

Protocole d'essai pour les éléments de levage incorporés dans les MCI/MCII/panneau sandwich

Version validée lors du GS3.2 du 19 avril 2023.

Le présent protocole est référencé dans les listes minimales des familles de « Système de levage incorporé », « Mur à coffrage intégré », « Mur à coffrage et isolation intégrés » et « Mur de façade de types panneaux sandwich ». Ces documents doivent être utilisés conjointement.

Nota : Ce protocole d'essais est adapté aux inserts de levage réalisés à partir d'acier B235 ; pour d'autres nuances il est nécessaire de justifier la résistance sous sollicitations alternées de pliage/dépliage.

Afin de considérer les inserts comme isolés, ils doivent être espacés d'au minimum $2 \times 1,5l_p$ (voir §3.3 pour la définition de l_p) lors de la conception/fabrication du mur MCI/MCII/Panneau sandwich. Si l'espacement est inférieur, il conviendra de considérer les inserts comme jumelés et réaliser les essais simultanément sur les deux inserts. En cas d'impossibilité technique à réaliser les essais sur deux inserts simultanément, le demandeur pourra proposer des dispositions alternatives afin de prendre en compte la concomitance des inserts.

1. Définitions

1.1 Définition des instants t_0 , t_1 et t_2 :

- t_0 : moment de fabrication du béton de la 2nde face pour MCI/MCII ou la paroi intérieure pour les panneaux sandwichs ;
- t_1 : moment à partir duquel les inserts de levage sont utilisés pour manipuler le produit en usine ;
- t_2 : moment à partir duquel le produit est manipulé sur chantier.

1.2 Définition des résistances en compression simple du béton de la seconde face :

- $f_{c,1}$: résistance à la compression minimale ou garantie du béton, revendiquée de la seconde face (MCI/MCII) ou de la paroi intérieure (Panneau sandwich) mesurée sur cubes de 10 cm de côté à l'instant t_1 ;
- $f_{c,2}$: résistance à la compression minimale ou garantie du béton, revendiquée de la seconde face (MCI/MCII) ou de la paroi intérieure (Panneau sandwich) mesurée sur cube de 10 cm de côté à l'instant t_2 .

1.3 Définition de la 1^{ère} manutention

La 1^{ère} manutention est définie comme la première utilisation des inserts de levage que ce soit en usine ou à la livraison.

Si les inserts de levage sont utilisés en usine, deux cas de figure peuvent se présenter :

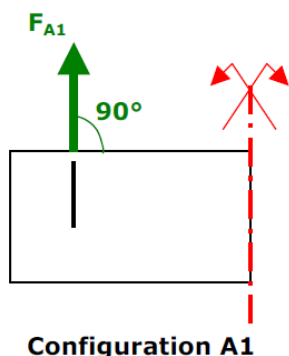
- Cas a : $f_{c,1} = f_{c,2}$; le présent protocole s'applique sans tenir compte du §3.5 du document ;
- Cas b : $f_{c,1} < f_{c,2}$: le présent protocole s'applique en tenant compte du §3.5 du document, en fonction des conditions d'utilisation des inserts lors de la première manutention.

2. Principes

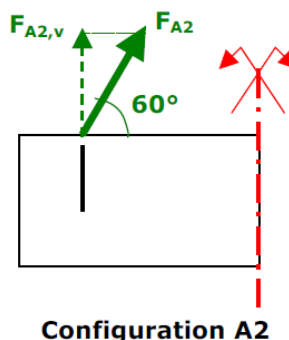
2.1 Hypothèses générales

Le principe des essais de levage vise à caractériser la capacité résistante des inserts de levage dans les configurations d'essais suivantes :

- **Configuration A** – Effort exercé dans le plan du MCI/MCII en analysant les deux situations ci-après, différenciées par l'angle formé par l'axe de l'effort et le bord du MCI/MCII :
 - Configuration A1 – angle de 90° ;
 - Configuration A2 – angle de 60°.



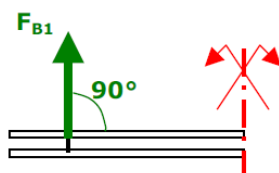
Configuration A1



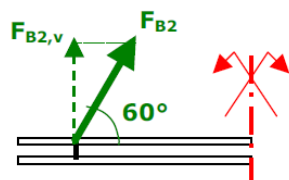
Configuration A2

Cette configuration correspond à un levage vertical du MCI/MCII.

- **Configuration B** – Effort exercé dans le plan orthogonal au MCI/MCII avec l'inclinaison d'effort identifiée dans la configuration A comme la plus défavorable. On aura donc, suivant les cas, des essais réalisés suivant les configurations :
 - Configuration B1 – angle de 90° ;
 - Configuration B2 – angle de 60°.



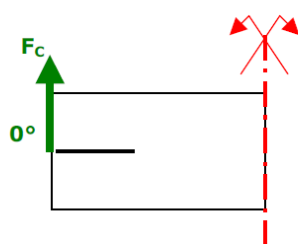
Configuration B1



Configuration B2

Cette configuration correspond à un levage à plat en 4 points, situation admise uniquement dans le cas de murs de faibles dimensions (inférieures à 7,5 m²).

- **Configuration C** – Effort exercé dans le plan du MCI/MCII, l'axe de l'effort et le bord du MCI/MCII formant un angle de 0°.



Configuration C

Cette configuration correspond à la situation de retournement.

2.2 Charge Maximale d'Utilisation

NOTA : Le contenu de ce paragraphe est donné à titre indicatif, et n'est pas à la charge du demandeur.

Ce principe est applicable aux valeurs de rupture - notées dans la suite du document Fr - issues des valeurs Pr définies au §5.

La performance des éléments de levage est définie par leur Charge Maximale d'Utilisation (CMU), en fonction des conditions de levage prescrites initialement :

Levage du mur en position verticale	Levage du mur à plat	Retournement
CMU ₁	CMU ₂	CMU ₃

Ces valeurs prennent en compte les situations prévues et, pour le cas de la valeur CMU₁, des situations non prévues, comme indiqué ci-après.

$$CMU_1 = \min \left\{ \frac{Fr_{A,k}}{3}; \frac{Fe_A}{1,1} \right\}$$

$$CMU_2 = \min \left\{ \frac{Fr_{B,k}}{3}; \frac{Fe_B}{1,1} \right\}$$

$$CMU_3 = \min \left\{ \frac{Fr_{C,k}}{3}; \frac{Fe_C}{1,1} \right\}$$

Où :

- $Fr_{A,k}$ Résistance caractéristique à la rupture pour la configuration A (projection verticale de l'effort mesuré).
 Fe_A Effort vertical (Fe_{A1} ou $Fe_{A2,v}$ *) retenu pour le niveau de charge de service lors de l'essai dans la configuration A.
 $Fr_{B,k}$ Résistance caractéristique à la rupture pour la configuration B (projection verticale de l'effort mesuré).
 Fe_B Effort vertical (Fe_{B1} ou $Fe_{B2,v}$ *) retenu pour le niveau de charge de service lors de l'essai dans la configuration B.
 $Fr_{C,k}$ Résistance caractéristique à la rupture pour la configuration C
 Fe_C Effort vertical retenu pour le niveau de charge de service lors de l'essai dans la configuration C.

* les termes indicés $X_{A2,v}$ ou $X_{B2,v}$ correspondent aux projections verticales de l'effort mesuré suivant l'axe de traction pour le cas des configurations A2 ou B2 avec un angle de 60°

Un coefficient de sécurité complémentaire de 1,2 est appliqué sur les valeurs de CMU pour les procédés de mur qui ne font pas l'objet d'une certification de type NF 548 ou équivalente.

3. Mode opératoire

3.1 Caractérisation

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

- Résistance du béton $f_{c,1}$ et/ou $f_{c,2}$ selon le cas (cf. §1.2) ;
- Epaisseur des parois (au droit de l'insert) ;
- Distance de recouvrement de l'insert (détermination par déduction à partir des mesures de l'épaisseur effective des parois).

L'interprétation des résultats d'essais tiendra compte de l'écart entre ces mesures observées et les valeurs affichées pour une utilisation de levage.

3.2 Conditions d'acceptation de l'échantillon

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

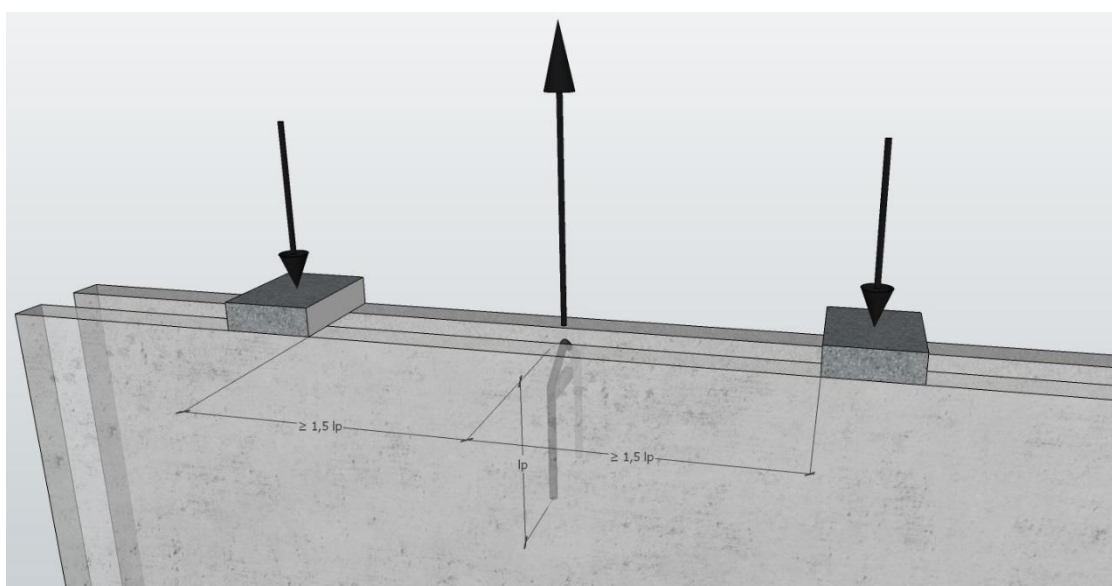
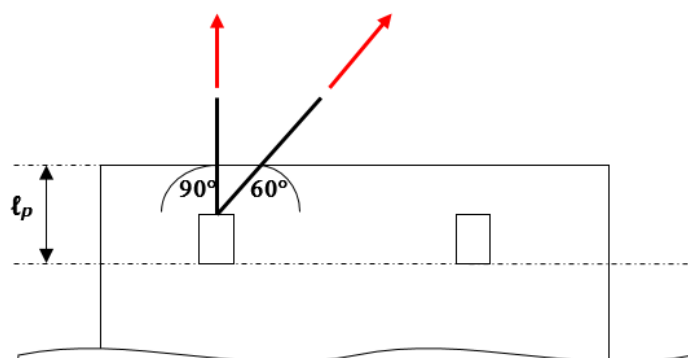
- Résistance du béton : +/- 20 % de la résistance revendiquée à $f_{c,1}$ et/ou $f_{c,2}$, selon le cas ;
- Epaisseurs des parois et épaisseur totale du MCI/MCII/Panneau sandwich : +/- 6mm (valeur individuelle) et +/- 3 mm (valeur moyenne sur 6 mesures : 2 en pied, 2 en tête et 2 à mi-hauteur) par rapport à la dimension nominale.

NOTA : les tolérances des conditions d'acceptation de l'échantillon dans le cadre de la réalisation des essais sur les éléments de levage intégré sont volontairement plus strictes que les tolérances dimensionnelles sur l'épaisseur des parois des procédés de MCI/MCII faisant l'objet d'une certification de type NF.

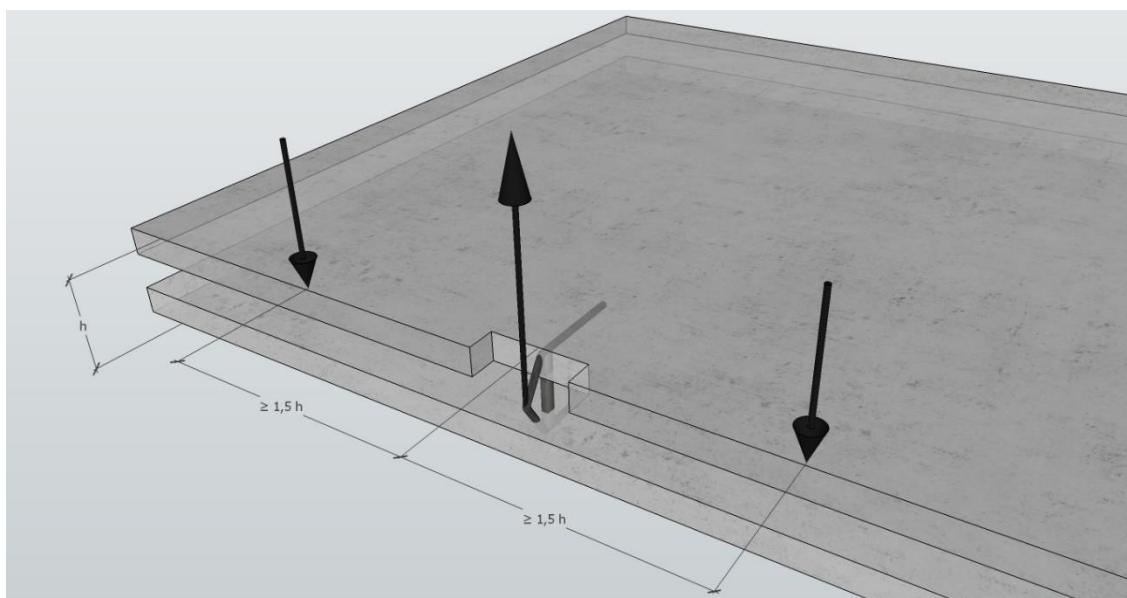
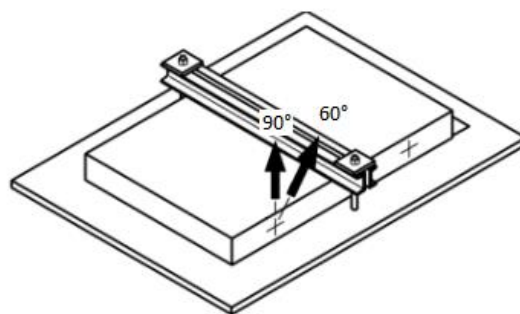
3.3 Mode opératoire

Pour les 3 configurations A, B ou C, décrites dans le §2.1, les essais doivent être réalisés selon les modalités décrites ci-après. On pourra également se rapporter au §7 du fascicule de documentation FD CEN/TR 15728 (août 2017) « Conception d'inserts pour le levage et des ancrages dans le béton par les essais » :

- L'effort de traction doit être mesuré directement dans l'élément de levage, sans interposition d'un dispositif de déviation.
- Si les deux éléments de levage sont sollicités en même temps, l'effort de traction doit être également réparti, ce qui peut être assuré par la mise en place d'un équilibreur.
- Les essais doivent être conduits sur les murs avec des parois préfabriquées d'épaisseurs minimales, et dans des conditions de ferrailage minimales.
- Longueur d'ancrage :
 - **Configuration A** : La distance entre le périmètre extérieur de l'élément de levage et l'appui de l'installation d'essai doit être au minimum de 1,5 fois la longueur de pénétration l_p de l'élément, sauf justification particulière.



- **Configuration B** : La distance entre le périmètre extérieur de l'élément de levage et l'appui de l'installation d'essai doit être au minimum de 1,5 fois l'épaisseur h de la paroi du MCI/MCII/Panneau sandwich.



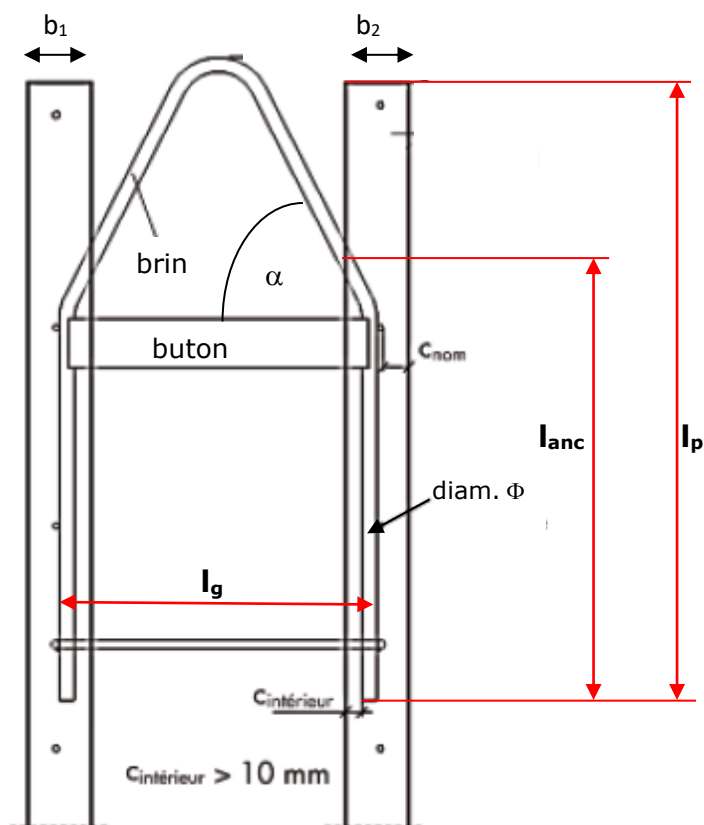
- Si les essais sont réalisés sur des éléments de diamètres différents, l'extrapolation pour d'autres diamètres n'est pas admise.

Nota : Un calage devra être intégré entre les deux parois en béton au niveau des appuis afin d'éviter une rupture prématurée du béton.

3.4 Regroupement des échantillons en famille : exemple pour le cas des boucles en acier doux

Pour limiter le nombre d'essais, il est possible de regrouper les inserts de levage en familles. Un exemple de regroupement est donné ci-dessous pour le cas des boucles de levage en acier doux.

3.4.1 Paramètres représentatifs



α : angle formé par le brin incliné et le bouton

l_{anc} : longueur d'ancrage

l_g : largeur d'accroche

l_p : longueur de pénétration

Nota : les paramètres l_{anc} et l_g sont variables pour différentes boucles d'une famille

3.42 Paramètres non représentatifs

Les éléments suivants, relatifs aux épaisseurs de peaux et enrobages ne sont pas attachés à la famille mais aux conditions d'emploi des boucles. Ils peuvent faire l'objet de limitation en représentativité de l'échantillon (cf. §3.2), et doivent être décrits dans le rapport d'essai (cf. §4.2).

Le rapport d'essais fera état de performances mesurées avec des épaisseurs et des enrobages minimaux. Le respect de ces enrobages conditionnera la performance affichée.

C_{nom} : recouvrement extérieur

C_{int} : recouvrement intérieur

b_1 : épaisseur 1^{ère} peau

b_2 : épaisseur 2^{ème} peau

3.43 Critères de hiérarchisation entre paramètres représentatifs

Tableau représentant les familles de boucles :

Dimension	Boucle de plus petite dimension transversale	Boucle de plus grande dimension transversale
Diamètre de la boucle	ϕ identique	
Bouton	Nature, section, spécifications de fabrication (soudures par exemple) identiques	
Epingle écarteur (élément disposé en pied)	Nature, section, spécifications de fabrication (soudures par exemple) identiques	
Angle formé par le brin incliné et le bouton	α_0	α_1
Largeur d'accroche	l_{g0}	l_{g1}
Longueur d'ancrage dans les parois préfabriquées	$l_{anc,0}$	$l_{anc,1}$

Critères sur les dimensions différenciées entre les deux boucles extrêmes :

$$\begin{aligned}
 \alpha_1 &\leq \alpha_0 \\
 l_{g1} &\geq l_{g0} \\
 l_{anc,1} &\leq l_{anc,0}
 \end{aligned}$$

Et pour toutes les boucles appartenant à la même famille, sur ces mêmes dimensions :

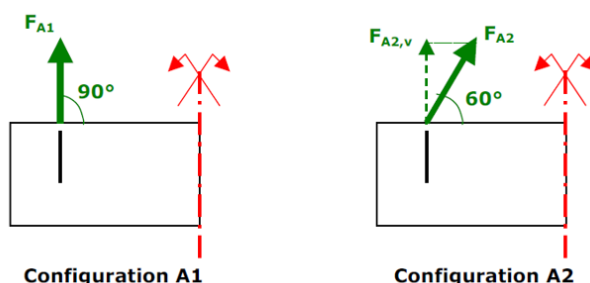
$$\begin{aligned}\alpha_i &\geq \alpha_1 \\ l_{gi} &\leq l_{g1} \\ l_{anc,i} &\geq l_{anc,1}\end{aligned}$$

Nota : Avec la règle ci-dessus, la boucle 1 ($\alpha_1; l_{g1}; l_{anc,1}$) est estimée représentative de la famille de boucles i ($\alpha_i; l_{gi}; l_{anc,i}$). Les performances de la boucle 1 peuvent donc être utilisées pour représenter celles de la famille des boucles i .

3.5 Application du pré-chargement

L'application du pré-chargement vise à solliciter l'insert de levage pour reproduire les conditions de levage du produit en phase de démoulage à la résistance $f_{c,1}$ déclarée pour la manutention en usine. Il consiste à exercer un effort représentatif du mode de levage du mur MCI/MCII/Panneau sandwich en usine revendiqué par le demandeur (configuration A1 ou configuration A2).

Cette configuration correspond à un levage vertical du MCI/MCII.




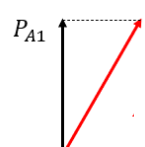
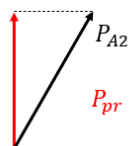
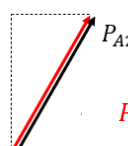
L'effort pré-chargement (traction) appliqué par un crochet sur un élément de levage ancré dans les parois du mur MCI/MCII, est effectué suivant un cycle de chargement avec un palier de $1,20 \times P_{pr}$ où P_{pr} est défini comme l'effort exercé suivant l'angle de tirage (voir figure ci-dessus).

La durée de maintien en charge du palier à la charge $1,20 \times P_{pr}$ est de 5 min.

A ce palier, il est procédé à un examen visuel pour s'assurer de l'absence de dégradation apparente ou de fissuration sur le parement extérieur. Dans le cas où une fissure est observée sur le parement extérieur, on procède au déchargement et on mesure l'ouverture de la fissure après déchargement. Si l'on observe une dégradation ou si la fissure sur le parement extérieur après déchargement est supérieure à 0,10 mm, les critères d'essais doivent être reconsidérés.

La valeur de P est définie en fonction du type de caractérisation de l'insert à réaliser :

- A) Dans le cas de la caractérisation complète de l'insert de levage (valeur de CMU de l'insert méconnues), la valeur de P_{pr} est définie par le titulaire de l'Avis Technique. Elle doit être supérieure ou égale à la valeur de P utilisée au §3.6 du présent protocole.
- B) Dans le cas où la valeur de CMU est déjà obtenue suivant le logigramme §6.1, la valeur de P_{pr} sera définie à l'aide du tableau ci-dessous :

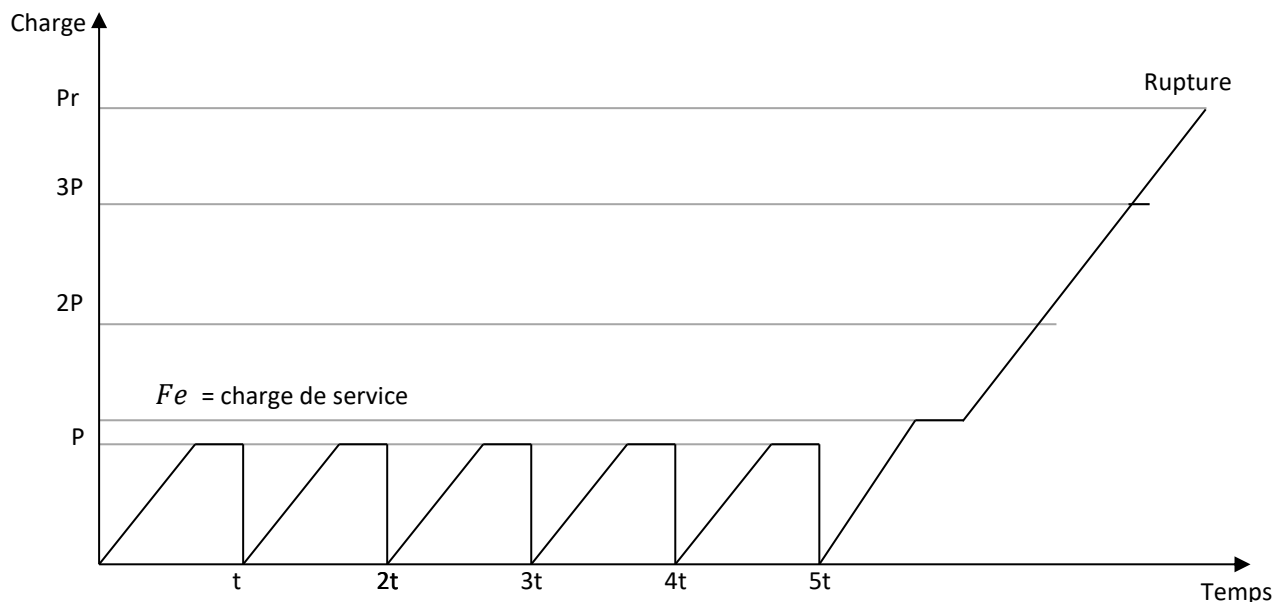
Configuration ayant permis de déterminer la CMU verticale au préalable	Levage en usine selon A1	Levage en usine selon A2
A1	$P = CMU$  $P_{pr} = P_{A1} = CMU$	$P = CMU / \sin 60^\circ$  $P_{pr} = \frac{P_{A2}}{\sin 60^\circ}$
A2	$P = CMU$  $P_{pr} = P_{A2} \sin 60^\circ = CMU$	$P = CMU / \sin 60^\circ$  $P_{pr} = P_{A2} = \frac{CMU}{\sin 60^\circ}$

Légende :

- P_{pr} = Effort de pré-chargement
- CMU = Valeur de la CMU déterminée au préalable
- P_{A1} = Effort de levage déduit à partir de la CMU, en configuration A1
- P_{A2} = Effort de levage déduit à partir de la CMU, en configuration A2

3.6 Chargement

L'effort de traction appliqué par un crochet sur un élément de levage ancré dans le mur MCI/MCII/panneau sandwich, est effectué suivant un cycle de chargement/déchargement, allant jusqu'à la rupture par arrachement de l'élément :



La charge P correspond à l'effort exercé suivant l'angle de tirage, pour la CMU visée.

La durée de maintien en charge lors des paliers à la charge P est d'environ 30 sec.

Après 5 cycles de chargement/déchargement à la charge P , on réalise un palier de charge à la valeur Fe définie par le demandeur de l'Avis Technique.

A ce palier, il est procédé à un examen visuel pour s'assurer de l'absence de dégradation apparente ou de fissuration sur le parement extérieur. Dans le cas où une fissure est observée sur le parement extérieur, on procède au déchargement et on mesure l'ouverture de la fissure après déchargement. Si l'on observe une dégradation ou si la fissure sur le parement extérieur

après déchargement est supérieure à 0,10 mm, un nouvel essai doit être réalisé avec une charge P plus faible (et donc une valeur de CMU visée et une charge F_e plus faibles).

Commentaire :

En pratique la charge F_e devrait être prise égale à $1,1 \times P$. Il est loisible de définir plusieurs paliers d'observation.

Le nombre de cycles, la durée des cycles, et la durée des paliers peuvent être revus en fonction du comportement du système observé lors des essais initiaux et de leur exploitation. La montée en charge doit être progressive, la durée de montée en charge jusqu'à la ruine ne devant pas être inférieure à 10 minutes, déduction faite de la durée du(des) palier(s) d'observation à la charge F_e

3.7 Matériel d'essai

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

L'étalonnage la chaîne de mesures se fera par un organisme de contrôle agréé (fréquence de vérification annuelle).

4. Rapport d'essai

4.1 Supervision

Le rapport d'essai doit être établi sur la géométrie la plus défavorable, par un organisme dont la compétence est reconnue dans le domaine considéré. Cet organisme doit valider notamment :

- Les modalités d'essais prévues en fonction des prescriptions du présent protocole ;
- Un échantillon estimé représentatif des résultats observés lors des essais.

4.2 Description de l'échantillon

Les éléments de levages, les crochets et les murs à coffrage intégré doivent être clairement décrits dans le rapport d'essai, et en particulier :

- Le type de matériau des éléments
- La géométrie des éléments
- La position des inserts sur le mur à coffrage intégré
- La dimension du mur à coffrage intégré
- Le type d'inserts utilisés
- Les dispositions de ferrailage
- Les certificats des inserts utilisés

5. Interprétation des résultats

NOTA : Le contenu de ce chapitre est donné à titre indicatif, et n'est pas à la charge du demandeur.

La résistance caractéristique est calculée selon l'article D 7.2 de la NF EN 1990 *Eurocodes Structuraux – Bases de calcul des structures*, avec les paramètres suivants :

- Un fractile de 5% des charges de rupture mesurées dans chaque série d'essais,
- Un niveau de confiance de 75%,
- Une distribution supposée normale,
- Un écart-type de la population inconnu.

$$P_{rk}(n) = mP_r \times (1 - k_n V_{Pr})$$

Avec :

- P_r Charge de rupture
- $P_{rk}(n)$ Charge de rupture caractéristique pour un échantillon de taille n ,
- m_{Pr} Moyenne des charges de rupture de n échantillons,
- k_n Facteur de fractile caractéristique (cf. tableau ci-dessous)

N	1	2	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_{Pr} Coefficient de variation de Pr .

V_{Pr} étant inconnu, il est estimé à partir de l'échantillon par la formule S_{Pr}/m_{Pr} avec :

- S_{Pr} Écart type des charges de rupture de n échantillons (estimation de l'écart type de la population).

Coefficient de sécurité global sur la vérification des éléments de levage :

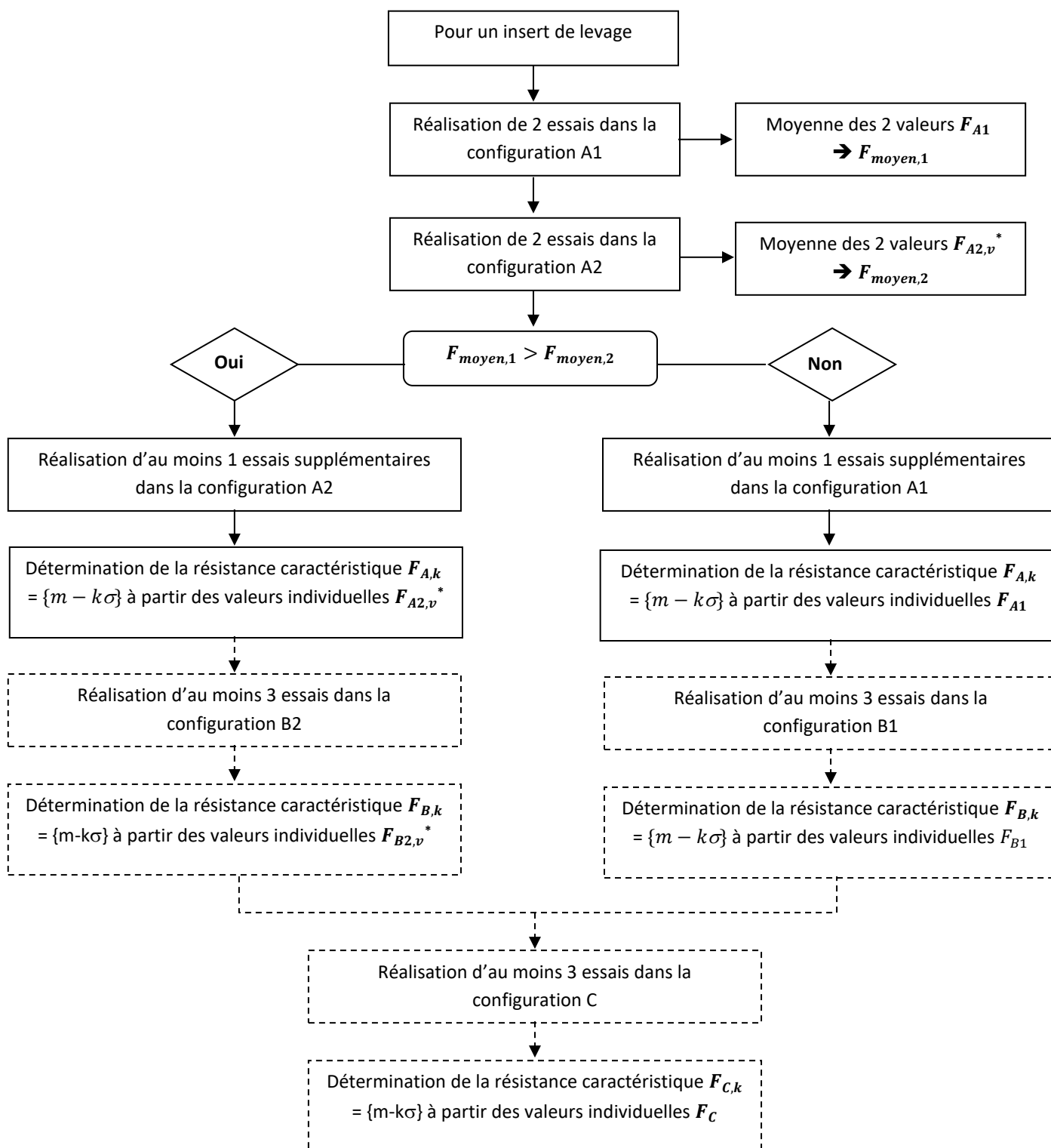
Le coefficient de sécurité global relatif à la vérification des éléments de levage comprend :

- Un coefficient de sécurité de 3 appliqué sur la valeur caractéristique (fractile de 5%, niveau de confiance de 75%) de la résistance à l'arrachement des éléments de levage (pour les configurations de levage décrites au §2.1 ci-dessus)
- Un coefficient de sécurité de 1,15 (coefficient d'effet dynamique) x 1,05 (incertitude sur le poids propre) = 1,21 appliqué sur les sollicitations (poids du mur et des équipements de sécurité éventuels)

Le coefficient d'effet dynamique de 1,15 est un coefficient dynamique forfaitaire indépendant des vitesses de manutention et valable pour des conditions de levage usuelles : grue à tour et grue mobile à poste fixe.

6. Logigramme de réalisation des essais

6.1 Caractérisation d'un insert de levage sans pré-chargement ($f_{c,1} = f_{c,2}$)

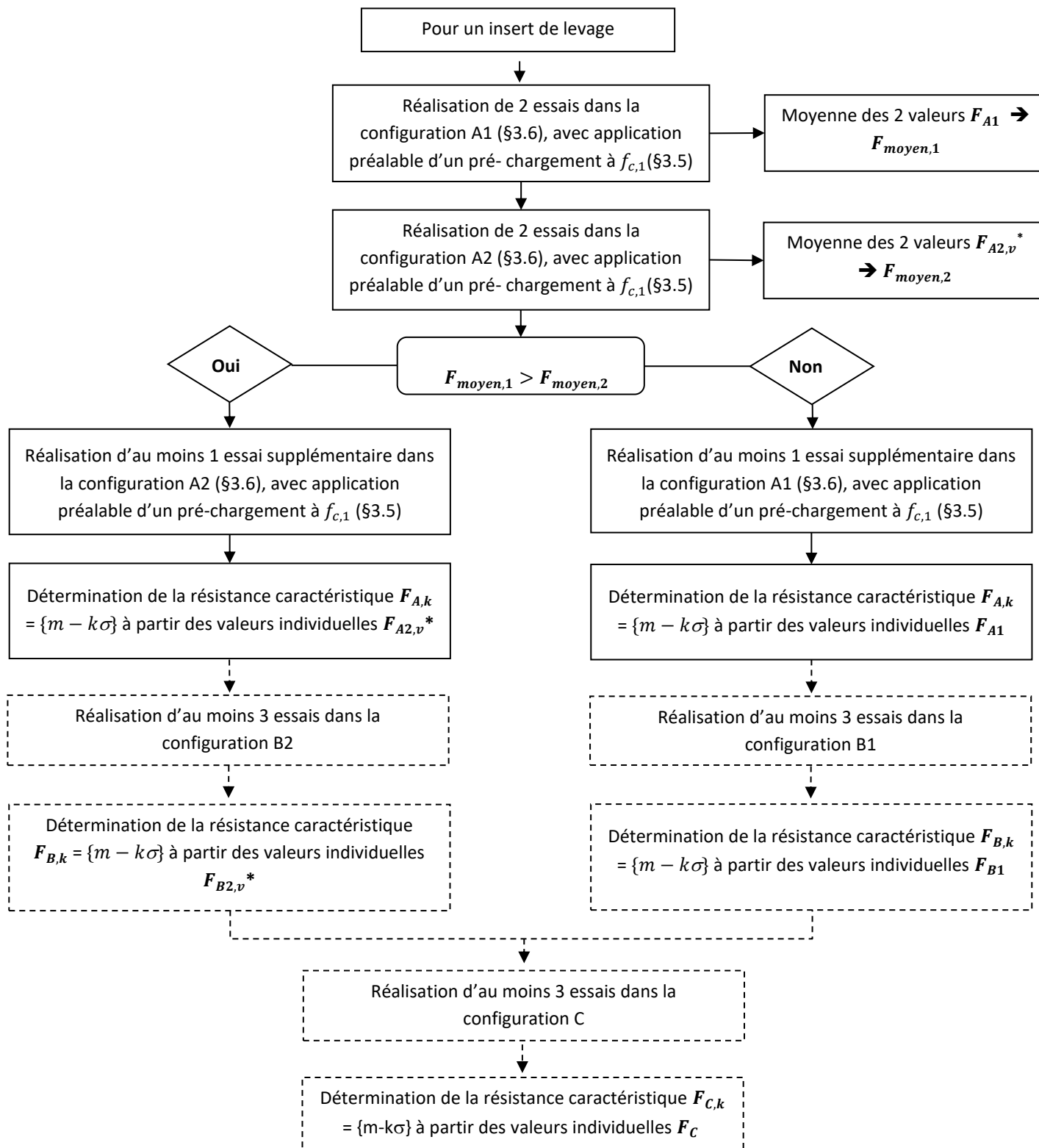


—————→ Essais obligatoires

- - - - -→ Essais optionnels

* les termes indicés $X_{A2,v}$ ou $X_{B2,v}$ correspondent aux projections verticales de l'effort mesuré, pour le cas des configurations A2 ou B2 avec un angle de 60°.

6.2 Caractérisation d'un insert de levage avec application systématique d'un pré-chargement ($f_{c,1} < f_{c,2}$) : CMU de l'insert inconnue

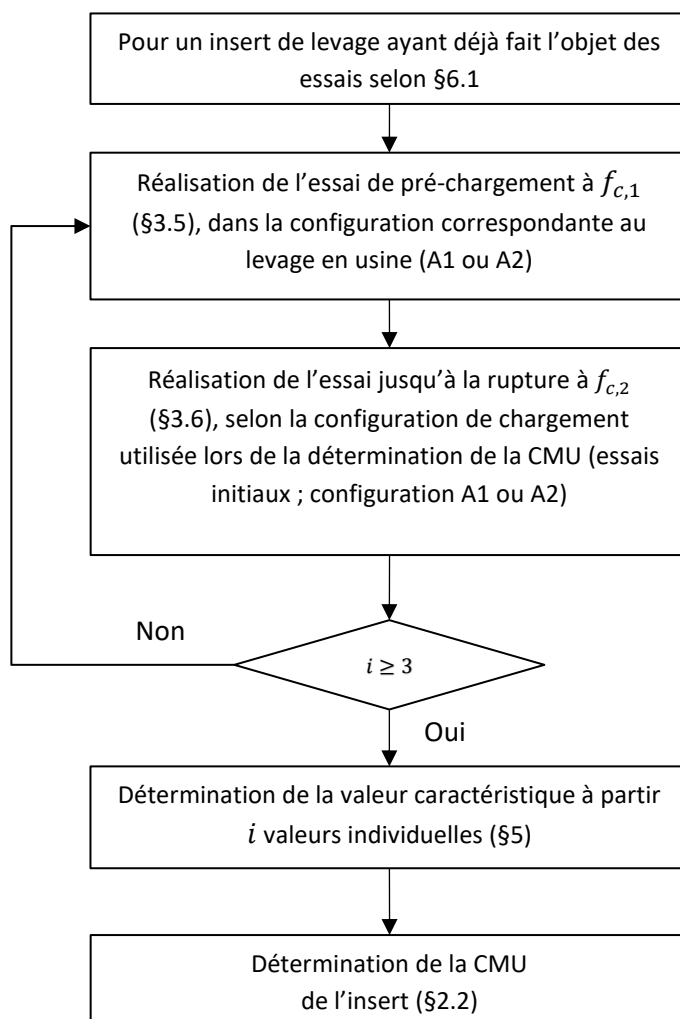


—————→ Essais obligatoires

- - - - -→ Essais optionnels

* les termes indicés $X_{A2,v}$ ou $X_{B2,v}$ correspondent aux projections verticales de l'effort mesuré, pour le cas des configurations A2 ou B2 avec un angle de 60°.

6.3 Caractérisation d'un insert de levage avec application systématique d'un pré-chargement ($f_{c,1} < f_{c,2}$) : **CMU de l'insert ayant fait l'objet d'essais suivant §6.1**



Nota : i est le nombre de corps d'épreuve testés.