



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Office fédéral de la protection de la population OFPP
LABORATOIRE SPIEZ

IT Chocs 2021

Instructions techniques concernant la résistance aux chocs des éléments montés dans les ouvrages de protection civile

**Instructions techniques
concernant la résistance aux chocs des éléments montés dans les ouvrages
de protection civile (IT Chocs 2021)**

du 1^{er} mars 2021

L'Office fédéral de la protection de la population,
vu l'art. 104 de l'ordonnance du 11 novembre 2020 sur la protection civile¹,
édicte les instructions suivantes :

Chiffre 1 Objet

Les instructions régissent la résistance aux chocs des éléments montés dans les ouvrages de protection civile.

Chiffre 2 Abrogation des instructions en vigueur

Les Instructions techniques concernant la résistance aux chocs des éléments montés dans les constructions de protection civile (IT Chocs 1995) du 23 mars 1995 sont abrogées.

Chiffre 3 Entrée en vigueur

Les présentes instructions entrent en vigueur le 1^{er} mars 2021.

Le 18 février 2021

Office fédéral de la protection de la population

Dr. iur. Michaela Schärer



Directrice

¹ RS 520.11

Table des matières

1	Introduction	4
1.1	Champ d'application.....	4
1.2	Objet.....	4
1.3	Table des matières.....	4
1.4	Autres dispositions applicables	4
2	Charges et effets induits par les chocs	6
2.1	Types de charges.....	6
2.2	Charges de choc subies par les ouvrages de protection	6
2.3	Valeurs de choc normées	7
3	Vérification de la résistance aux chocs	8
3.1	Degré de protection.....	8
3.2	Test pratique de résistance aux chocs.....	8
3.3	Calcul justificatif de résistance des fixations	9
3.3.1	Procédure.....	9
3.3.2	Calcul justificatif simplifié	9
4	Résistance aux chocs des éléments montés	10
4.1	Exigences générales.....	10
4.2	Fixations antichoc	11
4.3	Résistance aux chocs passive	11
4.3.1	Définition	11
4.3.2	Exemples	12
5	Test et homologation des éléments montés	13
5.1	Obligation de test	13
5.2	Éléments soumis à approbation.....	13
5.3	Éléments non soumis à approbation.....	14
6	Fixations antichoc.....	15
6.1	Méthodes de fixation	15
6.2	Fixations par tampons (posées a posteriori).....	15
6.3	Fixations incorporées	16
6.4	Ancrage de socles en béton.....	16
7	Test et homologation des éléments soumis à approbation.....	17
7.1	Test pratique de résistance aux chocs.....	17
7.2	Documents techniques.....	17
7.2.1	Descriptif technique.....	17
7.2.2	Instructions de montage résistant aux chocs	17
7.2.3	Calcul justificatif de résistance des fixations	18
7.3	Livraison et montage de l'élément	18
7.3.1	Instructions de montage.....	18
7.3.2	Matériel de fixation	18
7.3.3	Plaque signalétique.....	19
7.4	Gestion de la qualité	19
8	Calcul justificatif simplifié des fixations antichoc	20
8.1	Charge statique de remplacement	20
8.2	Calcul des forces de fixation	20
8.3	Exemple de calcul justificatif simplifié	21
8.4	Vérification de la résistance aux chocs de la fixation	23
8.5	Aide au calcul.....	23
9	Mouvement relatif des éléments non fixés	24

1 Introduction

1.1 Champ d'application

Les présentes instructions techniques portant sur la résistance aux chocs des éléments de construction montés dans des ouvrages de protection civile (IT Chocs 2021 en abrégé) s'appliquent à tous les éléments de construction, installations et équipements non structuraux (ENIE) ne faisant pas partie des structures porteuses des ouvrages de protection. Par la suite, on parlera en général simplement d'éléments montés.

1.2 Objet

Les IT Chocs 2021 régissent la vérification de la résistance aux chocs des éléments montés dans les ouvrages de protection civile. La résistance aux chocs est l'un des éléments de la protection NBC globale qu'offrent les ouvrages de protection. La réalisation, l'agencement et la fixation antichoc des éléments montés ont pour but d'assurer que la survie dans l'ouvrage de protection et la fonctionnalité de ce dernier restent préservées en dépit des effets d'une attaque armée.

1.3 Table des matières

Les IT Chocs 2021 comprennent l'ensemble des bases déterminantes pour la protection des éléments montés contre les chocs. Elles détaillent notamment les exigences en matière de résistance aux chocs et spécifient les procédures d'essai ainsi que les charges de choc définies pour la vérification de la résistance aux chocs. Les justificatifs et la documentation requis pour le test et l'homologation des éléments montés sont par ailleurs répertoriés.

Les exigences en matière de résistance aux chocs et les contrôles obligatoires d'éléments montés ou de groupes d'éléments montés spécifiques sont définis séparément dans l'**annexe A1**.

1.4 Autres dispositions applicables

- Instructions techniques concernant la gestion de la qualité des composants soumis aux essais dans le domaine de la protection civile
- Instructions techniques concernant les plaques signalétiques et les instructions de montage, de service et d'entretien des éléments soumis à l'approbation de l'OFPP
- Rapport de test et d'homologation des systèmes de tampons
- Cahiers de charges techniques de l'OFPP pour certains éléments montés

- Instructions techniques pour la construction d'abris obligatoires (ITAP)
- Instructions techniques pour abris spéciaux (ITAS)
- Instructions techniques pour les constructions protégées des organismes et du service sanitaire (ITO)
- Instructions techniques pour la modernisation des abris comptant jusqu'à 200 places protégées (ITMO Abris)
- Instructions techniques pour la modernisation des constructions de protection et des abris spéciaux (ITMO Constructions)
- Instructions techniques pour la construction et le dimensionnement des ouvrages de protection civile (ITC)
- Instructions techniques concernant la ventilation des abris dotés d'une isolation thermique (ITVI)
- Instructions techniques pour l'entretien des constructions de protection civile de pleine valeur réalisées selon les ITO, les ITAS ou les ITMO (ITE)
- Construction d'abris pour biens culturels et réaffectation des constructions protégées

- surnuméraires en abris pour biens culturels
- Instructions techniques pour la protection EMP de l'alimentation en énergie électrique des ouvrages de protection civile (IT EMP)
 - Instructions techniques concernant la gestion de la qualité des composants soumis aux essais dans le domaine de la protection civile
 - Instructions techniques concernant les plaques signalétiques et les instructions de montage, de service et d'entretien des éléments soumis à l'approbation de l'OFPP

2 Charges et effets induits par les chocs

2.1 Types de charges

Par opposition aux charges statiques, non variables dans le temps, les charges transitoires se caractérisant par une évolution temporelle aléatoire sont qualifiées de charges stochastiques. Dans le cas de charges survenant de façon très brève, on parle de charges d'impact ou d'impulsion. Une charge d'impact ne survenant que très rarement, voire une seule fois pendant la durée de vie d'un élément, est qualifiée de charge de choc.

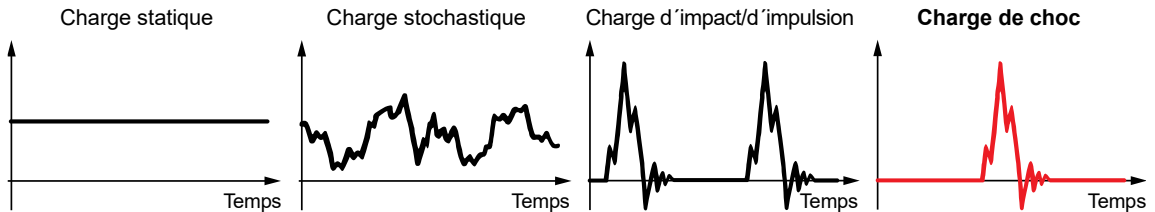


Fig. 1 Types de charges

2.2 Charges de choc subies par les ouvrages de protection

Pour les ouvrages de protection et leurs installations et éléments incorporés, il faut tenir compte des charges de choc qui se produisent lorsque des armes sont utilisées. En particulier lors de l'explosion d'une arme nucléaire, les effets mécaniques ont une grande portée en raison de la propagation sphérique de l'onde de choc aérienne. La charge brutale exercée sur la surface du sol du fait de la surpression engendrée par l'onde de choc aérienne entraîne une sollicitation brutale du sous-sol (onde de choc terrestre induite) qui soumet l'ensemble de l'ouvrage de protection à une charge de choc lorsque l'onde de pression aérienne se diffuse (fig. 2).

Les charges de choc qui surviennent à une distance du point d'explosion où le pic de surpression de l'onde de choc incidente atteint encore 1 bar (degré de protection de base) sont déterminantes pour les ouvrages de protection civile. Selon le calibre de l'arme nucléaire, cette distance R varie entre plusieurs centaines de mètres et quelques kilomètres.

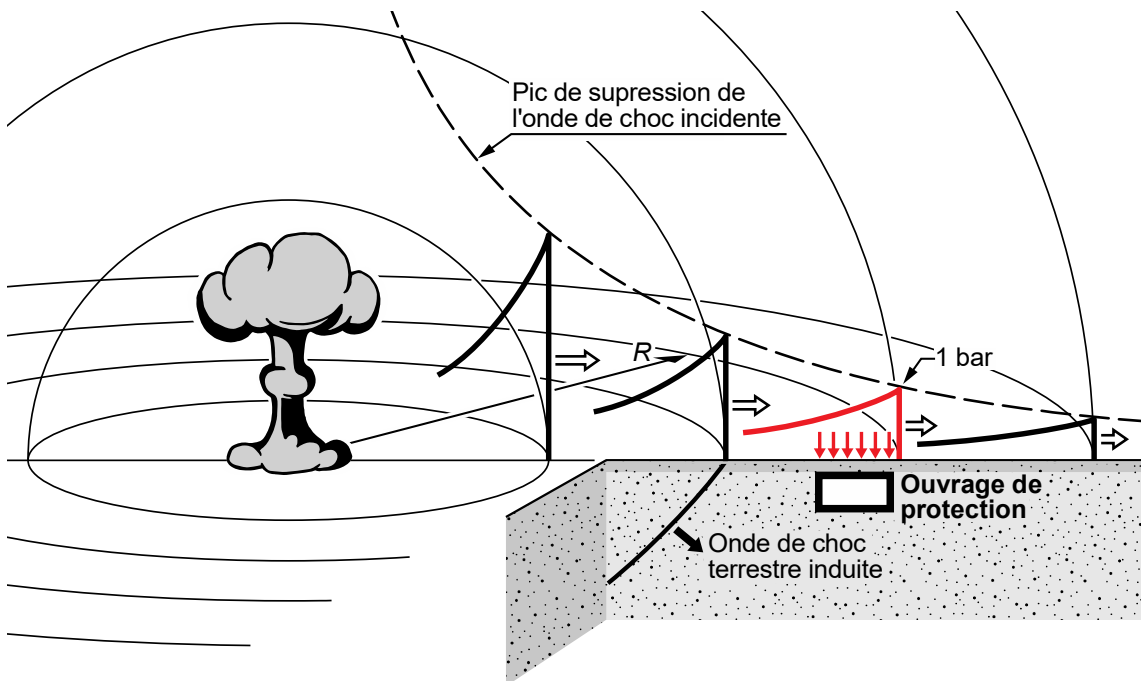


Fig. 2 Propagation de l'onde de choc aérienne et charge de choc subie par un ouvrage de protection lors d'une explosion nucléaire dont le point de détonation se situe au niveau du sol

La charge de choc que subit un ouvrage de protection, avec ses éléments incorporés, lorsqu'il est soumis au passage d'une onde de choc aérienne est beaucoup plus forte que les vibrations causées par un tremblement de terre d'origine naturelle (géologique). En particulier, les accélérations qui se produisent sont environ 100 fois plus importantes que lors d'un séisme. En raison des pics d'accélération élevés mais très courts, les éléments fixés de manière rigide dans l'ouvrage sont soumis à des charges élevées pouvant entraîner leur rupture, en particulier dans le cas de matériaux friables. Grâce à des appuis élastiques ou plastiques, ou par la déformation des éléments montés eux-mêmes, les charges de choc sont en général suffisamment amorties pour ne pas nécessiter de renforcement des éléments montés. De nombreuses années d'expérience et de tests expérimentaux montrent que la protection contre les chocs d'éléments montés de sensibilité normale est possible sans mesures spéciales.

2.3 Valeurs de choc normées

Les effets de choc déterminants pour les ouvrages de protection sont définis par des spectres de réponse élastique linéaire. La figure 3 montre les spectres de réponse aux chocs du degré de protection de base (1 bar), déterminant pour les ouvrages de protection civile, et du degré de protection « 3 bar ». Les effets de choc étant dus à des charges de type stochastique, les spectres de réponse correspondants ne sont pas uniformes. Des spectres de réponse réels possibles sont représentés à titre d'exemple dans la figure 3. Les spectres de réponse normalisés de forme trapézoïdale représentent l'enveloppe des réponses possibles aux chocs.

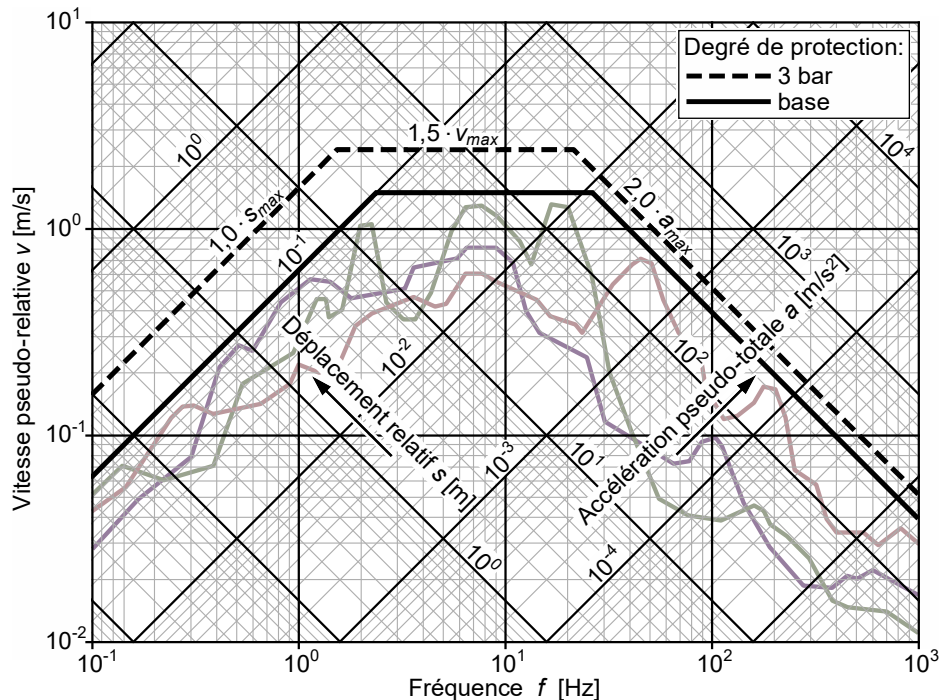


Fig. 3 Spectres de réponse aux chocs pour le degré de protection de base et le degré de protection « 3 bar »

Les spectres de réponse aux chocs représentés dans la figure 3 sont basés sur les valeurs maximales suivantes de stimulation du point de base (mouvement du support) :

Stimulation du point de base	Degré de protection de « base »	Degré de protection « 3 bar »
Déplacement maximum	s_{max} 0,10 m	0,25 m
Vitesse maximale	v_{max} 1,0 m/s	1,6 m/s
Accélération maximale	a_{max} 125 m/s ² (≈ 12,5 g)	160 m/s ² (≈ 16,0 g)

3 Vérification de la résistance aux chocs

3.1 Degré de protection

La résistance aux chocs des éléments montés peut être vérifiée au moyen d'un test pratique (voir 3.2) et/ou d'un calcul de la résistance des fixations (voir 3.3) pour le degré de protection de base ou « 3 bar ». Les éléments montés pour lesquels la résistance aux chocs a été vérifiée pour le degré de protection « 3 bar » répondent également aux exigences du degré de protection de base des ouvrages de protection civile.

3.2 Test pratique de résistance aux chocs

Pour le test pratique de résistance aux chocs, l'élément à tester est soumis à la charge de choc définie à l'aide d'une installation d'essais de chocs. L'élément monté est fixé à cet effet sur la plate-forme de test de l'installation. Cette dernière est ensuite accélérée de façon à atteindre les valeurs maximales de stimulation du point de base d'après la section 2.3.

Les éléments montés sont en principe soumis à six tests de choc de telle sorte que l'accélération agisse sur l'élément monté dans les trois directions spatiales, respectivement en sens positif et négatif $\pm x$, $\pm y$, $\pm z$ (fig. 4). Les directions et le nombre des tests sont déterminés par l'organisme de test. Si la direction des charges horizontales (x , y) est sans importance, par exemple pour des éléments montés symétriques, l'organe de contrôle peut décider de réaliser les essais dans une seule direction.

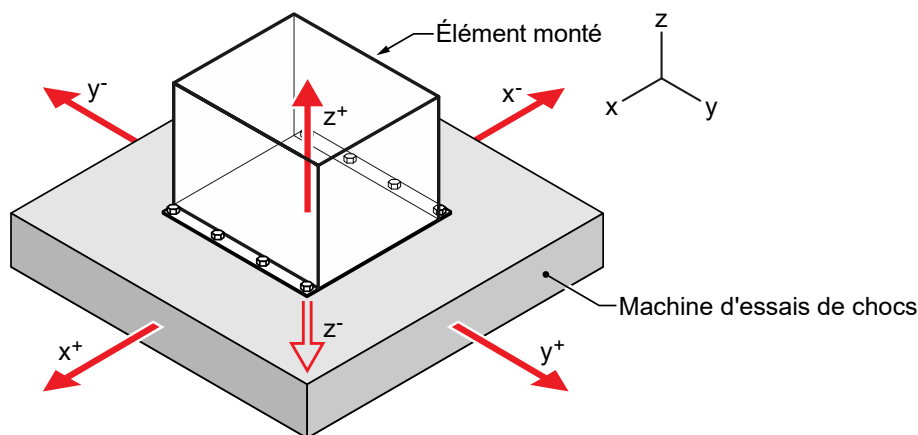


Fig. 4 Test pratique de résistance avec charge de choc dans toutes les directions spatiales $\pm x$, $\pm y$, $\pm z$

Si cela a une importance pour la vérification de la résistance aux chocs et de l'aptitude fonctionnelle de l'élément monté, celui-ci doit être testé en configuration de fonctionnement et avec tous ses accessoires, en particulier les éventuels amortisseurs de vibrations ou isolations antichoc prévus.

Dans le cas d'éléments montés sur ressorts ou amortisseurs, on détermine les déplacements ou les trajectoires d'oscillation se produisant sous l'effet du choc. Afin d'éviter de heurter d'autres composants ou d'arracher des connexions en cas de choc, les déformations maximales susceptibles de se produire doivent être prises en compte. La marge nécessaire par rapport aux composants de l'ouvrage de protection (généralement les murs) ou aux éléments montés adjacents, ainsi que la flexibilité requise au niveau des connexions de tuyaux et de câbles sont déterminées sur la base de ces mouvements relatifs.

Si possible, les éléments montés doivent être testés en configuration de fonctionnement. En concertation avec l'organe de contrôle, le demandeur doit prendre les dispositions nécessaires à cet effet. Pour la plupart des éléments montés, l'organe de contrôle dispose de l'infrastructure nécessaire au fonctionnement des éléments testés et notamment d'une alimentation électrique performante.

3.3 Calcul justificatif de résistance des fixations

3.3.1 Procédure

Pour le test pratique de résistance (voir section 3.2), les éléments montés sont fixés sur la plateforme de l'installation d'essais de chocs à l'aide de vis en acier. Dans les ouvrages de protection civile cependant, la fixation se fait presque exclusivement avec des systèmes de tampons ou d'ancrage dans le béton. La fixation des éléments montés n'étant donc pas testée lors des essais de chocs expérimentaux, sa résistance doit être vérifiée aux moyens de calculs.

Pour justifier mathématiquement de la résistance des fixations, les forces de fixation survenant en cas de choc sont calculées. À cet effet, les forces dynamiques agissant sur les éléments montés en cas de choc sont prises en compte en tant que charges statiques de remplacement (F). Conformément aux directions possibles d'un impact de choc, les charges statiques de remplacement doivent toujours être appliquées dans toutes les directions spatiales ($\pm F_x$, $\pm F_y$, $\pm F_z$) (fig. 5).

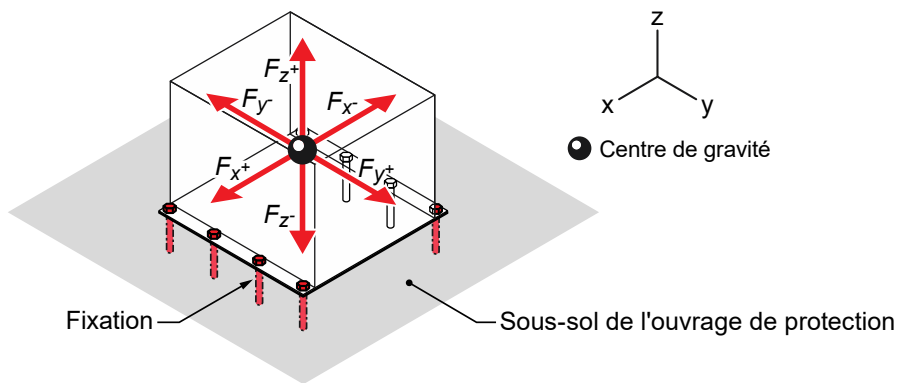


Fig. 5 Calcul justificatif de résistance des fixations avec des charges statiques de remplacement agissant dans toutes les directions spatiales $\pm F_x$, $\pm F_y$, $\pm F_z$

Celles qui agissent sur le centre de gravité sont déterminées à l'aide de la masse (m) et de l'accélération (a) de l'élément monté :

$$F = m \cdot a$$

L'accélération (a) ne correspond pas à l'accélération maximale (a_{max}) du support ou du point de base de l'élément monté, mais à l'accélération agissant sur l'élément monté. Cette accélération de réponse peut être déterminée à l'aide du spectre de réponse aux chocs (fig. 3). On constate qu'elle dépend fortement de la fréquence ou du comportement vibratoire de l'élément monté lui-même. L'accélération des éléments montés rigides ou à haute fréquence correspond au double de l'accélération maximale du point de base ($a = 2 \cdot a_{max}$). Avec le degré de protection de base, une accélération de $a = 250 \text{ m/s}^2$ ($\approx 25 \text{ g}$) est par conséquent caractéristique pour les éléments montés ayant une fréquence de base de 25 Hz et plus. Pour les éléments montés de fréquence inférieure, l'accélération est en revanche beaucoup plus faible. Avec une fréquence propre de 10 Hz, elle n'est par exemple plus que d'environ 90 m/s^2 ($\approx 9 \text{ g}$) pour la protection de base.

3.3.2 Calcul justificatif simplifié

Étant donné que le comportement vibratoire propre à un élément monté est souvent inconnu et/ou afin d'éviter de complexes calculs de vibration, les fixations antichoc peuvent faire l'objet d'un calcul justificatif simplifié conformément au chapitre 8. La charge statique de remplacement (F) est alors calculée avec l'accélération maximale de stimulation du point de base (a_{max}). Afin de prendre en compte le comportement vibratoire propre de l'élément monté ou sa réponse aux chocs, cette accélération est multipliée par le coefficient de majoration pour actions dynamiques (FCD).

$$F = m \cdot a_{max} \cdot FCD$$

4 Résistance aux chocs des éléments montés

4.1 Exigences générales

Selon leur finalité et leur fonction – vie et séjour dans l'ouvrage de protection, sécurité NBC des occupants, autres fonctions des installations de protection – les éléments montés doivent répondre aux exigences suivantes en matière de résistance aux chocs :

1. Les éléments montés essentiels à la **survie dans l'ouvrage de protection** ne doivent subir aucune interruption de fonctionnement due à la charge de choc et doivent rester pleinement fonctionnels après cette dernière.
2. Les systèmes de ventilation ne tolèrent par exemple aucune perturbation ou restriction telle qu'une diminution de performance des ventilateurs, des fuites dans le réseau de canalisations ou des pertes de pression importantes au niveau des vannes, des clapets ou des orifices. Les petites déformations, par exemple dans les conduits d'air, ne sont autorisées qu'à condition que les conduits restent étanches et que la résistance à l'écoulement ne soit pas augmentée.
3. Dans le cas des éléments montés nécessaires pour **séjourner et vivre dans l'ouvrage de protection** de façon autarcique, mais dont un défaut ne menace pas directement la survie des occupants, des interruptions de fonctionnement peuvent être tolérées. Ces défauts doivent toutefois être manifestes et décelables même par des non-spécialistes. Par ailleurs, l'élément monté doit pouvoir être remis en service facilement, sans connaissances particulières et sans outils spéciaux. Après la remise en service, l'élément monté doit à nouveau être pleinement fonctionnel.
4. Le fonctionnement d'une pompe à eaux usées peut par exemple être interrompu en raison de la commutation d'un contacteur ou du déclenchement d'un interrupteur à flotteur, à condition que la défaillance soit signalée par une alarme et que la pompe puisse être remise en marche et redevienne pleinement fonctionnelle.
5. Les éléments montés nécessaires au **fonctionnement de l'ouvrage de protection** sont souvent des installations et des équipements de communication et de traitement des données. Conformément à leur importance pour la fonctionnalité du système, ces éléments ne doivent pas subir d'altération de leur fonctionnement en cas de charges de choc. La mesure dans laquelle des interruptions fonctionnelles de courte durée peuvent être tolérées dépend de l'importance de la fonction des éléments et des conséquences d'une interruption de leur activité (p. ex. une perte de données). Les exigences spécifiques de résistance aux chocs de ces éléments montés sont définies par l'OFPP.
6. **Tous les autres éléments** montés, par exemple les réfrigérateurs, qui ne sont pas déterminants pour la survie, la vie et le séjour dans l'ouvrage de protection ou pour le fonctionnement de l'installation, **au sens des exigences minimales**, ne doivent pas nécessairement être résistants aux chocs. Une **résistance aux chocs passive** (chap. 4.3) – une exigence qui s'applique en principe à tous les éléments d'un ouvrage de protection – doit néanmoins être garantie.

Conséquences des charges de chocs	Fonction et finalité de l'élément monté dans l'ouvrage de protection			
	1 Survie	2 Vie/séjour	3 Fonctionnement de l'ouvrage	4 Autres
Perte de fonction, défaillance	non admissible	non admissible	non admissible	admissible (résistance aux chocs passive)
Interruption/perturbation de fonctionnement	non admissible	admissible, si aisément réparable	selon directives OFPP	admissible (résistance aux chocs passive)
Diminution de performance	non admissible	admissible sous conditions	non admissible	admissible (résistance aux chocs passive)

Tab. 1 Exigences générales de résistance aux chocs des éléments montés

4.2 Fixations antichoc

Les systèmes d'ancrage et de tampons adaptés aux fixations antichoc sont capables d'absorber les charges de choc même dans des supports en béton fortement fissurés. Afin de vérifier la résistance aux chocs des systèmes de fixation, l'organe de contrôle effectue par conséquent des essais de chocs spéciaux avec des tampons dans du béton fissuré. Les systèmes d'ancrage/de tampons testés qui répondent aux critères d'essai et d'homologation définis se voient délivrer par l'OFPP une homologation pour la fixation antichoc dans les ouvrages de protection.

Seuls les systèmes d'ancrage ou de tampons homologués par l'OFPP sont admis pour la fixation antichoc d'éléments montés d'une **masse supérieure à 10 kg**. Les éléments secondaires, non nécessaires à la survie et au fonctionnement de l'ouvrage de protection civile, peuvent également être montés avec des fixations non homologuées ou montés sans fixation. La résistance contre les chocs passive (chap. 4.3) doit néanmoins être garantie à tout moment.

4.3 Résistance aux chocs passive

4.3.1 Définition

Les éléments qui ne sont pas nécessaires à la vie dans l'ouvrage de protection et/ou au fonctionnement de celui-ci, ou qui ne sont que d'importance secondaire, peuvent être endommagés en cas de choc et subir des perturbations ou des interruptions de fonctionnement. La résistance aux chocs dite passive doit garantir que les éléments montés ne mettent pas en danger les personnes ou d'autres éléments vitaux. Il s'agit là d'une exigence minimale, qui doit être respectée par l'ensemble des éléments montés dans des ouvrages de protection.

- En cas de choc, les **éléments non fixés** se déplacent par rapport à l'ouvrage de protection. Pour évaluer les risques liés aux éléments montés, conformément aux valeurs de choc normées (voir section 2.3), on suppose que ce déplacement atteint au maximum s_{max} et que l'élément ne dépasse pas la vitesse maximale de v_{max} .
- Les **éléments fixés** d'une masse supérieure à 10 kg satisfont aux exigences de résistance aux chocs passive s'ils sont fixés à l'aide de tampons homologués et ont fait l'objet d'un calcul justificatif. En cas de fixations avec des tampons non homologués, l'élément doit être considéré comme non fixé.

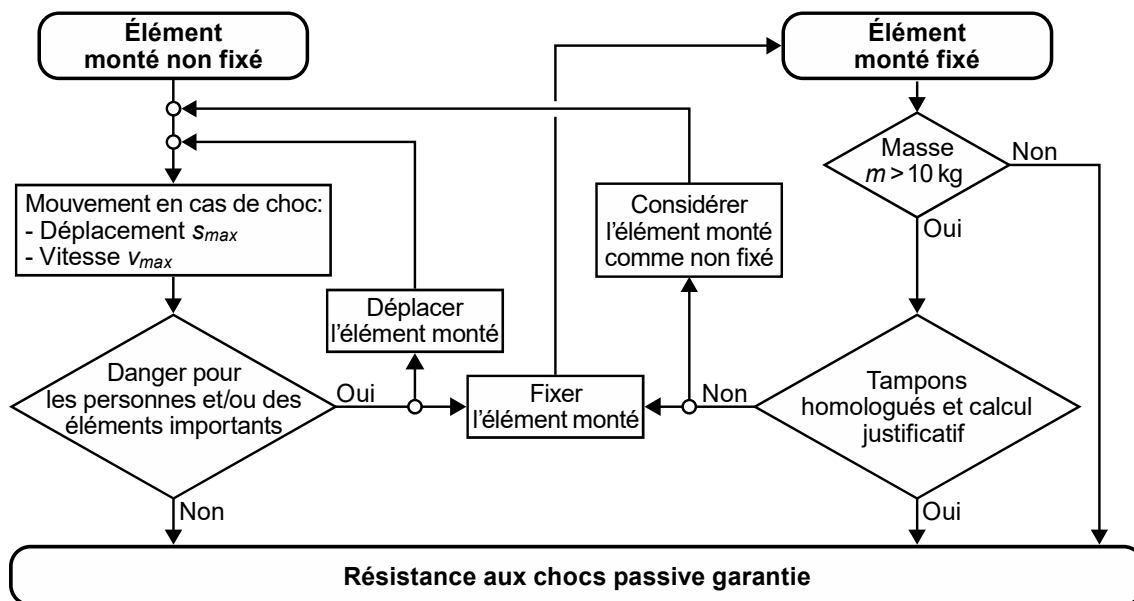


Fig. 6 Assurer une résistance aux chocs passive

4.3.2 Exemples

Divers exemples d'évaluation de la résistance aux chocs passive sont représentés dans la figure 7 ci-après :

La résistance aux chocs passive des éléments non fixés est garantie si aucune personne ou aucun élément vital n'est mis en danger par le déplacement maximal (s_{max}) de l'élément monté en cas de choc. En particulier dans le cas de structures et d'armoires hautes et étroites non fixées, le déplacement du centre de gravité peut entraîner un basculement et donc un risque pour les personnes (a) et/ou des éléments montés vitaux (b).

En cas d'installations ou de plafonds suspendus (c), la résistance aux chocs passive est garantie si, malgré les dommages subis en cas de choc, aucune pièce ne se détache de la structure du plafond et ne risque de chuter sur des personnes et/ou des éléments essentiels d'un point de vue fonctionnel.

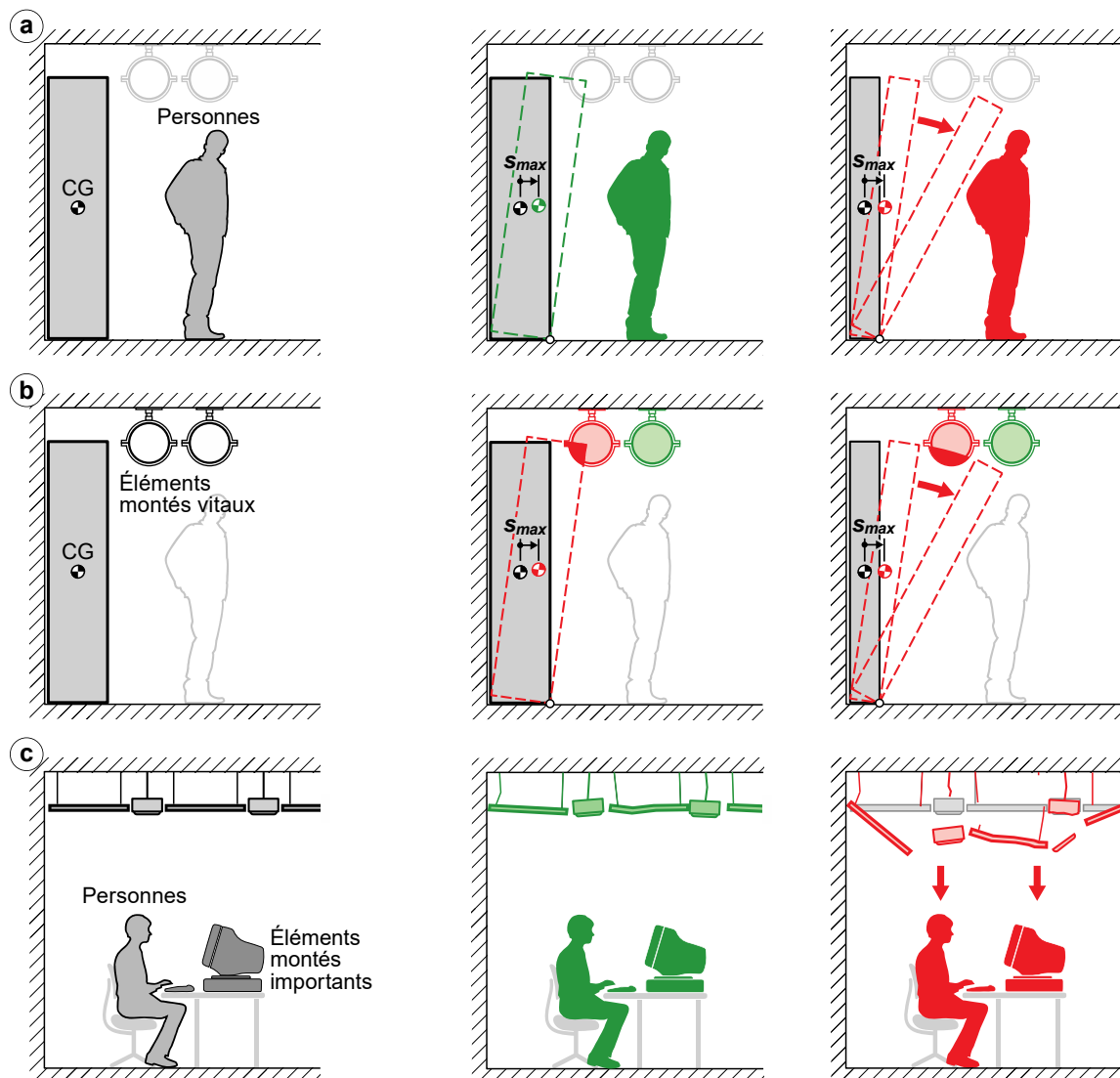


Fig. 7 Exemples d'évaluation de la résistance aux chocs passive (CG = centre de gravité)
Résistance aux chocs passive: ■ garantie ■ non garantie

5 Test et homologation des éléments montés

5.1 Obligation de test

Selon leur fonction et l'utilisation prévue, les éléments montés dans les ouvrages de protection doivent être réalisés et fixés de manière à résister aux chocs. Le contrôle et l'évaluation de la résistance aux chocs, ainsi que l'attribution d'homologations relèvent de la compétence de l'OFPP. L'obligation de test est également déterminée par l'OFPP :

- **Éléments soumis à approbation (chap. 5.2)**
La résistance aux chocs des éléments soumis à approbation fait l'objet de vérifications spécifiques de l'OFPP, sous forme d'essais de chocs pratiques et/ou d'évaluations techniques. Les éléments montés résistants aux chocs bénéficient d'une homologation par l'OFPP.
- **Éléments non soumis à approbation (chap. 5.3)**
Les éléments dont la résistance aux chocs est garantie sur la base de règles de conception et de montage spécifiées par l'OFPP ne sont pas soumis à une obligation de test. Les éléments non soumis à approbation ne font pas l'objet d'une homologation par l'OFPP.

Indépendamment de l'obligation de test, la résistance aux chocs passive doit être garantie pour tous les éléments montés dans des ouvrages de protection (voir section 4.3).

5.2 Éléments soumis à approbation

La résistance aux chocs de l'ensemble des éléments soumis à approbation est contrôlée et évaluée par l'OFPP. Pour les éléments montés répondant aux exigences de conception et de fixation antichoc, l'OFPP délivre une homologation. La procédure de contrôle et d'homologation est illustrée dans la figure 8 ci-après :

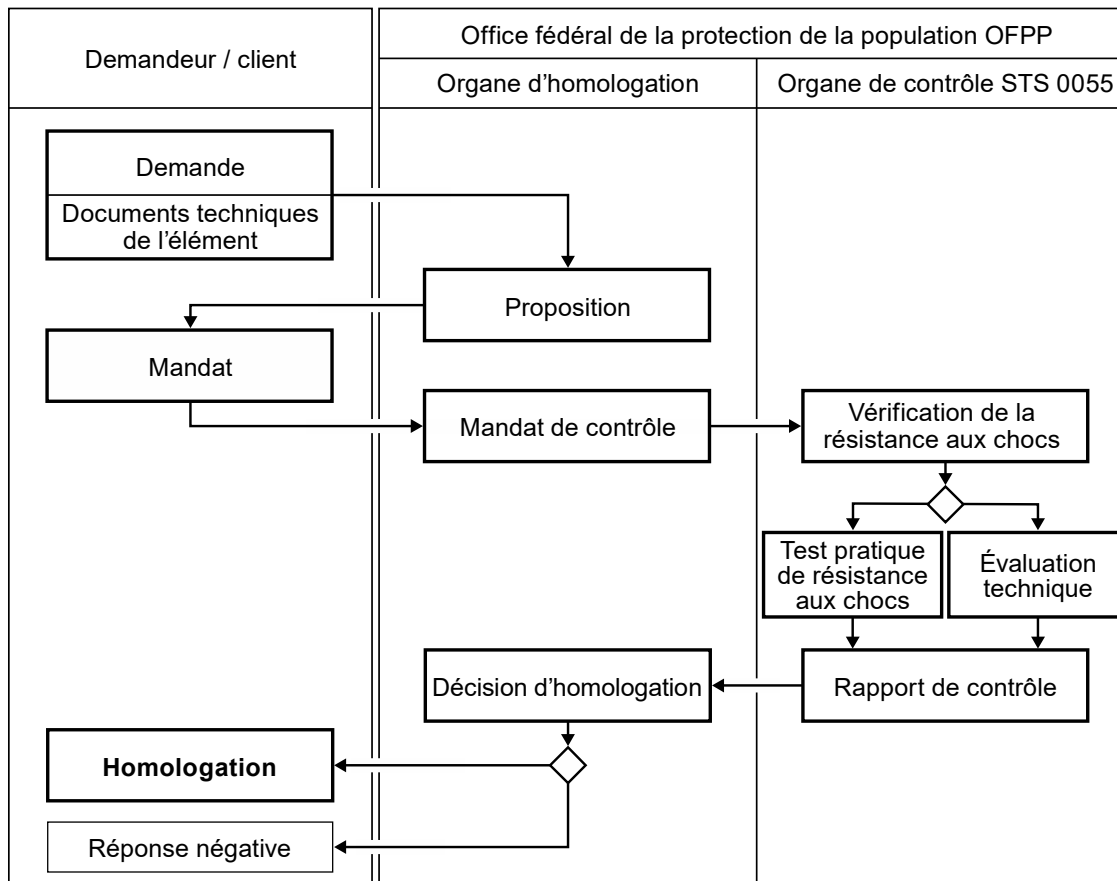


Fig. 8 Procédure et responsabilités pour l'homologation des éléments soumis à approbation

La procédure de contrôle et d'homologation des éléments soumis à approbation et les responsabilités correspondantes, schématisées dans la figure 8, sont résumées ci-après :

- Si le fabricant ou le fournisseur d'un élément monté souhaite obtenir une homologation de résistance aux chocs, il doit déposer une demande d'essais de choc correspondante auprès de l'organe d'homologation de l'OFPP. Parallèlement à sa demande, il doit fournir à ce dernier l'ensemble de la documentation technique relative à l'élément concerné, en vue des tests et de l'évaluation.
- Sur la base des documents transmis, l'organe d'homologation élabore une proposition à l'intention du demandeur. Celui-ci peut alors mandater l'organe d'homologation pour procéder au contrôle. L'organe d'homologation charge à son tour l'organe de contrôle STS 0055 de tester la résistance aux chocs de l'élément monté.
- Le mode de test et son ampleur sont déterminés par l'organe de contrôle sur la base de son expérience. La vérification de la résistance aux chocs peut prendre la forme d'un test de choc pratique, d'une évaluation technique de la résistance aux chocs ou d'une combinaison de ces deux méthodes. Dans le cas de séries d'éléments de même type – par exemple, des éléments de différentes tailles mais de structure identique – l'ampleur des tests est déterminée par l'organe de contrôle.
- Les résultats des tests de résistance aux chocs sont documentés de manière détaillée par l'organe de contrôle dans un rapport de contrôle. Dans ce rapport sont consignés, entre autres, les paramètres de contrôle, les conditions d'installation et de fonctionnement, ainsi que les conséquences des charges de choc constatées et mesurées sur les éléments.
- L'organe d'homologation fonde sa décision d'accorder l'homologation sur le rapport de contrôle, en tenant compte de la recommandation des organes de contrôle. En cas de décision favorable, le demandeur se voit remettre une attestation d'homologation, grâce à laquelle l'élément testé peut être monté dans des ouvrages de protection.

Des informations détaillées concernant les documents techniques à fournir par le demandeur, les composants à fournir pour les essais, les instructions de montage et la plaque signalétique, ainsi que les règles relatives à la gestion de la qualité sont fournies dans le chapitre 7.

5.3 Éléments non soumis à approbation

La résistance aux chocs des éléments non soumis à approbation n'est pas vérifiée au cas par cas par l'OFPP et aucune homologation n'est délivrée pour ces éléments montés. Afin de garantir la résistance aux chocs des éléments non soumis à approbation, l'OFPP publie des prescriptions spéciales de construction et de montage, d'après lesquelles les éléments intégrés doivent être réalisés et fixés. Ces prescriptions de construction et de montage sont documentées dans l'annexe A2.

6 Fixations antichoc

6.1 Méthodes de fixation

La fixation antichoc des éléments montés dans les ouvrages de protection peut être réalisée selon différentes méthodes. On distingue en principe les types de fixation suivants :

- Fixations posées a posteriori :
Tampons (ancrages) posés a posteriori (après bétonnage) dans des trous percés dans le béton.
- Fixations incorporées :
Éléments incorporés, tels que des rails d'ancrage, des plaques d'ancrage ou des cadres, qui sont insérés dans le coffrage avant le coulage du béton. Les éléments incorporés sont ancrés dans le support en béton par des goujons soudés à tête saillante ou des pattes.

Les profilés ou les rails de montage fixés directement à la surface en béton à l'aide de tampons sont soumis aux exigences définies dans la section 6.2.

6.2 Fixations par tampons (posées a posteriori)

Pour les fixations antichoc qui sont installées a posteriori par perçage du béton armé, les systèmes de tampons utilisés doivent bénéficier d'une homologation de l'OFPP en cours de validité.

La sécurité structurale des fixations par tampons en cas de choc doit faire l'objet de calculs justificatifs conformément à la section 3.3. Un exemple de calcul justificatif simplifié peut être consulté dans la section 8.3. La valeur de dimensionnement de la résistance aux chocs $R_{d,shock}$ de la fixation par tampon issue de l'homologation de l'OFPP est déterminante pour le calcul justificatif.

Lors du montage de fixations par tampons résistantes aux chocs, les valeurs caractéristiques ci-après, définies par l'homologation de l'OFPP, doivent être respectées (fig. 9) :

- Profondeur d'ancrage :
Les tampons doivent être intégrés et ancrés suffisamment profondément dans le béton de la structure. La profondeur d'ancrage effective h_{ef} doit également être respectée lors du montage sur des couches de finition, telles que des revêtements en ciment, des chapes ou des isolants, et l'épaisseur du revêtement doit être prise en compte lors du choix de la longueur des tampons ou de la hauteur de fixation t_{fix} .
- Entraxe :
Lors de la fixation d'un élément avec plusieurs tampons (groupe de tampons), l'entraxe minimal s_{min} spécifié dans l'homologation de l'OFPP doit être respecté.
- Couple de serrage :
Les tampons doivent être ancrés en respectant le couple de serrage spécifié T_{inst} .

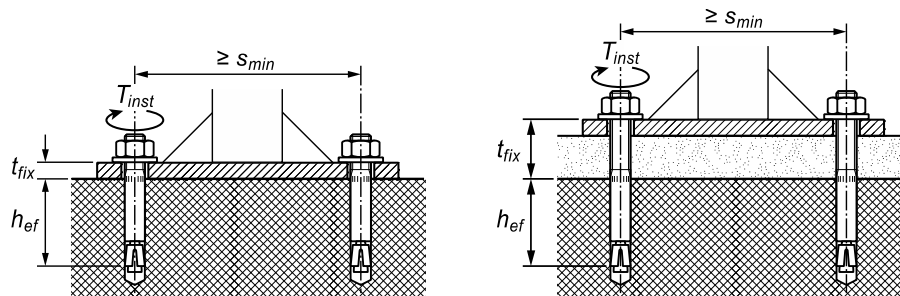


Fig. 9 Valeurs caractéristiques de montage

Par ailleurs, les instructions de montage du fabricant doivent être respectées. Cela concerne en particulier la réalisation et le nettoyage du trou de forage, ainsi que l'utilisation et la mise en œuvre du mortier composite dans le cas de systèmes d'ancrage composites.

6.3 Fixations incorporées

En particulier avec les ancrages à goujons soudés à tête saillante, les éléments incorporés permettent généralement d'absorber de lourdes charges. L'utilisation efficace de fixations incorporées nécessite toutefois une coordination et une planification précises et précoces.

Dans les ouvrages de protection, les fixations incorporées sont autorisées si les systèmes utilisés sont éprouvés et peuvent être dimensionnés par des ingénieurs. C'est par exemple le cas des rails d'ancrage pour lesquels un agrément technique européen (ATE) est disponible. Les goujons à tête saillante sont en principe dimensionnés de la même manière que les tampons posés a posteriori. Le dimensionnement est effectué conformément aux normes suisses (SIA) et aux directives européennes applicables.

Le dimensionnement des fixations incorporées est effectué d'après la charge statique de remplacement, déterminée au centre de gravité de l'élément antichoc monté, conformément à la section 3.3.

Le calcul justificatif ainsi que les plans d'installation et d'armature avec les éléments incorporés indiqués doivent être soumis à l'OFPP pour examen et approbation. Le positionnement et l'exécution corrects des éléments incorporés dans le coffrage sont vérifiés dans le cadre du contrôle d'armature, avant le coulage du béton.

Le scellement ultérieur de fixations dans des évidements est uniquement autorisé si l'évidement scellé est solidement lié à la structure en béton par des armatures de liaison et si le transfert des forces a été vérifié par calcul. Pour la vérification, la charge statique de remplacement basée sur la masse de l'élément fixé et la masse du béton dans l'évidement sont déterminantes (voir aussi 6.4).

6.4 Ancrage de socles en béton

La vérification de la fixation antichoc d'éléments montés sur des socles en béton doit être effectuée avec la charge statique de remplacement (F), dépendante de la masse de l'élément monté (m_E) et déterminante en cas de choc, si le socle est armé et relié de façon monolithique à l'ouvrage de protection (radier) (fig. 10a).

Les socles bétonnés a posteriori doivent être reliés solidement au radier à l'aide de raccords d'armature. La résistance des raccords d'armature doit être vérifiée par calcul, en tenant compte de la masse totale de l'élément monté et du socle ($m_{tot} = m_E + m_S$) pour la charge de choc (charge statique de remplacement F) (fig. 10b).

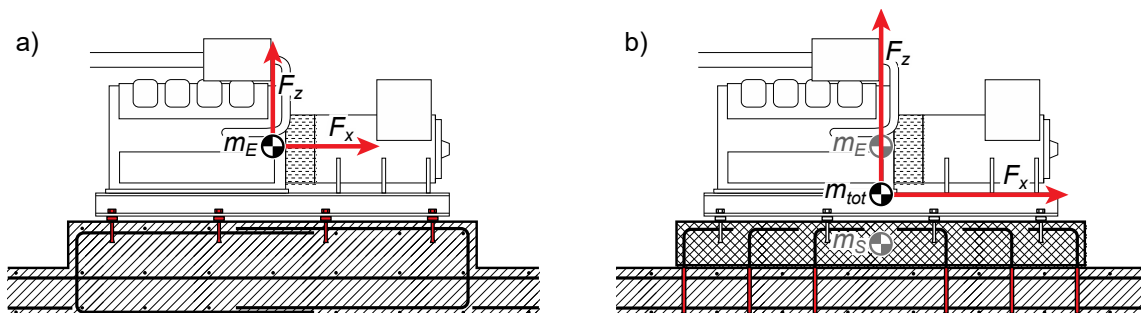


Fig. 10 Effet de choc déterminant pour la vérification avec un socle en béton a) raccordé de façon monolithique et b) bétonné ultérieurement

7 Test et homologation des éléments soumis à approbation

7.1 Test pratique de résistance aux chocs

Les éléments soumis à un test pratique (expérimental) de résistances aux chocs doivent être mis à la disposition de l'organe de contrôle STS 0055 gratuitement par le demandeur. L'OFPP décline toute responsabilité pour les dommages causés aux éléments lors des tests.

Si possible, pour les essais pratiques de résistance aux chocs, les éléments sont testés en configuration de fonctionnement. En concertation avec l'organe de contrôle, le demandeur doit donc équiper les éléments avec les raccords nécessaires à leur fonctionnement, par exemple pour l'électricité ou l'eau de refroidissement. Le cas échéant, l'organe de contrôle peut exiger du demandeur l'assistance d'un spécialiste pour le contrôle de montage et de fonctionnement de l'élément monté.

Si, sur la base de sa longue expérience, l'organe de contrôle identifie sur l'élément des points faibles en matière de résistance aux chocs, ceux-ci peuvent être communiqués au demandeur avant même la réalisation des essais pratiques. En concertation avec le demandeur, des ajustements techniques (p. ex. des renforcements) peuvent alors être effectués.

7.2 Documents techniques

En vue des tests de résistance aux chocs des éléments soumis à approbation, le demandeur doit transmettre des documents techniques à l'organe d'homologation de l'OFPP. Ces documents comprennent le descriptif technique de l'élément monté, les instructions de montage résistant aux chocs et le calcul justificatif de fixation antichoc (calcul d'ancrage).

7.2.1 Descriptif technique

Le descriptif technique de l'élément monté doit permettre son identification sans équivoque. La structure et la fonction de l'élément monté doivent être précisées dans le descriptif technique. Les documents requis pour le descriptif technique peuvent comprendre des données de performance, des manuels d'utilisation, des dessins techniques, des schémas et des listes de pièces. Ils doivent si possible être soumis sous forme électronique.

7.2.2 Instructions de montage résistant aux chocs

Le demandeur doit élaborer des instructions spécifiques au montage antichoc de l'élément. Les instructions de montage doivent permettre d'identifier l'élément monté sans équivoque et les conditions de mise en place et d'installation homologuées pour un montage antichoc doivent être définies :

- Identification de l'élément monté
(marque, série, taille de l'appareil, désignation de type, etc.)
- Lieu d'installation
(sol, paroi, plafond, socle en béton, support, etc.)
- Marge de mouvement
(distance minimale requise par rapport aux murs ou autres éléments montés)
- Raccords sur l'élément monté
(déplacements relatifs, oscillations, raccords flexibles, etc.)
- Amortisseurs de vibrations et de chocs
(les moyens d'amortissement des éléments montés font partie intégrante des essais)

Outre les informations relatives à la mise en place et à l'installation, les instructions de montage doivent notamment aussi comporter des indications nécessaires à la fixation antichoc de l'élément monté :

- Fixations par tampons (posées a posteriori) :
 - système, marque, type, taille des tampons ou
 - résistance aux chocs admissible du système de tampon homologué mis en œuvre
 - nombre de tampons nécessaires pour la fixation
- Fixations incorporées :
 - système (rail d'ancrage, plaque d'ancrage, cadre)
 - dessin détaillé des éléments incorporés
 - indications sur le raccordement de la fixation à l'élément incorporé (visserie générale, vis à tête rectangulaire fournies avec le rail d'ancrage, etc.)

7.2.3 Calcul justificatif de résistance des fixations

La résistance aux chocs des fixations recommandées dans les instructions de montage (7.3.1) pour des éléments soumis à approbation doit systématiquement faire l'objet d'un calcul justificatif. Le calcul justificatif des fixations (calcul d'ancrage) fait partie intégrante de la documentation technique que le demandeur doit fournir à l'organe d'homologation de l'OFPP.

Un calcul justificatif des fixations est en principe nécessaire aussi bien pour les fixations par tampons que pour les fixations incorporées. Les bases de l'élaboration du calcul justificatif sont décrites dans le chapitre 3.3. Un exemple de calcul justificatif simplifié pour les fixations par tampons peut être consulté dans la section 8.3.

7.3 Livraison et montage de l'élément

La livraison d'éléments approuvés est assurée par le titulaire de l'homologation (fabricant, fournisseur). Ce dernier doit fournir avec l'élément les instructions de montage correspondantes (7.3.1) ainsi qu'une plaque signalétique (7.3.3). Dans le cas de nombreux éléments montés spécifiques aux ouvrages de protection, les fixations utilisées pour la fixation antichoc sont également fournies par le titulaire de l'homologation (7.3.2).

L'entrepreneur responsable de l'exécution et du montage doit installer les éléments dans l'ouvrage de protection conformément aux instructions de montage. Les organes de contrôle et d'application compétents vérifient la résistance aux chocs des éléments montés, aussi bien dans le cadre de l'approbation du projet que lors du contrôle des ouvrages de protection.

7.3.1 Instructions de montage

Lors de la livraison d'éléments approuvés, ceux-ci doivent être accompagnés des instructions de montage correspondantes conformément à la section 7.3.1. Les instructions de montage ont un caractère obligatoire pour l'installation et le montage de l'élément monté dans l'ouvrage de protection.

7.3.2 Matériel de fixation

En particulier dans le cas d'éléments montés homologués et d'éléments montés qui sont fixés à des éléments incorporés spécialement conçus à cet effet (par exemple des cadres incorporés), l'ensemble du matériel de fixation est fourni par le titulaire de l'homologation. La livraison des éléments incorporés durant la phase de gros œuvre intervient alors avant la livraison des éléments montés.

7.3.3 Plaque signalétique

Avec tous les éléments montés homologués, le fabricant doit fournir une plaque signalétique conformément aux « Instructions techniques concernant les plaques signalétiques et les instructions de montage, de service et d'entretien des éléments soumis à l'approbation de l'OFPP ». Lors du montage d'un élément, sa plaque signalétique doit être fixée bien visiblement sur celui-ci ou à côté.

La plaque signalétique doit mentionner le numéro d'homologation et la désignation de l'élément monté (marque, série, taille de l'appareil, désignation de type). Les indications de fixation antichoc (par exemple le type, la taille et le nombre de tampons, la trajectoire d'oscillation) doivent également figurer sur la plaque signalétique.

7.4 Gestion de la qualité

Les instructions techniques « Gestion de la qualité des composants soumis aux essais dans le domaine de la protection civile » régissent la gestion de la qualité pour les composants soumis à approbation, ainsi que la répartition des responsabilités entre l'industrie et l'OFPP. Pour le test et l'homologation d'éléments résistants aux chocs, les aspects suivants entrent en ligne de compte :

- Modèle d'homologation et de surveillance
- Sigle d'homologation
- Durée de validité et prolongation des homologations
- Modifications des homologations
- Surveillance de conformité (audits de produits) des composants homologués
- Facturation des frais de test et questions de responsabilité

8 Calcul justificatif simplifié des fixations antichoc

8.1 Charge statique de remplacement

Si le comportement vibratoire propre de l'élément monté est inconnu et/ou si les calculs de vibration sont trop complexes ou disproportionnés (voir section 3.3.2), la force statique de remplacement (F) agissant au centre de gravité de la masse (m) peut être déterminée de manière simplifiée avec l'accélération maximale du point de base ou du support (a_{max}) et un coefficient de majoration pour actions dynamiques (FCD), à l'aide de la formule suivante :

$$F = m \cdot a_{max} \cdot FCD$$

F charge statique de remplacement [N]

m masse de l'élément monté [kg]

a_{max} accélération maximale du point de base [m/s²] (voir aussi 2.3)

FCD coefficient de majoration pour actions dynamiques [-]

Degré de protection	« base »	« 3 bar »
Accélération maximale du point de base a_{max}	125 m/s ²	160 m/s ²
Coefficient de majoration pour actions dynamiques FCD	1,25	1,60

Le coefficient de majoration pour actions dynamiques FCD permet de prendre en compte l'accélération de réponse de l'élément monté, qui est supérieure à l'accélération du point de base. Pour les éléments montés dont la fréquence de base est inférieure à 16 Hz, le calcul justificatif simplifié avec le FCD spécifié reste prudent, tant pour le degré de protection « de base » que pour le degré de protection « 3 bar ». Comme le montrent les spectres de réponse aux chocs (fig. 3), les accélérations de réponse sont plus faibles pour les éléments montés ayant un comportement vibratoire propre à basse fréquence. Le FCD spécifié ne tient pas suffisamment compte de l'augmentation de la réponse au choc uniquement dans le cas d'éléments très rigides (fréquence de base > 16 Hz). Si possible, les éléments rigides et sensibles doivent cependant être montés sur des amortisseurs.

8.2 Calcul des forces de fixation

Le calcul des forces agissant sur les tampons de fixation de l'élément monté est basé sur la charge statique de remplacement (F) se produisant en cas de choc. La charge statique de remplacement s'applique au centre de gravité de l'élément. Les forces de fixation doivent être déterminées pour des actions dans toutes les directions spatiales ($\pm F_x$, $\pm F_y$, $\pm F_z$) (voir section 3.3).

Pour simplifier le calcul des forces de fixation, on peut supposer que la répartition des charges est idéale, c'est-à-dire répartie de manière égale entre tous les points de fixation. À cet effet, on part du principe que l'élément monté, et en particulier les plaques de base et de fixation, reste rigide et que les forces tant normales (N) que transversales (V) sont réparties uniformément sur l'ensemble des tampons (fig. 11).

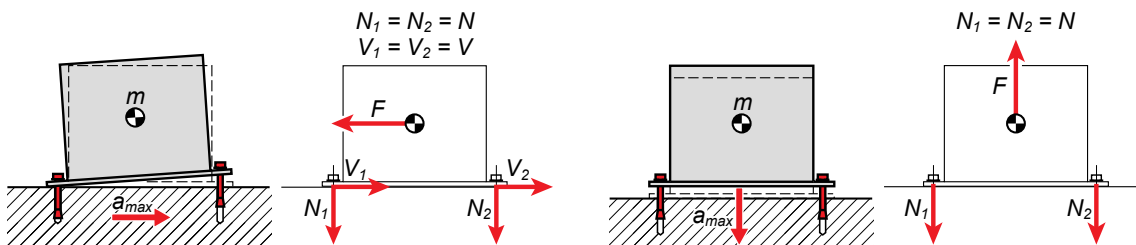
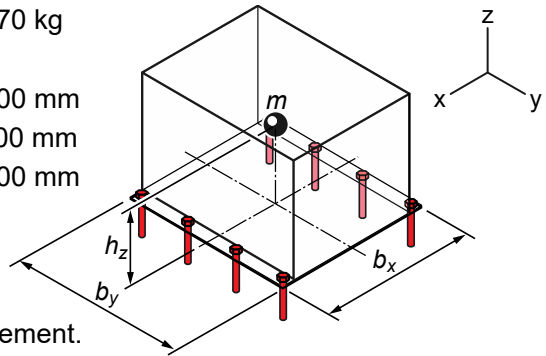


Fig. 11 Forces de fixation avec des éléments idéalement rigides et compensation des charges par une répartition uniforme des forces normales (N) et transversales (V)

8.3 Exemple de calcul justificatif simplifié

Un élément monté d'une masse de 170 kg doit être fixé au sol d'un ouvrage de protection avec le degré de protection « de base » à l'aide de huit tampons, de manière à résister aux chocs.

Masse de l'élément monté	$m =$	170 kg
Fixation au sol :		
– largeur de la plaque de base	$b_x =$	800 mm
– largeur de la plaque de base	$b_y =$	1200 mm
Hauteur du centre de gravité	$h_z =$	600 mm
Nombre de fixations	$n =$	8



Le centre de gravité se situe au centre de la plaque de base de la pièce de montage.
Les fixations (tampons) sont disposées symétriquement.

Charge statique de remplacement F

Degré de protection de base

- Accélération maximale du point de base $a_{max} = 125 \text{ m/s}^2$
- Coefficient de majoration pour actions dynamiques $FCD = 1,25$

$$F = m \cdot a_{max} \cdot FCD$$

$$F = 170 \cdot 125 \cdot 1,25 = 26,6 \text{ kN}$$

Effet de choc dans la direction x

- Charge statique de remplacement F_x

$$F_x = F$$

- Force transversale V_x

Hypothèse : $V_{x,1} = V_{x,2} = \dots = V_{x,n} = V_x$

$$F_x = n \cdot V_x \quad \Leftrightarrow \quad V_x = \frac{F_x}{n}$$

- Force normale N_x

Hypothèse : $N_{x,1} = N_{x,2} = \dots = N_{x,n} = N_x$

Moment d'équilibre :

$$F_x \cdot h_z = N_x \cdot \sum_{i=1}^n x_i$$

Si les fixations sont disposées symétriquement, le calcul du couple peut être simplifié :

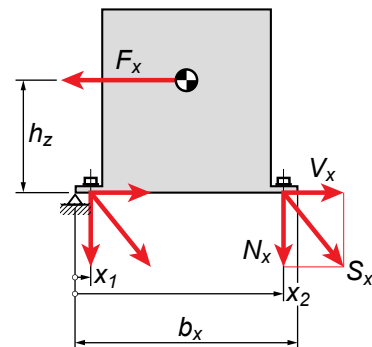
$$F_x \cdot h_z = \frac{n}{2} \cdot N_x \cdot b_x \quad \Leftrightarrow \quad N_x = \frac{2}{n} \cdot \frac{F_x \cdot h_z}{b_x}$$

- Force de traction oblique S_x

Force agissant sur une fixation (addition vectorielle de V_x et N_x)

$$S_x = \sqrt{V_x^2 + N_x^2} = \frac{F_x}{n} \cdot \sqrt{1 + 4 \cdot \left(\frac{h_z}{b_x}\right)^2}$$

$$S_x = \frac{26,6}{8} \cdot \sqrt{1 + 4 \cdot \left(\frac{600}{800}\right)^2} = 6,0 \text{ kN}$$



Effet de choc dans la direction y

- Charge statique de remplacement F_y

$$F_y = F$$

- Force transversale V_y

$$\text{Hypothèse : } V_{y,1} = V_{y,2} = \dots = V_{y,n} = V_y$$

$$F_y = n \cdot V_y \quad \Leftrightarrow \quad V_y = \frac{F_y}{n}$$

- Force normale N_y

$$\text{Hypothèse : } N_{y,1} = N_{y,2} = \dots = N_{y,n} = N_y$$

Moment d'équilibre :

$$F_y \cdot h_z = N_y \cdot \sum_{i=1}^n y_i$$

Si les fixations sont disposées symétriquement, le calcul du couple peut être simplifié :

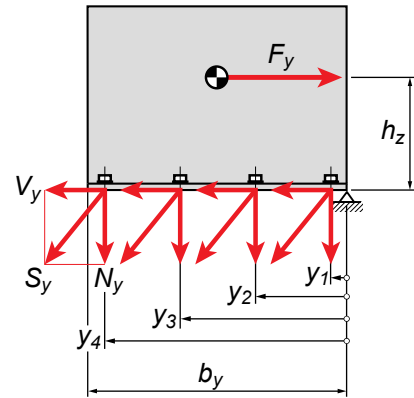
$$F_y \cdot h_z = \frac{n}{2} \cdot N_y \cdot b_y \quad \Leftrightarrow \quad N_y = \frac{2}{n} \cdot \frac{F_y \cdot h_z}{b_y}$$

- Force de traction oblique S_y

Force agissant sur une fixation (addition vectorielle de V_y et N_y)

$$S_y = \sqrt{V_y^2 + N_y^2} = \frac{F_y}{n} \cdot \sqrt{1 + 4 \cdot \left(\frac{h_z}{b_y}\right)^2}$$

$$S_y = \frac{26,6}{8} \cdot \sqrt{1 + 4 \cdot \left(\frac{600}{1200}\right)^2} = 4,7 \text{ kN}$$

**Effet de choc dans la direction z**

- Poids propre de l'élément monté G

$$G = m \cdot g = 170 \cdot 9,81 \approx 1,7 \text{ kN}$$

- Charge statique de remplacement F_z

$$F_{z^+} = F - G = 24,9 \text{ kN} \quad F_{z^-} = F + G = 28,2 \text{ kN}$$

- Force transversale V_z

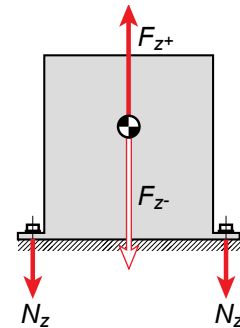
$$V_z = 0$$

- Force normale N_z (la direction +z est déterminante)

$$\text{Hypothèse : } N_{z,1} = N_{z,2} = \dots = N_{z,n} = N_z$$

$$F_{z^+} = n \cdot N_z \quad \Leftrightarrow \quad N_z = \frac{F_{z^+}}{n}$$

$$N_z = \frac{24,9}{8} = 3,1 \text{ kN}$$



Valeur de dimensionnement de l'effet de choc

La valeur de dimensionnement de l'effet de choc $S_{d,shock}$, qui est déterminante pour la vérification de la résistance aux chocs des fixations, correspond à la force de fixation maximale pour les effets de choc dans la direction x, y ou z :

$$S_{d,shock} = \max(S_x, S_y, N_z) = S_x = 6,0 \text{ kN}$$

8.4 Vérification de la résistance aux chocs de la fixation

Les systèmes de tampons homologués par l'Office fédéral de la protection de la population (OFPP) doivent être utilisés pour la fixation antichoc. Les listes avec les systèmes de tampons homologués à cet effet et les valeurs de dimensionnement de la résistance aux chocs des tampons $R_{d,shock}$ peuvent être consultées dans la base de données suivante :

<https://www.zkdb.vbs.admin.ch>

La résistance aux chocs est prouvée si la condition suivante est remplie :

$$R_{d,shock} \geq S_{d,shock}$$

$R_{d,shock}$ valeur de dimensionnement de la résistance aux chocs du tampon

$S_{d,shock}$ valeur de dimensionnement de l'effet de choc sur un tampon

8.5 Aide au calcul

Les schémas ci-dessous représentent des emplacements de fixation fréquents des éléments dans les ouvrages de protection. Pour ces situations, un outil d'aide au calcul des forces de fixation est mis à disposition sur le site de l'Office fédéral de la protection de la population (OFPP) (www.babs.admin.ch). Les feuilles de calcul basées sur Excel peuvent être téléchargées via le lien suivant :

[Calcul justificatif simplifié des fixations antichoc \(2018\)](#)

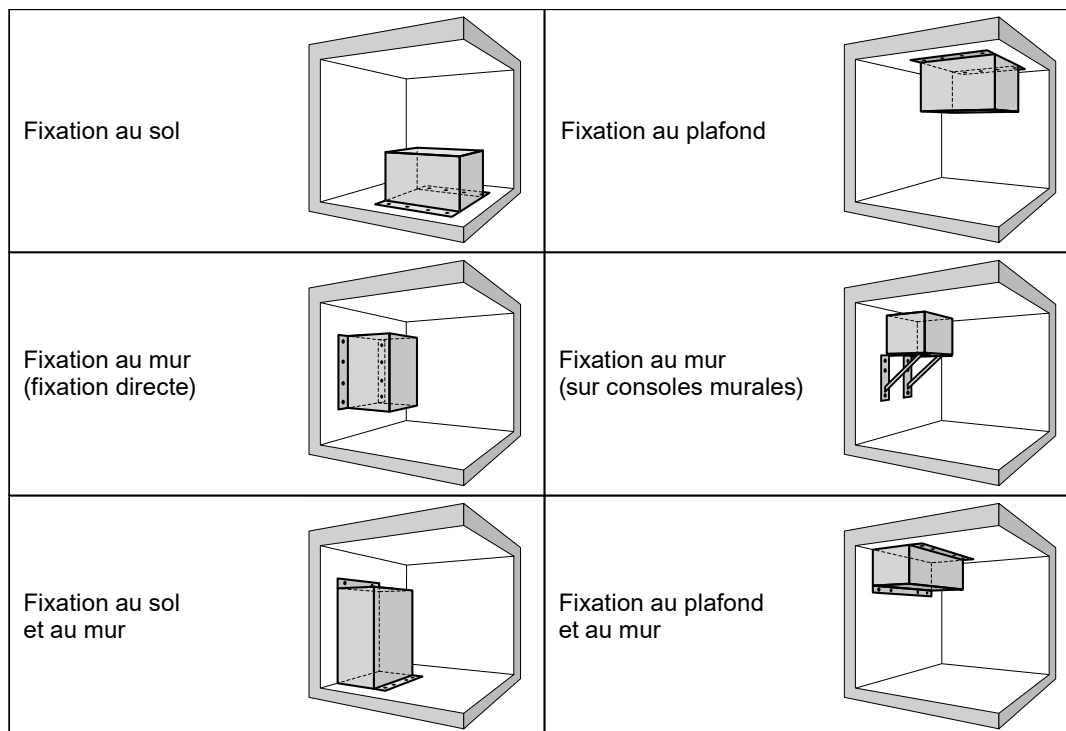


Fig. 12 Types de fixation des éléments montés dans les ouvrages de protection pour lesquels une aide est disponible pour le calcul justificatif simplifié des fixations antichoc

9 Mouvement relatif des éléments non fixés

La charge brutale exercée sur la surface du sol du fait de la surpression engendrée par l'onde de choc aérienne d'une arme A entraîne une sollicitation violente du sous-sol (onde de choc terrestre induite) qui soumet l'ensemble de l'ouvrage de protection à une brusque secousse (voir section 2.2). Les forces d'inertie agissant dans un tel cas sur les éléments non fixés font que l'ouvrage de protection bouge par rapport aux éléments montés. Pour ce mouvement relatif, les valeurs de choc normées ou valeurs maximales de stimulation du point de base (mouvement du support) selon la section 2.3 sont déterminantes :

Degré de protection	« base »	« 3 bar »
Déplacement maximum relatif s_{max}	0,10 m	0,25 m
Accélération maximale a_{max}	12,5 g	16,0 g

En fonction de la hauteur du centre de gravité de la masse, de la taille de la surface portante et de la friction statique qui s'exerce sur la surface portante, les éléments non fixés se renversent ou glissent en cas d'effets de choc. Le déplacement relatif du centre de gravité correspond au déplacement maximal relatif s_{max} de l'ouvrage de protection. Les mouvements relatifs d'un élément non fixé en cas de déplacement horizontal de l'ouvrage de protection sont représentés schématiquement dans la figure 13:

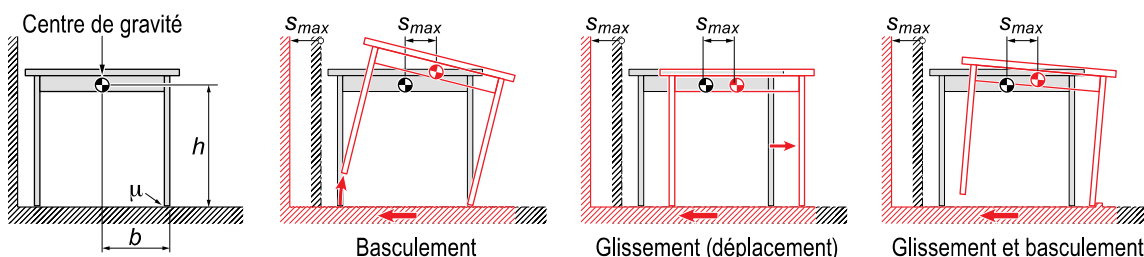


Fig. 13 Mouvement des éléments non fixés en cas de déplacement horizontal de l'ouvrage de protection

Comme la force d'impact agissant au centre de gravité de la masse (charge statique de remplacement F , section **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) est bien plus forte que le poids propre de l'élément monté, les éléments non fixés basculent ou glissent toujours en cas d'effets de choc. Un mouvement de bascule ne peut guère être suivi d'un glissement, de même qu'un glissement ne risque guère d'être suivi d'un basculement. Un glissement et un basculement ne peuvent se produire de manière combinée que lorsqu'un élément qui glisse vient heurter un gradin ou une butée au sol.

L'élément bascule si la taille de la surface portante par rapport à la hauteur du centre de gravité (b/h) est inférieure au coefficient de friction statique μ :

- basculement : $b/h < \mu$

L'élément glisse si la taille de la surface portante par rapport à la hauteur du centre de gravité (b/h) est supérieure au coefficient de friction statique μ :

- glissement : $b/h > \mu$

Les coefficients de frottement déterminants pour le glissement au sol dépendent des matériaux et de la surface du sol et de la surface d'appui de l'élément monté. Ils sont en général très divergents. Les valeurs directrices pour le coefficient de friction statique μ sont indiquées dans le tableau 2 ci-après.

Force de friction statique	Exemples	Coefficient de friction statique
Faible	Planchers en céramique, plaques en acier	$\mu = 0,2$
Moyenne	Béton lisse (peint), revêtements de sol en plastique	$\mu = 0,3$
Assez élevée	Béton d'enrobage brut (non peint)	$\mu = 0,4$
Élevée	Tapis caoutchouc, tapis antidérapant	$\mu = 0,5$

Tab. 2 Grandeurs approximatives des coefficients de friction statique

En se basant sur l'emplacement du centre de gravité, et même si le coefficient de la force de friction n'est pas connu, on sait souvent si un élément va basculer ou glisser en cas d'effets de choc. Par ailleurs, comme il doit toujours être calculé à l'aide du déplacement maximum relatif s_{max} , il est rarement déterminant, même dans des cas limites (p. ex. $b/h \approx 1/3$), que celui-ci se produise par basculement ou par glissement.

La figure 14 ci-après présente une vue d'ensemble exhaustive de tous les cas. Elle montre que le centre de gravité des éléments non fixés mobiles en cas d'effets de choc se déplace toujours de s_{max} par rapport à l'ouvrage de protection. Seuls les éléments montés dont le centre de gravité est très proche de l'arête de basculement ($b < s_{max}$) basculent complètement.

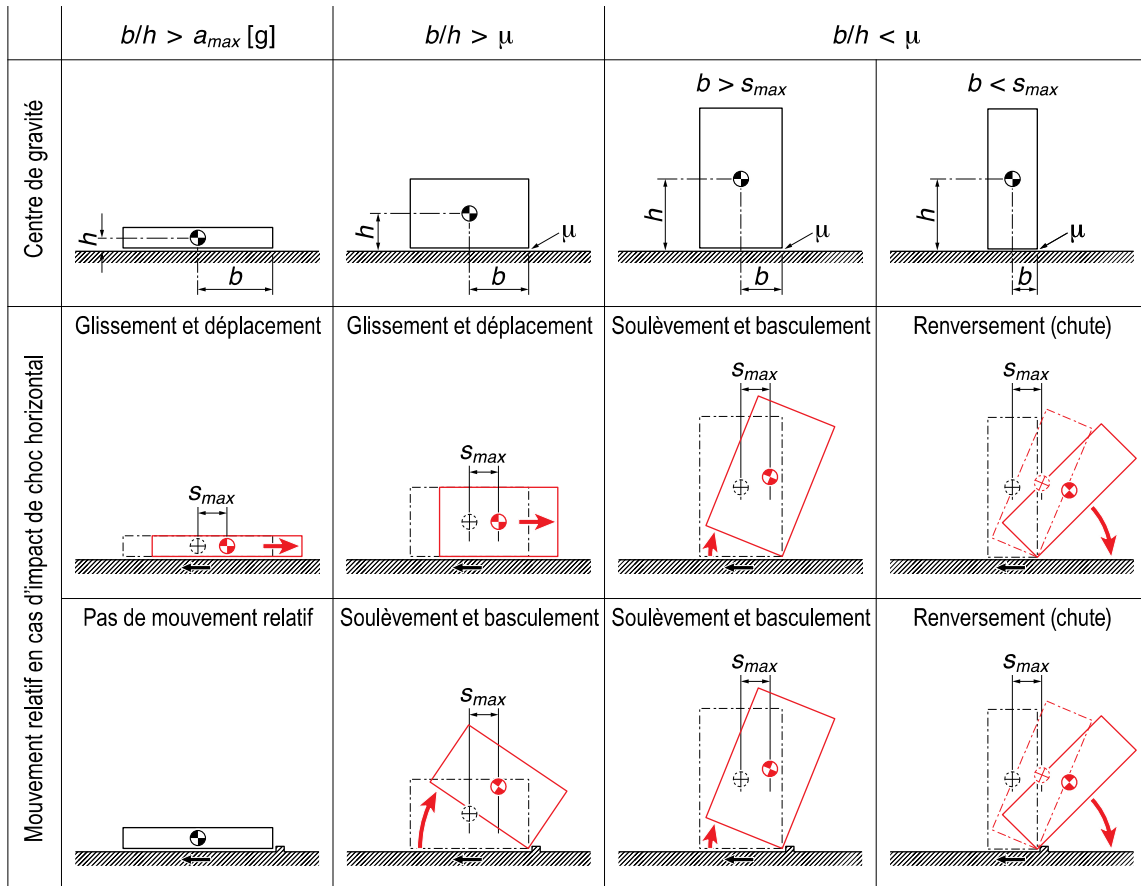


Fig. 14 Vue d'ensemble des mouvements relatifs des éléments non fixés