Number of cycles
0,2	25
0,3	15
0,4	5
0,5	5
0,6	5
0,7	5
0,8	5
0,9	5
1	5
SUM	75

En cas de ruine lors des cycles de chargement en traction (avant la dernière montée en charge), il conviendra de définir une nouvelle charge maximale statique $N_{max2} < N_{max}$ (on pourra fixer N_{max2} à la valeur du dernier train de cycle entièrement supporté) et de reconduire le chargement tel que défini ci-dessus.

Si la rupture intervient une nouvelle fois avant la dernière montée en charge, il conviendra de répéter l'opération en diminuant $N_{\max,i}$ tel que $N_{\max,i} < N_{\max,i-1}$ afin que le chargement en traction soit réalisé conformément au nombre de cycles définis ci-dessus et jusqu'à la dernière montée en charge.

Durant chaque essai, on relève la valeur de la charge de rupture en traction $N_{\text{essai, ind}}$ correspondant à la charge maximale supportée lors de la dernière montée en charge.

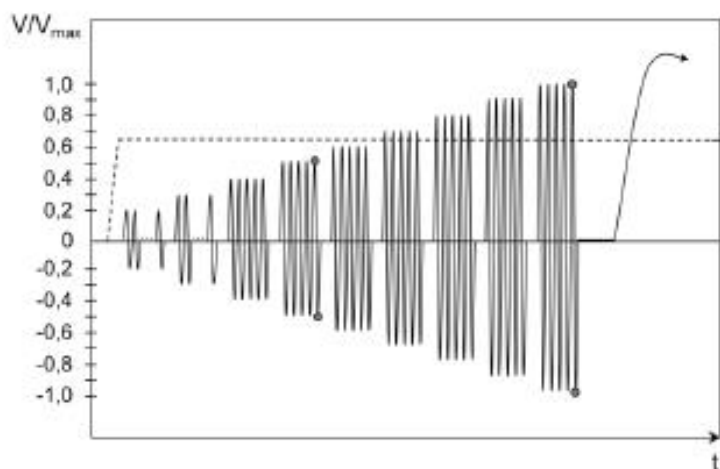
- **Configuration cisaillement/flexion :**

Au préalable, des essais de références monotones croissants, dont la durée totale doit être comprise entre 1 et 3 minutes, doivent être effectués afin de déterminer la charge maximale statique V_{\max} , déterminée comme suit :

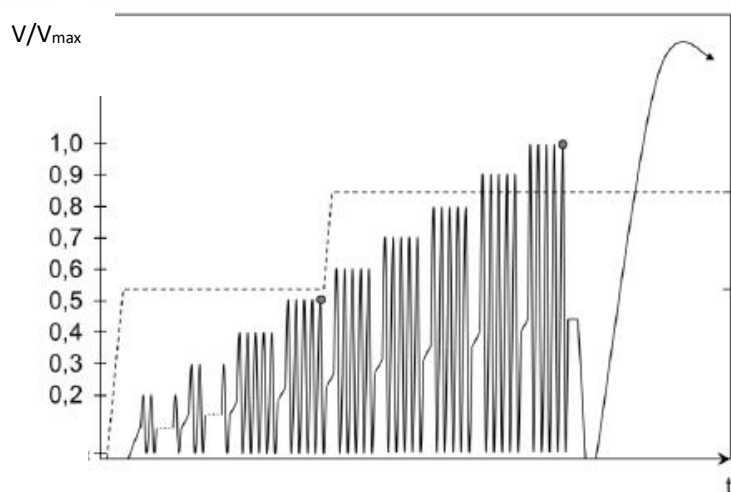
$$V_{\max} = 0,85 V_{u,stat}$$

Avec $V_{u,stat}$: moyenne des valeurs de ruine mesurée lors des essais de référence.

Dans le cas des éléments de fixation de géométrie symétrique, le chargement peut être conduit comme ci-après (chargement alterné):



Dans le cas des éléments de fixation de géométrie non symétrique, le chargement dans la direction horizontale sera conduit comme ci-dessus et le chargement dans la direction verticale sera conduit de la façon suivante (chargement répété) :



Le chargement répété ci-dessus s'ajoute au poids propre de la paroi extérieure.

La durée de la dernière montée en charge jusqu'à la ruine doit être identique à celle des essais de référence.

Le nombre de cycles est donné ci-après, avec une fréquence de 0,5 Hz minimum.

$\pm V/V_{\max}$	Number of cycles
0,2	25
0,3	15
0,4	5
0,5	5
0,6	5
0,7	5
0,8	5
0,9	5
1	5
SUM	75

En cas de ruine lors des cycles de chargement en cisaillement (avant la dernière montée en charge), il conviendra de définir une nouvelle charge maximale statique $V_{\max 2} < V_{\max}$ (on pourra fixer $V_{\max 2}$ à la valeur du dernier train de cycle entièrement supporté) et de reconduire le chargement tel que défini ci-dessus.

Si la rupture intervient une nouvelle fois avant la dernière montée en charge, il conviendra de répéter l'opération en diminuant $V_{\max, i}$ tel que $V_{\max, i} < V_{\max, i-1}$ afin que le chargement en cisaillement soit réalisé conformément au nombre de cycles définis ci-dessus et jusqu'à la dernière montée en charge.

Durant chaque essai, on relève la valeur de la charge de rupture en cisaillement $V_{\text{essai, ind}}$ correspondant à la charge maximale supportée lors de la dernière montée en charge.

Cas des essais statiques :

Le chargement est appliqué de manière identique à celui des essais de références monotones croissants décrits ci-dessus en configuration de traction et de cisaillement-flexion.

2.5. Matériel d'essai

Le matériel utilisé lors des essais doit être clairement défini dans le rapport d'essais.

L'étalonnage du matériel se fera par un organisme de contrôle agréé.

2.6. Rapport d'essai

Le rapport d'essai doit préciser :

- la description du corps d'épreuve (le plan de fabrication doit être transmis par le demandeur) : géométrie des éléments de fixation, position des éléments de fixation et profondeur d'ancrage dans les parois, dimensions des parois et du vide entre parois, dispositions de ferrailage (parois intérieure et extérieure)
- les caractéristiques mécaniques du béton des parois
- les caractéristiques mécaniques du matériau de l'élément de fixation transmises par le demandeur
- le type de chargement (traction, cisaillement/flexion)
- les résultats d'essais (charges de rupture) avec les courbes Force-Déplacement.
- les modes de ruine observés

3. Interprétation des résultats d'essais

3.1. Prise en compte de l'écart entre les valeurs mesurées sur l'échantillon et les valeurs théoriques :

Afin de prendre en compte l'écart entre les valeurs mesurées sur l'échantillon et les valeurs théoriques, les valeurs des efforts résistants individuels $N_{\text{essai, ind}}$, et $V_{\text{essai, ind}}$ obtenues lors de chaque essai devront être corrigées de la façon suivante :

- **Résistance à la compression du béton :**

$N_{\text{essai, ind, b}} = N_{\text{essai, ind}} \cdot \sqrt{\frac{f_{ck, \text{théorique}}}{f_{cm, \text{essai}}}}$ où $N_{\text{essai, ind, b}}$ est l'effort de traction résistant individuel corrigé vis-à-vis de la résistance du béton

$V_{\text{essai, ind, b}} = V_{\text{essai, ind}} \cdot \sqrt{\frac{f_{ck, \text{théorique}}}{f_{cm, \text{essai}}}}$ où $V_{\text{essai, ind, b}}$ est l'effort de cisaillement résistant individuel corrigé vis-à-vis de la résistance du béton

- **Epaisseur des parois préfabriquées :**

$N_{\text{essai, ind, ep}} = N_{\text{essai, ind}} \cdot \left(\frac{ep_{\text{théorique}}}{ep_{\text{mesurée}}} \right)^2$ où $N_{\text{essai, ind, ep}}$ est l'effort de traction résistant individuel corrigé vis-à-vis de l'épaisseur des parois préfabriquées.

$V_{\text{essai, ind, ep}} = V_{\text{essai, ind}} \cdot \frac{ep_{\text{théorique}}}{ep_{\text{mesurée}}}$ où $V_{\text{essai, ind, ep}}$ est l'effort de cisaillement résistant individuel corrigé vis-à-vis de l'épaisseur des parois préfabriquées.

- Vide entre les deux parois :

Des corrections adéquates devront être appliquées sur les valeurs des efforts résistants individuels obtenues par essai ($N_{\text{essai, ind}}$ et $V_{\text{essai, ind}}$) pour prendre en compte les écarts entre les valeurs mesurées localement sur l'échantillon et les valeurs théoriques. La détermination de ces corrections ($N_{\text{essai, ind, vide}}$ et $V_{\text{essai, ind, vide}}$) dépend de la loi de comportement observée lors des essais (mécanisme de ruine, ...) et devra donc être réalisée au cas par cas.

-Les valeurs corrigées des efforts résistants individuels (traction et cisaillement: $N_{r, \text{ind}, \Delta}$ et $V_{r, \text{ind}, \Delta}$), en fonction des écarts observés entre les valeurs mesurées sur l'échantillon et les valeurs théoriques, s'expriment de la façon suivante :

$$N_{r, \text{ind}, \Delta} = (N_{\text{essai, ind, b}} \times N_{\text{essai, ind, ep}} \times N_{\text{essai, ind, vide}}) / (N_{\text{essai, ind}})^2$$

$$V_{r, \text{ind}, \Delta} = (V_{\text{essai, ind, b}} \times V_{\text{essai, ind, ep}} \times V_{\text{essai, ind, vide}}) / (V_{\text{essai, ind}})^2$$

3.2. *Prise en compte de l'abaissement éventuel des charges maximales statiques N_{max} et V_{max} dans le cas des essais en situation sismique*

Comme indiqué dans le paragraphe 2.4 du présent document, lorsque la rupture (en traction ou en cisaillement) intervient lors des cycles de chargement (avant la dernière montée en charge), les charges maximales statiques N_{max} et V_{max} sont réduites et le chargement des différents trains de cycles est reconduit.

Afin de prendre en compte l'éventuelle réduction des charges maximales statiques N_{max} et V_{max} , les efforts résistants individuels $N_{r, \text{ind}, \Delta}$ et $V_{r, \text{ind}, \Delta}$ devront être corrigés de la manière suivante :

- $N_{r, \text{ind}} = N_{r, \text{ind}, \Delta} \times (N_{\text{max, i}} / N_{\text{max}})$ où $N_{\text{max, i}}$ est la charge maximale statique réduite ayant permis de réaliser le chargement en traction jusqu'à la dernière montée en charge.

- $V_{r, \text{ind}} = V_{r, \text{ind}, \Delta} \times (V_{\text{max, i}} / V_{\text{max}})$ où $V_{\text{max, i}}$ est la charge maximale statique réduite ayant permis de réaliser le chargement en cisaillement jusqu'à la dernière montée en charge.

En l'absence de réduction des charges maximales statiques N_{max} et V_{max} , on a :

$$N_{r, \text{ind}} = N_{r, \text{ind}, \Delta}$$

$$V_{r, \text{ind}} = V_{r, \text{ind}, \Delta}$$

3.3. *Détermination des efforts résistants caractéristiques*

La détermination des valeurs caractéristiques ($N_{Rk, \text{stat}}$, $N_{Rk, \text{sis}}$) et ($V_{Rk, \text{stat}}$, $V_{Rk, \text{sis}}$) à partir des valeurs de rupture observées lors des essais $N_{r, \text{ind}}$ et $V_{r, \text{ind}}$, est effectuée conformément à l'Annexe D de la NF EN 1990 en utilisant le tableau D.1 suivant et considérant le coefficient de variation V_x inconnu :

Tableau D.1 — Valeurs de k_n pour la valeur caractéristique de 5 %

N	1	2	3	4	5	6	8	10	20	30	∞
V_x inconnu	—	—	3,37	2,63	2,33	2,18	2,00	1,92	1,76	1,73	1,64

3.4. *Détermination des efforts résistants de calcul et des raideurs en situation normale*

Les valeurs de calcul $N_{Rd, \text{stat}}$ et $V_{Rd, \text{stat}}$ sont déterminées à partir des valeurs caractéristiques de la façon suivante :

$$N_{Rd, \text{stat}} = \frac{N_{Rk, \text{stat}}}{\gamma_m \times \gamma_d}$$

$$V_{Rd, \text{stat}} = \frac{V_{Rk, \text{stat}}}{\gamma_m \times \gamma_d}$$

K_{stat} : pour le calcul des raideurs, on retient la valeur moyenne calculée à partir des courbes individuelles d'essais Force-Déplacement.

La raideur est calculée sur la courbe force-déplacement par détermination de la pente de la droite reliant le point correspondant à 0.1 F_{max} de la courbe et le point correspondant à 0,4 F_{max} où F_{max} est le chargement maximal atteint. K_{stat} est ensuite obtenue à partir de la moyenne des raideurs déterminées pour chaque courbe.

Avec :

- $\gamma_d = 2$ (rupture de type « fragile » et ancrage dans des parois en béton mince)

- γ_m le coefficient partiel du matériau à l'origine de la rupture. Les coefficients partiels γ_m à appliquer sur les matériaux en situation normale sont les suivants :
 - o béton : $\gamma_c=1,5$
 - o acier : $\gamma_s=1,15$
 - o matériau composite: $\gamma_f= 1,2$
 - o autres matériaux : les coefficients partiels γ_x pour la propriété du matériau seront définis lors de l'instruction du dossier (en fonction des effets de volume, de l'humidité ou de la température, de l'incertitude du modèle de résistance, tolérances réduites, ...) et proposés au GS3.2 pour validation.

3.5. Détermination des efforts résistants de calcul et des raideurs en situation sismique à partir des résultats d'essais cycliques

Les valeurs de calcul $N_{Rd, sis}$ et $V_{Rd, sis}$ sont déterminées à partir des valeurs caractéristiques de la façon suivante :

- $N_{Rd, sis} = \frac{N_{Rk, dyn}}{\gamma_m}$
- $V_{Rd, sis} = \frac{V_{Rk, dyn}}{\gamma_m}$
- $K_{sis} = K_{dyn}$: Pour le calcul des raideurs, on retient la valeur moyenne calculée à partir des courbes enveloppes d'essais cyclique Force-Déplacement. La raideur est calculée sur la courbe enveloppe force-déplacement par détermination de la pente de la droite reliant le point correspondant à 0.1 F_{max} de la courbe et le point correspondant à 0,4 F_{max} où F_{max} est le chargement maximal atteint. K_{dyn} est ensuite obtenue par moyenne des raideurs déterminées pour chaque courbe enveloppe.

Avec :

- γ_m le coefficient partiel maximum des matériaux employés : $\max \{\gamma_c ; \gamma_s \text{ ou } \gamma_x\}$. Les coefficients partiels γ_m à appliquer sur les matériaux en situation accidentelle (séisme) sont les suivants :
 - o béton : $\gamma_c=1,3$
 - o acier : $\gamma_s=1$
 - o matériau composite: $\gamma_f= 1,2$
 - o autres matériaux : les coefficients partiels γ_x pour la propriété du matériau seront définis lors de l'instruction du dossier (en fonction des effets de volume, de l'humidité ou de la température, de l'incertitude du modèle de résistance, tolérances réduites, ...) et proposés au GS3.2 pour validation.

3.6. Détermination des efforts résistants de calcul et des raideurs en situation sismique à partir des résultats d'essais statiques

En l'absence de qualification expérimentale sous chargement cyclique, les performances mécaniques des connecteurs en situation sismique seront déterminées à partir des résultats statiques par application d'un coefficient de sécurité forfaitaire :

- $N_{Rd, sis} = \frac{0,4 N_{Rk, stat}}{\gamma_m}$
- $V_{Rd, sis} = \frac{0,4 V_{Rk, stat}}{\gamma_m}$
- $K_{sis} = 0,5 K_{stat}$