

ICS 91.010.30

Version Française

**Eurocode 1: Bases de calcul et actions sur les structures -
Partie 2-7: Actions sur les structures - Actions accidentelles
dues aux chocs et explosions**

Eurocode 1: Basis of design and actions on structures -
Part 2-7: Actions on structures - Accidental actions due to
impact and explosions

La présente Prénorme européenne (ENV) a été adoptée par le CEN le 23 mai 1997 comme norme expérimentale pour application provisoire.

La période de validité de cette ENV est limitée initialement à trois ans. Après deux ans, les membres du CEN seront invités à soumettre leurs commentaires, en particulier sur l'éventualité de la conversion de l'ENV en Norme européenne.

Il est demandé aux membres du CEN d'annoncer l'existence de cette ENV de la même façon que pour une EN et de rendre cette ENV rapidement disponible au niveau national sous une forme appropriée. Il est admis de maintenir (en parallèle avec l'ENV) des normes nationales en contradiction avec l'ENV en application jusqu'à la décision finale de conversion possible de l'ENV en EN.

Les membres du CEN sont les organismes nationaux de normalisation des pays suivants: Allemagne, Autriche, Belgique, Danemark, Espagne, Finlande, France, Grèce, Irlande, Islande, Italie, Luxembourg, Norvège, Pays-Bas, Portugal, République Tchèque, Royaume-Uni, Suède et Suisse.



COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION
EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION

Secrétariat Central: rue de Stassart, 36 B-1050 Bruxelles

Sommaire

1	Généralités	5
1.1	Domaine d'application	5
1.1.1	Domaine d'application de l'ENV 1991 – Eurocode 1	5
1.1.2	Domaine d'application de l'ENV 1991-2-7 – Actions accidentelles dues aux chocs et aux explosions	5
1.1.3	Autres Parties de l'ENV 1991	6
1.2	Références normatives.....	6
1.3	Distinction entre Principes et Règles d'application.....	7
1.4	Définitions	8
1.4.1	Actions accidentelles	8
1.4.2	Explosion	8
1.4.3	Déflagration	8
1.4.4	Détonation	8
1.4.5	Élément clef	8
1.4.6	Risque.....	8
1.4.7	Mesures réductrices du risque	8
1.4.8	Scénarios de danger potentiel.....	8
1.5	Symboles	8
2	Classification des actions	9
3	Situations de projet	9
3.1	Définition des situations de projet accidentelles et des actions accidentelles	9
3.2	Conception et calcul pour les situations accidentelles	10
4	Chocs	12
4.1	Champ d'application	12
4.2	Représentation des actions	12
4.3	Actions accidentelles causées par des véhicules	13
4.3.1	Actions produites par le trafic de véhicules sous les ponts et autres structures.....	13
4.3.2	Actions dues aux véhicules circulant sur les ponts	15
4.4	Actions accidentelles causées par le trafic ferroviaire sous des ponts ou à proximité d'autres structures.	16
4.5	Actions accidentelles causées par les bateaux.....	16
4.6	Actions accidentelles causées par des hélicoptères.....	18
5	Explosions	18
5.1	Champ d'application	18
5.2	Représentation des actions	19
5.3	Explosions dans des locaux munis d'évents	19
Annexe A (Informative) Calcul affiné au choc	21	
A.1	Généralités	21
A.2	Dynamique du choc.....	21
A.3	Choc produit par des poids lourds.....	22
A.4	Choc produit par des trains	24
A.5	Choc produit par des bateaux	24
Annexe B (Informative) Explosions	26	
B.1	Généralités	26
B.2	Structures de la catégorie 3.....	26
B.3	Explosions de poussières.....	26
B.4	Explosions dans les tunnels	28
Annexe C (Informative) Indications supplémentaires pour le calcul	29	
C.1	Dommages localisés acceptables pour les bâtiments	29
C.2	Calcul simplifié pour les structures de catégorie 2 dans les bâtiments.....	29
C.3	Mesures préventives et de protection en cas de trafic ferroviaire sous les ponts.....	29

Objectifs des Eurocodes

- (1) Les "Eurocodes structuraux" regroupent un ensemble de normes pour le calcul des structures et fondations des ouvrages de bâtiments et de génie civil.
- (2) Ils ne traitent de l'exécution et du contrôle que dans la mesure où il est nécessaire de préciser la qualité des produits de construction et le niveau de réalisation à satisfaire pour être conforme aux hypothèses adoptées dans les règles de calcul.
- (3) Jusqu'à ce que l'ensemble des spécifications techniques harmonisées concernent les produits ainsi que les méthodes de contrôle de leurs performances soient disponibles, un certain nombre d'Eurocodes Structuraux traitent certains de ces aspects dans des Annexes informatives.

Historique du Programme Eurocodes

- (4) La Commission des Communautés Européennes (CCE) a entrepris le travail d'élaboration d'un ensemble de règles techniques harmonisées pour le calcul des ouvrages de bâtiment et de génie civil, règles destinées, au début, à être utilisées en alternative aux différents règlements en vigueur dans les divers Etats Membres et à les remplacer ultérieurement. Ces règles techniques sont connues sous le nom d'« Eurocodes structuraux ».
- (5) En 1990, après consultation de ses Etats Membres, la CCE a transféré au CEN la charge de poursuivre ce travail d'élaboration, de diffusion et de mise à jour des Eurocodes structuraux et le secrétariat de l'AELE a accepté d'aider le CEN dans cette tâche.
- (6) Le Comité Technique CEN/TC 250 est responsable de tous les Eurocodes structuraux.

Programme Eurocodes

- (7) Le travail est en cours sur les Eurocodes structuraux suivants, chacun étant généralement constitué de plusieurs parties :

EN 1991 Eurocode 1	Bases du calcul et actions sur les structures
EN 1992 Eurocode 2	Calcul des structures en béton
EN 1993 Eurocode 3	Calcul des structures en acier
EN 1994 Eurocode 4	Calcul des structures mixtes acier-béton
EN 1995 Eurocode 5	Calcul des structures en bois
EN 1996 Eurocode 6	Calcul des structures en maçonnerie
EN 1997 Eurocode 7	Calcul géotechnique
EN 1998 Eurocode 8	Conception et dimensionnement des structures pour leur résistance aux séismes
EN 1999 Eurocode 9	Calcul des structures en Aluminium

- (8) Un sous-comité séparé a été formé par le CEN/TC 250 pour chaque Eurocode énoncé ci-dessus.
- (9) La présente partie de l'Eurocode 1 est publiée en tant que Prénorme Européenne (ENV), pour une durée initialement fixée à trois ans.
- (10) Cette Prénorme est destinée à être appliquée, à titre expérimental, ainsi que pour l'émission de commentaires.
- (11) Au terme d'une durée approximative de deux ans, les membres du CEN seront invités à formuler des commentaires officiels qui seront pris en compte dans la détermination de l'action future.

(12) En attendant, réactions et commentaires sur cette Prénorme devraient être transmis au Secrétariat du CEN/TC250/SC1 à l'adresse suivante :

SIS/BST
Boite Postale 49044
S-10028 STOCKHOLM
SUEDE

ou à votre organisme national de Normalisation (AFNOR pour la France).

Documents d'Application Nationale (DAN)

(13) Etant données les responsabilités des autorités des Etats Membres en matière de sécurité, santé et autres points couverts par les exigences essentielles de la DPC (Directive sur les Produits de Construction), des valeurs indicatives ont été attribuées à certains éléments de sécurité dans l'ENV qui sont identifiées par ou [] (« valeurs encadrées »). Il incombe aux autorités de chaque Etat Membre de réviser les « valeurs encadrées » et éventuellement, d'attribuer des valeurs définitives à ces éléments de sécurité, pour l'usage national.

(14) Certaines normes d'accompagnement européennes ou internationales peuvent ne pas être disponibles au moment de la publication de cette Prénorme. Il est par conséquent prévu qu'un Document d'Application Nationale (DAN) donnant les valeurs définitives des éléments de sécurité, faisant référence aux Normes d'accompagnement compatibles et précisant les directives nationales d'application de la Prénorme soit publié par chaque Etat Membre ou son organisme de normalisation.

(15) Il est prévu que cette Prénorme soit utilisée conjointement avec le DAN dans le pays où le bâtiment ou l'ouvrage de génie civil sont situés.

Points spécifiques à cette Prénorme

(16) Le domaine d'application de l'Eurocode 1 est défini au paragraphe 1.1.1. et celui de cette Partie de l'Eurocode 1 est défini à l'article 1.1.2. Les Parties complémentaires de l'Eurocode 1 qui sont prévues sont indiquées à l'article 1.1.3.

(17) La présente Partie est complétée par trois annexes informatives.

(18) Des actions accidentelles sont décrites dans différentes Parties de l'Eurocode 1. L'ENV 1991-3 contient en particulier les actions accidentelles dues au choc contre les éléments de structure des ponts. Dans les Parties respectives de l'ENV 1991-3 sont énumérées les valeurs de calcul à prendre en compte dans les situations de projet correspondant au choc. Cette Partie et l'ENV 1991-3 sont compatibles avec les valeurs de calcul.

(19) Les situations de projet dues à des actions accidentelles peuvent être classées. La classification peut suivre des préférences et des traditions nationales. La classification sera laissée à l'initiative des autorités respectives.

1 Généralités

1.1 Domaine d'application

1.1.1 Domaine d'application de l'ENV 1991 – Eurocode 1

(1)P L'ENV 1991 fournit des procédures et principes généraux relatifs au calcul des bâtiments et ouvrages d'art, ainsi que des considérations géotechniques ; elle doit être utilisée concurremment avec les ENV 1992 à 1999.

(2) Elle peut également être utilisée comme une base de calcul pour les structures non traitées par les ENV 1992 à 1999 et lorsque d'autres matériaux ou d'autres procédures de calcul sont impliqués.

(3) l'ENV 1991 s'applique aussi au calcul des structures durant la construction, ainsi qu'au calcul des structures provisoires. Elle concerne toutes les circonstances au cours desquelles le comportement d'un ouvrage doit rester satisfaisant

(4) l'ENV 1991 n'est pas directement destinée à l'évaluation de la qualité structurale des ouvrages existants, pour les projets de réparation ou de modification non plus qu'à l'évaluation en vue de changements d'affectation.

(5) l'ENV 1991 ne concerne pas l'ensemble des situations de calcul spéciales qui nécessitent des conditions de sûreté inhabituelles, telles que les structures nucléaires pour lesquelles il convient d'appliquer des procédures de calcul spécifiques.

1.1.2 Domaine d'application de l'ENV 1991-2-7 – Actions accidentelles dues aux chocs et aux explosions

(1)P Cette Partie décrit les stratégies de sécurité possibles dans le cas général de situations accidentelles, et couvre en détail les actions accidentelles dues aux chocs et aux explosions intérieures. La prise en compte des actions accidentelles décrite dans cette Partie, inclut des actions causées par des activités humaines mais exclut les actions produites par des explosions extérieures, des actes de guerre ou des sabotages. Par ailleurs cette Partie ne concerne pas certains événements considérés en général comme des accidents, mais qui n'entraînent pas un dommage de la structure (par exemple : personnes tombant à travers des éléments de toiture).

(2) Les actions accidentelles provoquées par des phénomènes naturels tels que tornades, érosion extrême ou chute de roches ne sont pas incluses. Toutefois, elles peuvent être traitées dans le calcul en utilisant des principes similaires à ceux contenus dans cette Partie.

(3)P Les structures exposées au feu doivent être dimensionnées en conformité avec l'ENV 1991-2-2 « Actions sur les structures exposées au feu » conjointement avec les Parties relatives au calcul au feu des ENV 1992 à 1996 et de l'ENV 1999.

(4)P Les structures exposées aux séismes seront dimensionnées conformément à l'ENV 1998 « Conception et dimensionnement des structures pour la résistance aux séismes ».

(5)P La présente Partie définit les principes généraux pouvant être utilisés pour l'analyse des situations de projet accidentelles et décrit :

- la procédure d'analyse du risque pour identifier des événements extrêmes, les causes et les conséquences des événements indésirables ;
- les précautions de sécurité exigées pour maintenir un niveau de sécurité qui satisfasse les critères d'acceptation, en utilisant des mesures appropriées afin de réduire la probabilité ou les conséquences des événements extrêmes.

(6) La présente Partie définit en particulier :

- des modèles de calcul recommandés dans les cas les plus communs d'actions accidentelles provenant de chocs ou d'explosions ;

- des dispositions constructives qui peuvent être utilisées comme alternatives aux vérifications par le calcul.

(7) Les actions accidentelles définies dans la section 4 se rapportent aux chocs et aux collisions provenant des sources suivantes :

- véhicules ;
- trains déraillés ;
- bateaux ;
- atterrissage brutal d'hélicoptères sur des toitures.

(8) Trois annexes informatives sont incluses :

- L'annexe A décrit un mode de calcul affiné pour le cas de choc ;
- L'annexe B contient un mode de calcul affiné pour le cas d'explosion ;
- L'annexe C fournit des indications supplémentaires pour le calcul.

1.1.3 Autres Parties de l'ENV 1991

(1) D'autres Parties de l'ENV 1991, actuellement prévues ou en cours de préparation, sont indiquées à l'article 1.2.

1.2 Références normatives

(1) La présente Prénorme Européenne reprend, par des références datées ou non, des dispositions spécifiées par d'autres normes. Ces références normatives figurent à leurs emplacements respectifs dans le texte et sont énumérées ci-après :

ISO 3898 1987	Base de calcul des structures – Notations – Symboles généraux
ISO DP 10252	Actions accidentelles dues à des activités humaines
ISO 6184 /1	Systèmes de protection contre l'explosion – 1 ^{ère} partie : Détermination des indices d'explosion des poussières combustibles contenues dans l'air.
UIC SC 7J	Rapport 777/2R (Mai 1996) : Structures bâties au-dessus de lignes de chemin de fer.

NOTE Les Prénormes Européennes suivantes, qui sont soit publiées, soit en cours de préparation, sont citées aux endroits appropriés dans le texte et énumérées ci-après :

ENV 1991-1	Eurocode 1 : Bases du calcul et actions sur les structures - Partie 1 : Bases du calcul
ENV 1991-2-1	Eurocode 1 : Bases du calcul et actions sur les structures - Partie 2.1 : Densités, poids propres et charges d'exploitation des bâtiments
ENV 1991-2-2	Eurocode 1 : Bases du calcul et actions sur les structures - Partie 2.2 : Actions sur les structures exposées au feu
ENV 1991-2-3	Eurocode 1 : Bases du calcul et actions sur les structures - Partie 2.3 : Charges de neige
ENV 1991-2-4	Eurocode 1 : Bases du calcul et actions sur les structures - Partie 2.4 : Actions du vent
ENV 1991-2-5	Eurocode 1 : Bases du calcul et actions sur les structures - Partie 2.5 : Actions

thermiques

ENV 1991-2-6	Eurocode 1 : Bases du calcul et actions sur les structures - Partie 2.6 : Charges imposées pendant l'exécution
ENV 1991-3	Eurocode 1 : Bases du calcul et actions sur les structures - Partie 3 : Charges sur les ponts dues au trafic
ENV 1991-4	Eurocode 1 : Bases du calcul et actions sur les structures - Partie 4 : Actions dans les silos et réservoirs
ENV 1991-5	Eurocode 1 : Bases du calcul et actions sur les structures - Partie 5 : Actions induites par les grues et la machinerie
ENV 1992	Eurocode 2 : Calcul des structures en béton
ENV 1993	Eurocode 3 : Calcul des structures en acier
ENV 1994	Eurocode 4 : Calcul des structures mixtes en acier-béton
ENV 1995	Eurocode 5 : Calcul des structures en bois
ENV 1996	Eurocode 6 : Calcul des structures en maçonnerie
ENV 1997	Eurocode 7 : Calcul géotechnique
ENV 1998	Eurocode 8 : Conception et dimensionnement des structures pour la résistance aux séismes
ENV 1999	Eurocode 9 : Calcul des structures en alliages d'aluminium

1.3 Distinction entre Principes et Règles d'application

(1) Dans la présente Partie 2-7 de l'ENV 1991, une distinction est établie entre les Principes et les Règles d'application, suivant la nature de chaque article.

(2) Les Principes comprennent :

- des déclarations et définitions générales pour lesquelles il n'existe pas d'alternative, ainsi que ;
- des exigences et modèles analytiques pour lesquels aucune alternative n'est admise, sauf formulation explicite.

(3) Les Principes sont identifiés par la lettre P qui suit le numéro de l'alinéa.

(4) Les Règles d'application sont généralement des règles acceptées qui suivent les Principes et satisfont à leurs exigences.

(5) Il est loisible d'utiliser des règles alternatives différentes des Règles d'application données dans le présent Eurocode, pourvu qu'il soit démontré que ces variantes respectent les principes correspondants et conduisent à une fiabilité au moins égale.

(6) Dans cette Partie 2-7 de l'ENV 1991, les règles d'application sont identifiées par un numéro entre parenthèses, comme par exemple pour le présent alinéa.

1.4 Définitions

Pour les besoins de la présente Prénorme, une liste de base des définitions est fournie dans l'ENV 1991-1 ; les définitions supplémentaires indiquées ci-après sont propres à cette Partie de l'ENV 1991.

1.4.1 Actions accidentelles

Action habituellement de courte durée, qui a peu de chances de se produire avec une grandeur significative pendant un intervalle de temps considéré au cours de la durée de vie de projet.

1.4.2 Explosion

Réaction chimique rapide de poussières ou de gaz dans l'air. Elle engendre des températures et surpressions élevées. Les pressions de l'explosion se propagent sous forme d'ondes.

1.4.3 Déflagration

Explosion avec prolongement de la réaction chimique, causé par le transport de la chaleur. Le front des flammes avance dans le mélange à une vitesse subsonique de l'ordre de 100 m/s. Les ondes de pression se déplacent avec la vitesse locale du son. Les valeurs de pointe de la pression peuvent varier de 10 à 1500 kN/m².

1.4.4 Détonation

Explosion avec prolongement de la réaction chimique causé par une onde de choc de la pression qui se déplace à une vitesse supersonique, généralement supérieure à 1000 m/s. Une valeur typique de la pression est 2000 kN/m² mais la durée de ce pic est très courte (10 ms).

1.4.5 Élément clef

Un élément de structure essentiel pour la stabilité d'ensemble de cette dernière, dont la défaillance causerait des dommages disproportionnés et/ou l'effondrement de la structure.

1.4.6 Risque

Le risque est exprimé en termes de conséquences possibles de l'événement et de la probabilité qui y est associée.

1.4.7 Mesures réductrices du risque

Les mesures réductrices du risque consistent en mesures permettant de réduire la probabilité de l'accident et mesures destinées à en réduire les conséquences, incluant des plans de secours.

1.4.8 Scénarios de danger potentiel

Evènements causés par des phénomènes naturels ou des activités humaines qui peuvent mettre en danger la sécurité de la structure. Un scénario de danger potentiel est caractérisé par une action prédominante.

1.5 Symboles

(1) Pour les besoins de la présente Prénorme s'appliquent les symboles ci-après.

NOTE La notation utilisée est basée sur la norme ISO 3898 : 1987.

(2) Une liste de base des notations est fournie dans l'ENV 1991-1 « Bases du calcul », et les notations supplémentaires ci-dessous sont propres à la présente Partie.

Majuscules latines

A_v surface des événements

F	action de choc ou collision
$F_{d,x}$	action de choc horizontale statique équivalente, dans la direction de la circulation normale
$F_{d,y}$	action de choc horizontale statique équivalente, perpendiculaire à la direction de la circulation normale
V	volume de l'espace clos
W	poids d'un poids lourd chargé

Minuscules latines

d	diamètre ou diamètre équivalent
f	coefficient de frottement
h	hauteur
ℓ	longueur
m	masse
p	probabilité
p_d	pression statique nominale équivalente
p_v	pression statique uniformément répartie
r	facteur multiplicatif
s	distance

Minuscules grecques

α_Q	coefficient d'ajustement
θ	angle du choc

2 Classification des actions

(1)P Conformément à l'ENV 1991-1 « Bases de calcul » les actions résultant de chocs ou d'explosions doivent être classées comme actions accidentelles.

(2) Pour ces actions accidentelles, la valeur représentative est en général une valeur de calcul. Les modèles pour la détermination des valeurs de calcul sont spécifiées dans les sections 4 et 5 pour les chocs et les explosions respectivement.

3 Situations de projet

3.1 Définition des situations de projet accidentelles et des actions accidentelles

(1)P Dans la situation de projet accidentelle, telle que définie dans l'ENV 1991-1, la survenance d'événements exceptionnels et correspondant à des actions accidentelles, doit être considérée en combinaison avec des charges permanentes et variables. En outre, il peut être nécessaire dans certains cas, de considérer aussi un intervalle de temps de courte durée qui suit l'événement exceptionnel.

(2) Dans le cas des situations de projet accidentelles, les actions présentent d'habitude une faible probabilité de se produire, mais leurs conséquences sont sévères et leur durée est généralement courte.

(3) Les situations de projet sélectionnées doivent être suffisamment sévères et variables pour couvrir toutes les conditions que l'on peut raisonnablement prédire durant la mise en œuvre et l'exploitation de la structure. Ce « qui peut être raisonnablement prédit » doit ici être interprété « comme présentant une probabilité faible mais raisonnable de se produire ».

(4) Une conséquence sévère possible exige la prise en compte de scénarios détaillés, alors que des conséquences moins sévères permettent des scénarios plus sommaires. Les conséquences peuvent être évaluées en termes de blessés et de tués, de modifications inacceptables de l'environnement, de pertes économiques considérables pour la société, etc...

NOTE 1 La norme ISO DP 10252 « Actions accidentelles dues à des activités humaines », précise qu'il convient que la valeur représentative d'une action accidentelle soit choisie de manière à ce que la probabilité estimée soit inférieure à $p = 10^{-4}$ par an pour une structure pour qu'une énergie au moins aussi grande soit libérée par le choc. Toutefois, la probabilité de survenance d'une action accidentelle et la probabilité de distribution de sa grandeur, peuvent être déterminées seulement dans certains cas à partir de statistiques et de procédures d'analyse du risque. Dans la pratique les valeurs de calcul sont souvent des valeurs nominales.

NOTE 2 Dans certains cas, des actions accidentelles et des actions variables peuvent provenir des mêmes sources d'action. Ceci peut être, par exemple, le cas de chocs dus aux bateaux, lorsqu'un bateau ayant perdu le contrôle, peut devenir la source d'une action accidentelle, alors que les actions produites lors de l'accostage et de l'amarrage des bateaux sont des actions variables. Des exemples similaires peuvent être envisagés pour les voitures dans les garages.

(5) L'enchaînement d'événements accidentels n'est pas couvert par la présente Partie.

3.2 Conception et calcul pour les situations accidentelles

(1)P Les actions accidentelles doivent être prises en compte, lorsque c'est spécifié dans le calcul d'une structure, en fonction :

- Des conséquences possibles de l'endommagement de la structure ;
- De la probabilité de survenance de l'événement initial ;
- Des dispositions prises pour prévenir ou réduire les dangers pouvant en résulter et l'exposition de la structure ;
- Du niveau de risque acceptable.

(2)P Aucune structure ne peut être censée résister à toutes les actions qui pourraient résulter d'une cause extrême, mais on doit limiter à une valeur raisonnable la probabilité que l'endommagement soit disproportionné par rapport à la cause d'origine.

NOTE Dans la pratique, la survenance et les conséquences d'une action accidentelle peuvent être associées à un certain niveau de risque. Si ce niveau ne peut être accepté, des mesures supplémentaires sont nécessaires. Toutefois, un niveau de risque zéro ne sera atteint que rarement et, dans la majorité des cas, il est nécessaire d'accepter un certain niveau de risque résiduel. Ce niveau de risque final sera déterminé par le coût des mesures de sécurité, comparé à la réaction publique perçue après un accident. Le risque est aussi à baser sur une comparaison avec des risques généralement acceptés par la société dans des situations comparables. Les autorités nationales et autres autorités compétentes jouent un rôle important dans la définition des niveaux de risques acceptables

(3) Des dommages localisés dus à des actions accidentelles, peuvent être acceptables, à condition qu'ils ne mettent pas en danger toute la structure, ou que la capacité portante soit maintenue pendant une durée appropriée pour que des mesures d'urgence puissent être prises, par exemple l'évacuation du bâtiment et de ses environs.

(4) Selon le cas, des mesures pour maîtriser le risque en cas d'actions accidentelles peuvent suivre une ou plusieurs des stratégies ci-après :

- en prévenant la survenance de l'action ou en réduisant à un niveau raisonnable la probabilité et/ou la grandeur de l'action ;
- en protégeant la structure contre l'effet d'une action en réduisant les forces réelles exercées sur la structure (par exemple : bollards de protection) ;

- en dimensionnant de telle sorte que ni la totalité de la structure, ni une partie significative de celle-ci ne s'écroule en cas d'une défaillance locale (par exemple : défaillance d'un élément unique) ;
- en dimensionnant avec beaucoup de soin, pour des actions accidentelles appropriées, les éléments clefs dont la structure est particulièrement dépendante ;
- en appliquant des règles minimales de calcul et des dispositions constructives qui conduisent, dans des circonstances normales, à une structure de robustesse acceptable (par exemple : chaînages tridimensionnels en vue d'une résistance exercée, ou niveau minimal de ductilité pour les éléments structuraux soumis au choc) ;
- en prescrivant des règles supplémentaires de calcul et de dispositions constructives afin d'obtenir la stabilité résiduelle nécessaire à l'évacuation en sécurité des occupants ;
- en appliquant les principes du dimensionnement en capacité (exemples : en limitant la résistance des balustrades sur les ponts pour éviter des dommages au système principal de structure ou en installant des événements ayant une masse et une résistance faibles pour réduire l'effet des explosions) ;
- en prévoyant des mesures pour atténuer les conséquences d'une défaillance de la structure.

Dans le calcul et dimensionnement de la structure il convient que la présence de mesures préventives et de protection soit considérée comme hypothèses de calcul (voir ENV 1991-1 « Bases de calcul » article 1.3).

NOTE 1 Les stratégies peuvent être mélangées pour l'établissement d'un même projet. Des règles sont fournies, lorsqu'il y a lieu, dans les ENV 1991 à 1999.

NOTE 2 Il faut reconnaître l'effet limité des actions préventives ; cet effet dépend de facteurs qui, pendant la durée de vie de la structure, ne relèvent généralement pas du projet de la structure. La responsabilité de la maintenance des mesures préventives est souvent l'affaire des autorités concernées.

(5) Les situations accidentelles peuvent être classées comme suit :

- 1^{ère} Catégorie Conséquences limitées ;
- 2^{ème} Catégorie Conséquences moyennes ;
- 3^{ème} Catégorie Conséquences considérables.

Pour faciliter le projet de certains types de structures, il peut être approprié de traiter certaines parties de la structure comme appartenant à une catégorie différente de celle de la structure dans son ensemble. Ceci peut être le cas pour des parties qui sont structurellement séparées et qui diffèrent du reste en ce qui concerne l'exposition et les conséquences.

NOTE La classification peut suivre des traditions et des préférences nationales, et la classification effective concrète sera à la charge des autorités concernées.

(6) Les différentes catégories peuvent être traitées de la manière suivante :

- 1^{ère} Catégorie : aucune étude particulière concernant les charges accidentelles n'est nécessaire ;
- 2^{ème} Catégorie : en fonction des circonstances spécifiques de la structure en question : une analyse simplifiée avec des modèles d'actions statiques équivalentes peut être adoptée, ou bien des règles de calcul et de dispositions constructives peuvent être appliquées ;
- 3^{ème} Catégorie : une étude plus approfondie est recommandée, utilisant des analyses dynamiques, des modèles non linéaires et l'interaction des charges avec la structure si elle est considérée comme appropriée.

NOTE L'effet des mesures préventives et/ou de protection consiste en une réduction de la probabilité de dommages de la structure. Ceci peut être pris parfois en compte dans le projet en attribuant à la structure une catégorie inférieure. Dans d'autres cas, une réduction des forces agissant sur la structure peut s'avérer plus appropriée.

(7) Dans la présente norme, la Section 4 inclut des valeurs qui peuvent être utilisées dans les calculs sous chocs accidentels, et la Section 5 traite les explosions dues au gaz.

4 Chocs

4.1 Champ d'application

(1) Les actions présentées dans cette section sont destinées à être appliquées aux éléments de structure, ou le cas échéant, à leurs systèmes de protection, lorsque les conséquences de la ruine dans les situations de projet correspondantes, sont considérées comme appartenant aux catégories 2 et 3 définies en Section 3.

NOTE Le calcul des structures de la catégorie 3, peut prendre en compte également d'autres types d'analyses plus rigoureux, tels que décrits dans l'annexe A. On peut s'attendre à ce que ces analyses conduisent à des résultats différents.

(2) La présente section définit les actions dues au choc dans les cas de :

- collisions dues aux véhicules ;
- collisions dues aux trains ;
- collisions dues aux bateaux ;
- atterrissage brutal d'hélicoptères sur des toitures.

(3) Les bâtiments à considérer sont les garages parkings, les bâtiments dans lesquels roulent des véhicules, les entrepôts dans lesquels roulent des chariots élévateurs ainsi que les bâtiments situés au voisinage de routes ou de chemins de fer.

(4) Pour les ponts, les actions dues au choc à prendre en compte, dépendent du type de trafic sous et sur le pont.

(5) Les actions dues aux chocs d'hélicoptères doivent être prises en compte seulement pour les bâtiments dont la toiture comporte une aire destinée à l'atterrissage.

4.2 Représentation des actions

(1)P Le processus de choc est déterminé par la distribution de la masse, par le comportement de déformation par les caractéristiques d'amortissement et par les vitesses initiales tout à la fois du corps produisant le choc et de la structure. Pour évaluer les forces à l'interface, le corps et la structure doivent être considérés comme un système global.

(2)P Lorsqu'on définit les propriétés des matériaux du corps à l'origine du choc et de la structure, on doit utiliser autant que de besoin des valeurs caractéristiques supérieures et inférieures ; en outre, lorsque c'est approprié, les effets du taux de déformation doivent être pris en compte.

(3)P Les actions dues aux chocs doivent être considérées comme des actions libres. Les surfaces où les actions dues au choc sont à considérer doivent être précisées au cas par cas en fonction de la cause.

(4) Pour les besoins du calcul de la structure, les actions dues aux chocs peuvent être représentées par une force statique équivalente, produisant dans la structure des effets équivalents à ceux de l'action. Ce modèle simplifié peut être utilisé pour la vérification de l'équilibre statique ou pour des vérifications de résistance, dépendant du niveau de protection visé.

(5) Dans le cas de structures qui sont désignées pour absorber l'énergie du choc par des déformations élasto-plastiques des éléments de construction, les charges statiques équivalentes, peuvent être déterminées en considérant à la fois la résistance plastique et la capacité de déformation de ces éléments.

(6) Pour les structures pour lesquelles l'énergie est dissipée principalement par le corps à l'origine du choc, les forces statiques équivalentes peuvent être prises dans les articles 4.3 à 4.6.

4.3 Actions accidentelles causées par des véhicules¹

4.3.1 Actions produites par le trafic de véhicules sous les ponts et autres structures

(1) Dans le cas d'un choc dur, les valeurs de calcul des actions horizontales dues au choc contre des éléments de structure verticaux (par exemple : poteaux, murs), à proximité de différents types de routes, peuvent être tirées du tableau 4.1.

Tableau 4.1 - Forces de calcul horizontales, statiques équivalentes dues au choc contre les infrastructures portantes de ponts ou d'autres structures situées au-dessus de chaussées

Type de route	Type de véhicule	Force $F_{d,x}$ (kN)	Force $F_{d,y}$ (kN)
autoroute	poids lourd	[1 000]	[500]
agglomération urbaine	poids lourd	[500]	[250]
cours d'immeubles	uniquement voitures légères	[50]	[25]
	poids lourd	[150]	[75]
garages parkings	uniquement voitures légères	[40]	[25]

NOTE 1 x = direction de la circulation courante, y = perpendiculaire à la direction de la circulation courante
 NOTE 2 Les valeurs du tableau sont applicables à des éléments de structure normalement exposés ; dans des cas particuliers, pour des types de structures de la catégorie 3, une analyse plus perfectionnée, telle qu'indiquée dans l'annexe A, peut être plus appropriée. L'annexe A donne, en particulier, des informations sur les valeurs de calcul des vitesses, sur les durées d'application des forces et sur l'effet de la distance de la route jusqu'à l'élément de structure.

(2) Les forces $F_{d,x}$ et $F_{d,y}$ ne nécessitent pas d'être considérées simultanément.

(3) Pour les chocs de voitures sur des éléments verticaux, il convient que la force F résultant de la collision contre la structure soit appliquée à 0,5 m au-dessus du niveau de la surface de roulement (voir Figure 4.1). La surface d'application de la force peut être prise comme ayant 0,25 m (hauteur) par 1,50 m (largeur), ou comme la largeur de l'élément si elle est inférieure.

(4) Pour les chocs produits par des poids lourds sur des éléments verticaux il convient que la force F résultant de la collision contre la structure soit appliquée à 1,25 m au-dessus du niveau de la surface de roulement (voir figure 4.1). La surface d'application de la force est de 0,5 m (hauteur) par 1,50 m (largeur) ou par la largeur de l'élément si elle est inférieure.

(5) Les actions dues au choc des poids lourds sur des éléments de structure horizontaux au-dessus de la voie ne doivent être prises en compte que lorsque des valeurs minimales de tirant d'air, ou d'autres mesures de protection convenables en vue d'éviter le choc, ne sont pas prévues.

(6) Dans le cas où des vérifications de l'équilibre statique ou de résistance, ou de capacité de déformation, sont exigées pour les actions de choc dues aux poids lourds agissant sur des éléments horizontaux de structure au-dessus des voies, les règles suivantes peuvent être appliquées (voir figure 4.2) :

- sur des surfaces verticales, les valeurs de calcul des actions de choc sont égales à celles données dans le Tableau 4.1 multipliées par un coefficient r (voir figure 4.3) ;
- sur les surfaces d'intrados, il y a lieu de considérer les mêmes actions de choc que ci-dessus avec une inclinaison vers le haut de 10°.

NOTE 1 Les valeurs peuvent dépendre de limites nationales légales et/ou d'autres circonstances locales telles que la présence d'autres ponts au-dessus de la même route.

NOTE 2 Des renseignements concernant l'effet de la distance s se trouvent dans l'annexe A.

¹ La formulation de cet article est compatible avec celle de l'ENV 1991-3 art. 4.7. Il est envisagé que les articles relatifs au choc de l'ENV 1991-3 seront supprimés lors de sa conversion en une EN.

La surface d'application de la force peut être prise égale à 0,25 m (hauteur) par 0,25 m (largeur).

(7) Pour les bâtiments où des chariots élévateurs sont utilisés régulièrement, il convient de prendre en compte une force de calcul horizontale statique équivalente $F = 5 W$, où W représente le poids d'un chariot chargé, agissant à une hauteur de 0,75 m au-dessus du niveau du plancher.

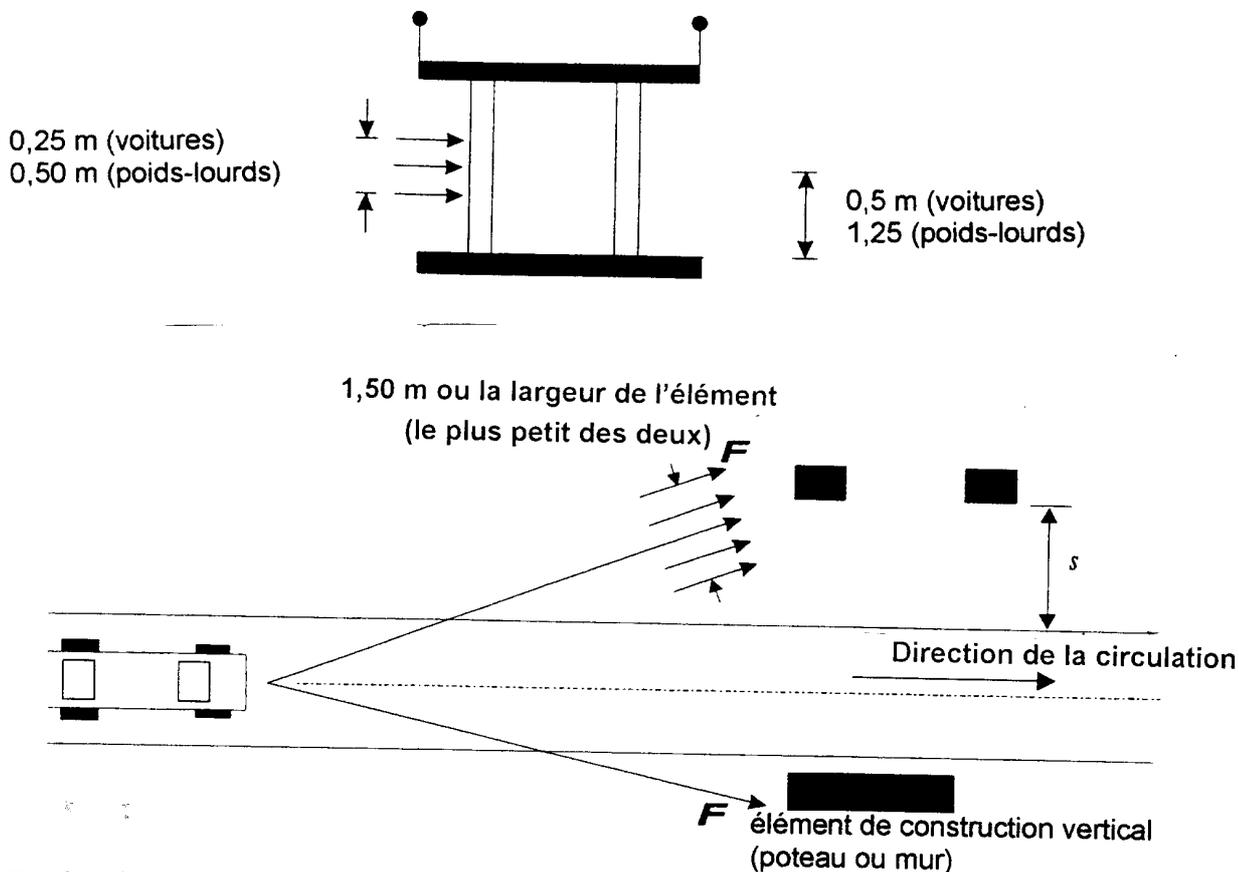


Figure 4.1 - Force de collision contre un élément de structure à proximité des voies

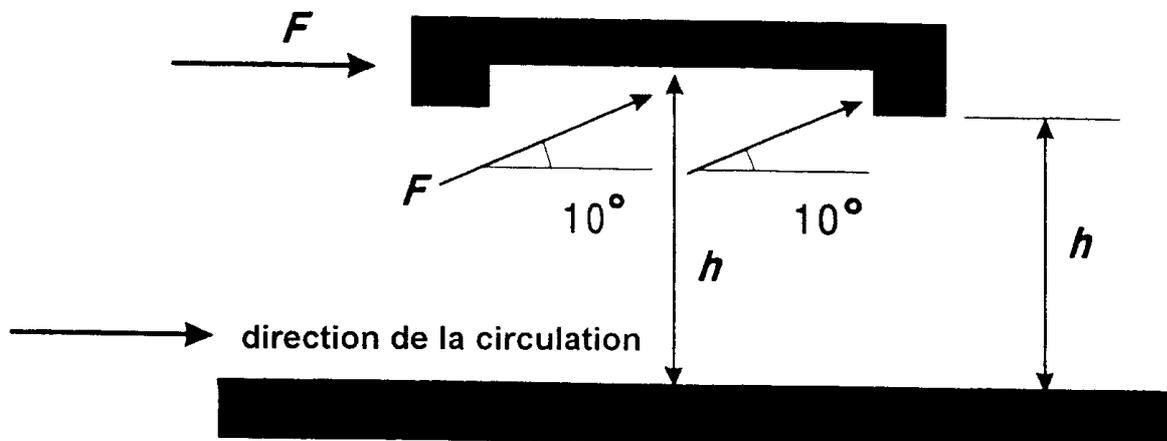


Figure 4.2 - Force de collision contre un élément de structure horizontal au-dessus des voies

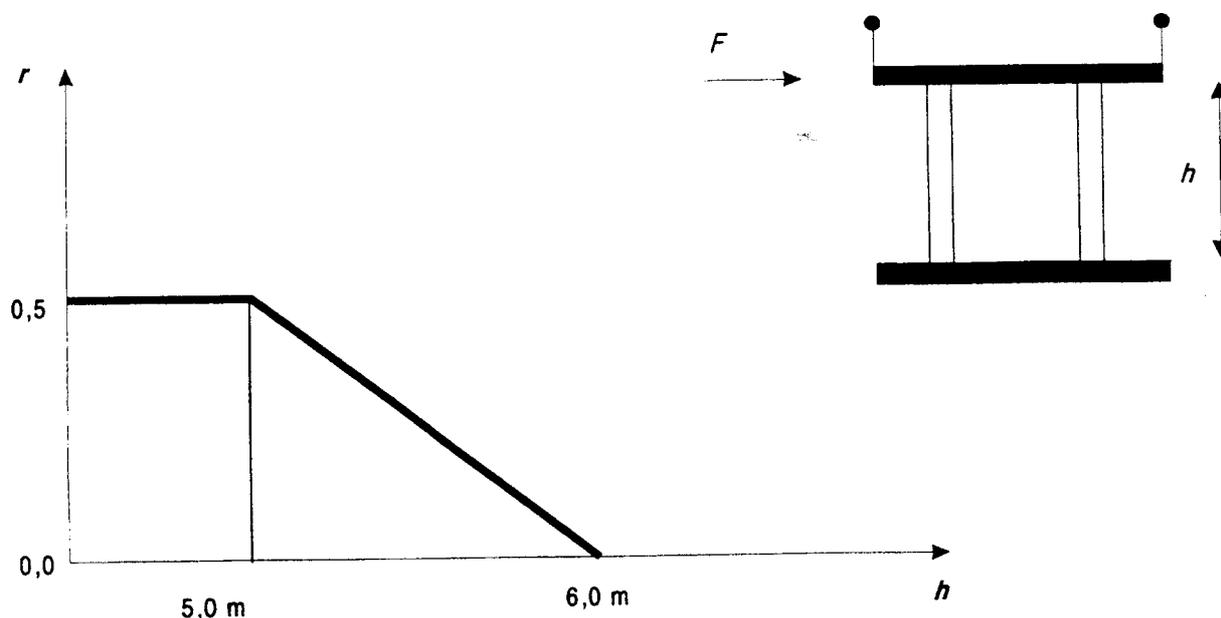


Figure 4.3 - Valeur du coefficient r pour des forces de collision contre des éléments de structure horizontaux, au-dessus des voies, en fonction de la hauteur libre h

4.3.2 Actions dues aux véhicules circulant sur les ponts

4.3.2.1 Forces de collision contre les barrières de sécurité²

(1) Pour le calcul structural, lorsqu'une force horizontale due à la collision d'un véhicule est transmise au tablier d'un pont par des barrières rigides, il convient de prendre en compte 100 kN agissant transversalement et horizontalement à 100 mm en dessous du sommet de la barrière, ou à 1,0 m au-dessus du niveau de la chaussée ou du trottoir, à savoir le plus bas des deux.

Il y a lieu d'appliquer cette force sur une ligne de 0,5 m de longueur. Pour la charge verticale due au trafic, agissant simultanément avec la force de collision, il y a lieu de prendre 50 % de la charge caractéristique d'un essieu, incluant le coefficient d'ajustement α_Q tel que précisé dans l'ENV 1991-3.

4.3.2.2 Forces de collision contre les éléments de structure

(1) Les forces de collision de véhicules contre des éléments de structure verticaux d'about, au-dessus du niveau de la chaussée sont les mêmes que celles précisées en 4.3.1 (1) et contenues dans le tableau 4.1.

² voir également, si disponibles, les agréments techniques ou les normes établies par CEN/TC 226.

4.4 Actions accidentelles causées par le trafic ferroviaire sous des ponts ou à proximité d'autres structures.

(1) Les valeurs de calcul des forces horizontales statiques équivalentes dues au choc sur éléments structuraux (par exemple poteaux, murs) dans diverses situations de projet sont données dans le tableau 4.2.

Tableau 4.2 - Valeurs de calcul des forces horizontales dues au choc sur les infrastructures portantes des ponts ou d'autres structures au-dessus des voies ferrées.

Distance s de l'élément de structure à l'axe de la voie la plus proche (m)	Force $F_{d,x}$	Forces $F_{d,y}$
	(kN)	(kN)
murs continus $s < 3$ m	[0]	[1 500]
murs non continus $s < 3$ m	premier élément [10 000] autres éléments [4 000]	premier élément [3 500] autres éléments [1 500]
$3 \text{ m} \leq s \leq 5 \text{ m}$	[4 000]	[1 500]
$s > 5 \text{ m}$	[0]	[0]
NOTE : x = direction de la voie, y = perpendiculaire à la direction de la voie		

(2) La valeur de calcul de la force horizontale statique équivalente donnée dans le tableau 4.2 est applicable dans les situations dans lesquelles la vitesse autorisée sur la ligne est inférieure ou égale à 120 km/h. Il convient, pour les vitesses supérieures à 120 km/h, de déterminer les valeurs de calcul des forces horizontales statiques équivalentes ainsi que les mesures préventives et/ou de protection.

(3) Lorsque la vitesse maximale autorisée sur la ligne est inférieure ou égale à 50 km/h, les forces du tableau 4.2 peuvent être multipliées par 0,5.

(4) Il convient d'appliquer les forces $F_{d,x}$ et $F_{d,y}$ à 1,8 m au-dessus du niveau de la voie, et il n'est pas nécessaire que ces deux forces soient prises en compte simultanément. Il convient que la surface de choc soit prise égale à 1 m de hauteur par 2 m de largeur.

(5) Dans le cas d'appuis situés à l'intérieur de quais pleins ou qui sont entourés par une ceinture massive sur au moins 0,55 m au-dessus du sommet des rails, les charges équivalentes ci-dessus peuvent être réduites de moitié.

(6) Pour des murs d'about, il convient de prendre en compte une force de calcul de $F_{d,x} = \boxed{5\ 000\ \text{kN}}$ dans le cas de trains de passagers et de $F_{d,x} = \boxed{10\ 000\ \text{kN}}$ dans le cas de trains en manœuvres et en triage. Il y a lieu d'appliquer ces forces à un niveau de 1,0 m au-dessus du niveau de la voie.

(7) Le choc sur la superstructure (structure du tablier), due au trafic ferroviaire sous le pont ne nécessite pas d'être pris en compte. Il peut être supposé que le trafic ferroviaire sous un pont produit un choc uniquement sur l'infrastructure.

4.5 Actions accidentelles causées par les bateaux

(1) Les caractéristiques à prendre en compte pour le choc produit par les bateaux dépendent du type de la voie navigable, du type de bateau et de son comportement dynamique ainsi que du type de structure et leurs caractéristiques de dissipation de l'énergie. Il convient de classer les types de navires à prévoir, conformément aux caractéristiques standardisées des bateaux, voir tableau 4.3 et 4.4

(2) Dans les cas où des calculs plus précis ne sont pas effectués et lorsque la dissipation d'énergie de la structure peut être négligée, on peut appliquer les forces statiques équivalentes conformes aux tableaux 4.3 et 4.4.

NOTE Des renseignements concernant la durée de l'action se trouvent dans l'annexe A.

Tableau 4.3 - Caractéristiques des bateaux et valeurs de calcul correspondantes des forces nominales horizontales statiques équivalentes pour les voies navigables fluviales.

Classe CEMT ¹⁾	Longueur ℓ (m)	Masse m (tonnes)	Masse m de référence du fret (tonnes)	Force F_d (kN)
I	30-50	200-400	300	[4 000]
II	50-60	400-650	500	[5 000]
III	60-80	650-1 000	800	[6 000]
IV	80-90	1 000-1 500	1 300	[7 000]
Va	90-110	1 500-3 000	2 300	[11 000]
Vb	110-180	3 000-6 000	4 600	[15 000]
VIa	110-180	3 000-6 000	2 300	[11 000]
VIb	110-190	6 000-12 000	4 600	[15 000]
VIc	190-280	10 000-18 000	6 900	[22 000]
VII	300	14 000-27 000	6 900	[22 000]

1) CEMT : Conférence Européenne des Ministres des Transports, classification proposée le 19 juin 1992, approuvée par le Conseil de l'union européenne du 29 octobre 1993.

Tableau 4.4 - Caractéristiques des bateaux et valeurs de calcul correspondantes des forces nominales horizontales statiques équivalentes pour les voies navigables maritimes.

Classe du bateau	Longueur ℓ (m)	Masse m (tonnes)	Force F_d (kN)
petit	50	3 000	[15 000]
moyen	100	10 000	[25 000]
grand	200	40 000	[40 000]
très grand	300	100 000	[80 000]

NOTE Les forces données correspondent à une vitesse d'environ 2,0 m/s.

(3) Dans les ports, les forces des tableaux 4.3. et 4.4 peuvent être réduites par un coefficient de 0,5.

(4) Il convient, lorsqu'il y a lieu, de prendre en compte le choc contre le bossoir, la poupe et le flanc ; pour le choc contre la poupe et le flanc les forces données dans les tableaux 4.3 et 4.4 peuvent être multipliées par un coefficient de 0,3.

(5) Il convient que le choc contre le bossoir soit considéré suivant la direction principale de navigation avec une déviation de maximum 30°.

(6) Lorsque la structure d'un mur est heurtée sous un angle θ il y a lieu de considérer les forces suivantes :

- perpendiculairement au mur : $F_{d,y} = F_d \sin \theta$ (4.1)

- suivant la direction du mur : $F_{d,x} = f F_d \sin \theta$ (4.2)

où : F est la force de collision à $\theta = 90^\circ$

f est le coefficient de frottement $f = 0,4$

(7) Le point d'impact dépend de la géométrie de la structure et de la dimension du bateau. A titre indicatif, on peut considérer que le point d'impact le plus défavorable se situe entre $0,05 \ell$ en dessous et $0,05 \ell$ au-dessus des niveaux de calcul de l'eau (voir figure 4.4). La surface d'impact a $0,05 \ell$ comme hauteur et $0,1 \ell$ comme largeur, sauf si l'élément de structure est plus petit (ℓ = longueur du bateau).

(8) Les forces exercées sur une structure dépendent de la hauteur de la structure et du type prévisible de bateau. En général la force agissant sur le tablier dun pont sera limitée par la limite élastique de la superstructure du bateau. Une valeur de 10 % au plus de la force de choc du bossoir peut être considérée comme une indication.

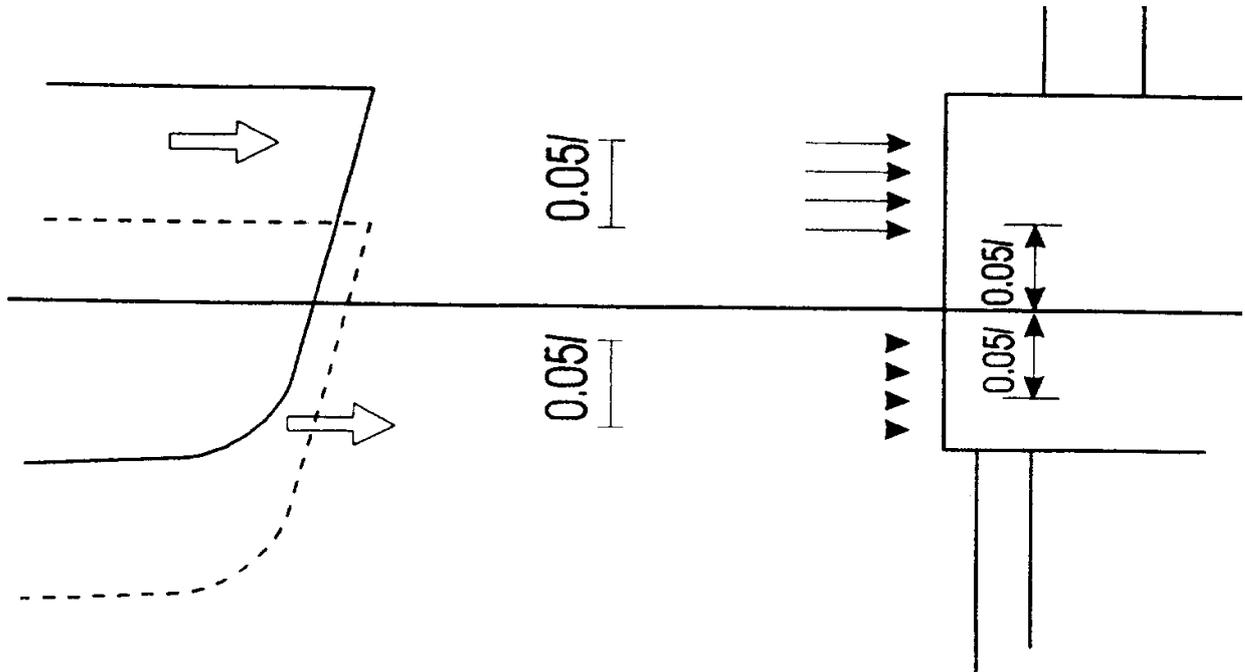


Figure 4.4 - Surfaces de choc possibles en cas de collision par bateau

(9) Dans certaines conditions, il peut être nécessaire d'envisager la possibilité que le bateau soit soulevé par une culée ou un massif de fondation et qu'il entre en collision avec les poteaux situés sur ces derniers.

4.6 Actions accidentelles causées par des hélicoptères

(1) Si la toiture d'un bâtiment a été désignée comme aire destinée à l'atterrissage des hélicoptères, il y a lieu de considérer une force d'atterrissage d'urgence, la valeur de calcul de la force verticale statique équivalente étant égale à :

$$F_d = A \sqrt{m} \quad (4.3)$$

où :

A est de $100 \text{ kN.t}^{-0.5}$;

m est la masse en tonnes ;

(2) Il convient que la force due au choc soit considérée comme agissant sur n'importe quelle partie de l'aire d'atterrissage aussi bien que sur la structure de la toiture située à une distance maximum de 7 m du bord de l'aire d'atterrissage. La surface d'impact peut être prise égale à $2 \times 2 \text{ m}^2$.

5 Explosions

5.1 Champ d'application

(1) Situations de projet classées dans la catégorie 1 : Aucune considération particulière des effets d'une explosion n'est nécessaire, sauf la conformité aux règles concernant la liaison et l'interaction entre éléments, prévues dans les ENV 1992 jusqu'à ENV 1999.

(2) Situations de projet classées dans les catégories 2 et 3 : les éléments clefs de la structure doivent être dimensionnés pour résister aux actions, en procédant à des calculs basés sur des modèles de charge statique équivalente, ou en appliquant les règles de calcul ou de dispositions constructives.

(3) Pour les structures de la catégorie 3, il est recommandé de recourir à une analyse dynamique, telle que décrite dans l'annexe B.

5.2 Représentation des actions

(1) Dans le présent contexte, une explosion est définie comme la réaction chimique rapide de poussières ou de gaz dans l'air. Elle engendre des températures et des surpressions élevées. Les pressions d'explosion se propagent sous la forme d'ondes de pression.

(2) La pression générée par une explosion intérieure dépend essentiellement du type de gaz ou de poussière, du pourcentage de gaz ou de poussière dans l'air, et de l'uniformité du mélange d'air avec le gaz ou avec la poussière, de la dimension et de la forme de l'enceinte dans laquelle se produit l'explosion, et de la grandeur du relâchement de la pression qui peut avoir lieu.

NOTE Dans des locaux complètement fermés, ayant des murs infiniment résistants, les explosions dues au gaz peuvent conduire à des pressions jusqu'à 1 500 kN/m² et les explosions dues aux poussières à des pressions de 1 000 kN/m², en fonction du type de gaz ou de poussière. Dans la pratique, les pressions qui se produisent sont beaucoup plus faibles du fait de l'imperfection du mélange et de décompression qui a lieu suite à la défaillance des portes, des fenêtres etc.

(3) Pour réduire les pressions dues à l'explosion dans un espace confiné et pour limiter les conséquences des explosions, on peut appliquer les recommandations suivantes :

- utilisation d'évents fonctionnant pour des pressions d'évacuation définies ;
- séparation des parties de structure à risque d'explosion des autres parties ;
- limitation des aires des parties à risque d'explosion ;
- adoption de mesures de protection entre les parties à risque d'explosion et les autres parties, afin d'éviter la propagation des explosions et de la pression.

5.3 Explosions dans des locaux munis d'évents

(1) En général, il y a beaucoup de variables et de paramètres inconnus, quelques-uns n'étant pas maîtrisés, ce qui rend complexe et inexacte l'estimation effective et la modélisation des effets d'une explosion.

(2) Dans le cas de la catégorie 2, et pour un événement se produisant dans une seule pièce, on peut effectuer le calcul des éléments clefs de la structure avec un modèle de charge statique équivalente, en utilisant les procédés décrits soit en 5.3 (3) soit en 5.3 (4).

(3) Chaque élément clef et ses liaisons sont dimensionnés pour résister à une pression statique accidentelle minimale dont la valeur de calcul est $p_d = \underline{20}$ kN/m². Cette pression est à appliquer suivant n'importe quelle direction, simultanément avec toute réaction dont on peut estimer qu'elle est transmise directement à l'élément, par un élément de liaison soumis également à la même pression.

(4) Les éléments clefs sont dimensionnés pour résister aux effets d'une explosion intérieure de gaz naturel, utilisant une pression statique équivalente nominale, qui est la plus grande des deux valeurs résultant des expressions ci-après :

$$p_d = 3 + p_v \quad (5.1)$$

ou

$$p_d = 3 + p_v/2 + 0,04 (A_v/V)^2 \quad (5.2)$$

où :

p_v est la pression statique uniformément répartie à partir de laquelle les événements ne résistent pas, en (kN/m²) ;

A_v est la surface des événements en mètres carrés ;

V est le volume du local, en mètres cubes

Le rapport entre la surface des événements et le volume doit satisfaire (5.3) :

$$0,05 (1/m) \leq A_v/V \leq 0,15 (1/m) \quad (5.3)$$

Les expressions (5.1) et (5.2) sont valables pour un local d'un volume total n'excédant pas 1000 m³.

La pression explosive agit effectivement de manière simultanée sur toutes les surfaces délimitant le local.

NOTE 1 Lorsque des composants du bâtiment ayant diverses valeurs p_v contribuent à la surface d'évacuation, il faut utiliser la valeur p_v la plus élevée.

(5) Les alinéas 5.3 (3) et 5.3 (4) s'appliquent à des bâtiments qui disposent d'une source d'alimentation en gaz naturel, ou qui peuvent disposer de cette alimentation dans l'avenir, pour lesquels une explosion de gaz naturel peut être considérée comme une situation de projet accidentelle à prendre en compte. Pour le dimensionnement des bâtiments où l'installation de gaz naturel est totalement impossible, une valeur réduite de la pression statique équivalente p_d peut être appropriée. Il convient que les éléments clefs aient une robustesse appropriée pour résister à d'autres situations de projet accidentelles, voir section 3.

Annexe A (Informative)

Calcul affiné au choc

A.1 Généralités

(1) Un calcul affiné pour les actions accidentelles dues au choc peut inclure un ou plusieurs des aspects suivants :

- effets dynamiques ;
- comportement non linéaire du matériau ;
- aspects probabilistes ;
- analyse des conséquences ;
- optimisation économique des mesures d'atténuation

(2) A défaut d'une quantification des conséquences et d'une optimisation économique, une probabilité de ruine de 10^{-4} par an, paraît appropriée pour les actions accidentelles.

NOTE Pour des actions variables, la probabilité de dépassement, est conformément à l'ENV 1991-1, pour une période de référence de 50 ans :

$\Phi(-\alpha\beta) = \Phi(-0,7 \times 3,8) = \Phi(-2,7) = 0,003$. Ceci correspond à une probabilité de $0,6 \times 10^{-4}$ par an.

A.2 Dynamique du choc

(1) Le choc est un phénomène d'interaction entre l'objet et la structure. Pour déterminer les forces à l'interface entre l'objet et la structure, il y a lieu de considérer ceux-ci comme un système global.

(2) Bien entendu, des approximations sont possibles, par exemple en supposant que la structure est rigide et immobile et que l'objet qui produit le choc peut être modélisé par un barreau continu élastique équivalent (voir figure A.1). Dans ce cas, la force d'interaction maximale résultante et la durée de l'action sont données par :

$$F = v_r \sqrt{k m} \quad (\text{A.1})$$

$$\Delta t = \sqrt{m / k} \quad (\text{A.2})$$

où :

v_r est la vitesse de l'objet au moment du choc ;

k est la rigidité élastique équivalente de l'objet = EA/ℓ ;

m est la masse de l'objet qui produit le choc = $\rho A \ell$;

ℓ est la longueur du barreau ;

A est la surface de la section transversale ;

E est le module d'élasticité ;

ρ est la masse volumique du barreau

La forme de la force due au choc est une « fonction bloc » ; s'il y a lieu, un temps de croissance peut être appliqué (voir figure A.1).

(3) L'expression (A.1) donne la valeur maximale de la force sur la surface extérieure de la structure. A l'intérieur de la structure, ces forces peuvent engendrer des effets dynamiques. Une valeur maximale pour ces effets peut être trouvée en supposant que la structure a un comportement élastique et que la charge est conçue comme une fonction à un palier. Dans ce cas, le coefficient de majoration dynamique φ_{dyn} est 2,0. Si la nature de l'impulsion de la charge est prise en compte, les calculs conduiront à des coefficients de majoration φ_{dyn} échelonnés de 1,0 jusqu'à 1,8 en fonction des caractéristiques dynamiques de la structure et de l'objet. Toutefois, en général il est recommandé d'utiliser un calcul dynamique non linéaire pour déterminer les charges précisées dans la présente annexe.

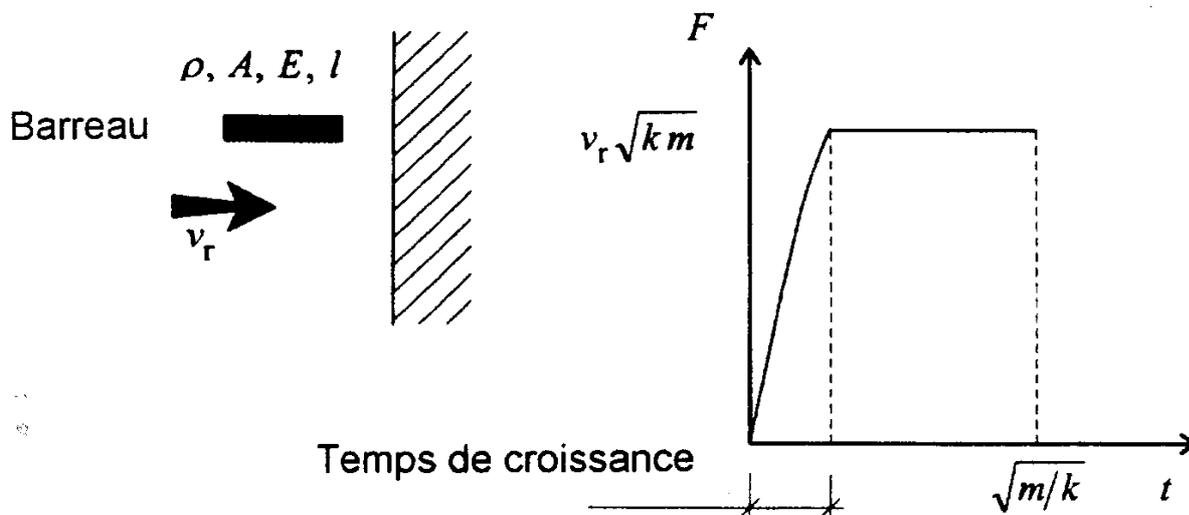


Figure A.1 – Modèle de choc

A.3 Choc produit par des poids lourds

(1) A défaut d'un calcul détaillé, la probabilité qu'un élément de structure soit abordé par un poids lourd qui a quitté sa voie, peut être supposée égale à 0,01 par an. La probabilité de ruine visée pour un élément de structure, considérant qu'un poids lourd arrive dans sa direction est en conséquence de $10^{-4}/10^{-2} = 0,01$.

(2) Considérant qu'un poids lourd aborde un élément de structure, ainsi que la probabilité de ruine visée conforme à A.3 (1), la valeur de calcul de la force F_d peut être déduite de :

$$P \left\{ \sqrt{mk \left(v_r^2 - 2as \right)} > F_d \right\} = 0,01 \tag{A.3}$$

où :

a est la décélération du poids lourd après avoir quitté la voie ;

s est la distance entre le point où le poids lourd quitte la voie et l'élément de structure, voir figure 4.1.

Pour les autres variables voir (A.1) et (A.2).

L'information probabiliste nominale concernant les variables de base, basée partiellement sur des données statistiques et partiellement sur l'appréciation technique, est donnée dans le tableau A.1.

(3) Sur la base des données et des objectifs de la présente Annexe, les valeurs de calcul de la force due au choc peuvent être déterminées comme suit :

$$F_d = F_o \sqrt{1 - s/s_{br}} \quad (A.4)$$

où :

F_o est la force de collision

s_{br} est la distance de freinage.

Les valeurs sont présentées dans le tableau A.2. Ce tableau contient également les valeurs de calcul pour m et v . Une déviation de 30 degrés de la direction de la route peut être adoptée pour les poids lourds, après freinage.

(4) A défaut d'une analyse dynamique, la majoration dynamique de la réponse élastique peut être prise égale à 1,4.

Tableau A.1 - Données hypothétiques pour le calcul probabiliste de la force de collision

variable	désignation	lois de distribution	valeur moyenne	écart type
v	Vitesse du véhicule			
	- grande route	lognormal	80 (km/h)	10 (km/h)
	- agglomération urbaine	lognormal	40 (km/h)	8 (km/h)
	- cour	lognormal	15 (km/h)	5 (km/h)
	- parking	lognormal	5 (km/h)	5 (km/h)
a	décélération	lognormal	4 (m ² /s)	1,3 (m/s ²)
m	masse du véhicule (poids lourd)	normal	20 (ton)	12 (ton)
m	masse du véhicule (voiture)	-	1 500 (kg)	-
k	rigidité du véhicule	déterministe	300 (kN/m)	-

Tableau A.2 - Valeurs de calcul de la masse, de la vitesse et de la force de collision F_o

Type de route	Masse m (kg)	Vitesse v (km/h)	Décélération a (m/sec ²)	Force de collision basée sur (A.1) F_o (kN)	Distance de freinage S_{br} (m)
Autoroute	30 000	90	3	2 400	90
Agglomération urbaine	30 000	50	3	1 300	40
Cours					
	- uniquement voitures	1 500	20	3	120
- aussi poids lourds	30 000	15	3	400	5
Parkings					
- uniquement voitures	1 500	10	3	90	4

NOTE Les valeurs de ce tableau sont sensiblement supérieures à celles du tableau 4.1 du texte principal ; néanmoins, si la structure est calculée en utilisant des modèles dynamiques non linéaires, les dimensions exigées pour la structure seront souvent du même ordre.

A.4 Choc produit par des trains

(1) Il est fait référence au rapport 777/2R de l'UIC SC 7 J (Mai 1996) ayant comme titre : STRUCTURES CONSTRUITES AU-DESSUS DES LIGNES DE CHEMIN DE FER (Exigences constructives au voisinage des voies).

A.5 Choc produit par des bateaux

(1) Lorsque des données concernant les types de bateaux, les intensités du trafic, la probabilité d'erreur et les vitesses de navigation sont connues, une force de calcul F_d peut être déduite de la relation suivante (voir figure A.2).

$$P(F > F_d) = nT(1-p_a) \iint \lambda(x) P[v_r(x,y) \sqrt{km} > F_d] f_s(y) dx dy = 10^{-4} \quad (A.5)$$

où :

$v_r(x,y)$ est la vitesse de choc du bateau, considérant la déviation ou la défaillance mécanique au point (x,y) ;

k est la rigidité équivalente du bateau ;

m est la masse du bateau ;

n est le nombre de bateaux par unité de temps (intensité du trafic) ;

T est la durée de référence (1 an) ;

p_a est la probabilité qu'une collision soit évitée par une intervention humaine ;

est la probabilité d'une défaillance par unité de distance de navigation ;

$f_s(y)$ est la distribution de la position initiale du bateau dans la direction y ;

(2) Comme une approximation de l'expression (A.5), on peut utiliser pour, déduire la force F_d , l'expression (A.1). Il est recommandé qu'en appliquant de l'expression (A.1) l'on utilise la valeur moyenne de la masse pour la classe du bateau définie dans le tableau 4.3 du texte principal, une vitesse de calcul v_{rd} égale à 3 m/s majorée de la vitesse de l'eau et une valeur $k = 15$ MN/m pour les navires navigant en mer et $k = 5$ MN/m pour les bateaux de navigation intérieure.

(3) La durée de l'action peut être déduite de l'expression (A.2). Dans les cas où le temps de croissance est important, il peut être supposé égal à u_e/v_{rd} , où u_e est la déformation élastique pour laquelle on peut adopter une valeur de 0,1 m.

(4) A défaut d'un calcul dynamique, un coefficient de choc frontal de 1,3 et un coefficient de choc latéral de 1,7 sont recommandés.

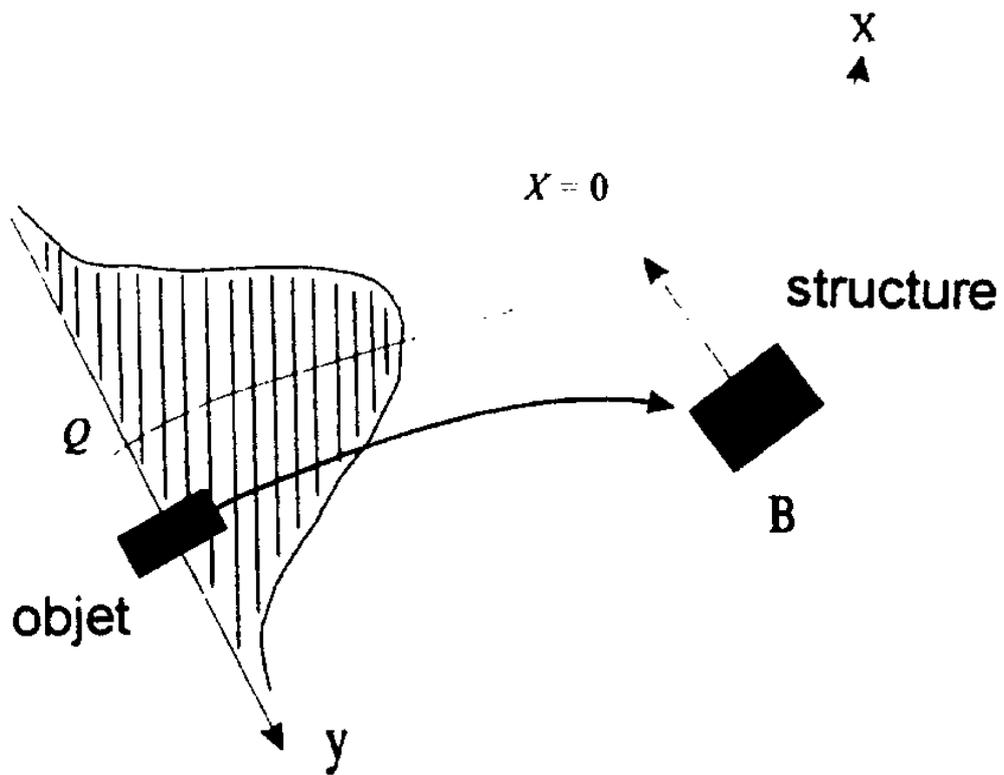


Figure A.2 - Scénario de collision pour un bateau

Annexe B (Informative) Explosions

B.1 Généralités

(1) Un calcul affiné en cas d'explosions peut inclure un ou plusieurs des aspects suivants :

- calculs de la pression de l'explosion, incluant les effets du confinement et de la rupture des panneaux ;
- aspects probabilistes et analyse des conséquences ;
- optimisation économique de mesures atténuantes.

(2) A défaut de quantification des conséquences, et d'optimisation économique, une probabilité de défaillance de 10^{-4} par an, paraît appropriée pour les actions accidentelles.

NOTE Pour les actions variables, la probabilité de dépassement est, conformément à l'ENV 1991-1, pour une période de référence de 50 ans :

$\phi(-\alpha\beta) = \phi(-0,7 \times 3,8) = \phi(-2,7) = 0,003$. Ceci correspond à une probabilité de $0,6 \times 10^{-4}$ par an.

B.2 Structures de la catégorie 3

(1) Il convient d'identifier les emplacements critiques où les explosions pourraient s'amorcer. Il convient que les pressions de l'explosion sur les éléments de la structure soient estimées en tenant compte, selon le cas, des réactions transmises aux éléments de structure par des éléments non structuraux. Il convient de tenir compte de la dissipation probable du gaz dans tout le bâtiment, de l'effet de ventilation, de la géométrie du local, ou du groupe de locaux considérés etc. On peut admettre la défaillance des éléments qui ne sont pas des éléments clefs, et des dommages des éléments clefs seulement dans la mesure où ils conservent leur intégrité structurale. Il est recommandé de procéder au calcul dans le cas du gaz propane, à moins que la probabilité qu'un tel gaz puisse être un jour présent dans le bâtiment soit suffisamment faible.

(2) Le pic des pressions estimé peut être supérieur aux valeurs présentées dans le texte principal de la présente Partie, mais ceci peut être considéré dans le contexte d'une durée d'action de 0,2 s maximum et du comportement plastique ductile du matériau (pourvu que le détail des liaisons soit approprié pour assurer un comportement ductile).

B.3 Explosions de poussières

(1) Dans des circonstances normales, le type de poussière peut être pris en compte par un paramètre du matériau K_{St} qui caractérise le comportement de l'explosion dans un espace confiné. K_{St} peut être déterminé expérimentalement par des méthodes normalisées pour chaque type de poussière. Une valeur supérieure conduit à des pressions plus importantes et à des temps plus courts de montée des pressions d'explosions intérieures. La valeur de K_{St} dépend de facteurs tels que les changements de composition chimique, de la dimension des particules et de leur teneur en eau. Les valeurs de K_{St} contenues dans le tableau B.1 sont des exemples.

NOTE Voir ISO 6184-a Systèmes de protection contre l'explosion – Partie 1 : Détermination des indices d'explosion pour les poussières combustibles dans l'air.

(2) La surface de ventilation et la valeur de calcul de la pression pour les explosions de produits en poudre à l'intérieur d'un silo unicellulaire peuvent être déduites des expressions ci-après :

$$A_v = 4,5 \times 10^{-5} \times K_{St} \times K_{h/d} \times V^{0,77} / p_d^{0,57} \quad (B.1)$$

$$K_{h/d} = \begin{cases} 1 + \ln(h/d)(4 - 0,8 \ln(p_d)) & \text{pour } 20 \text{ kN/m}^2 \leq p_d \leq 150 \text{ kN/m}^2 \\ 1 & \text{pour } 150 \text{ kN/m}^2 \leq p_d \leq 200 \text{ kN/m}^2 \end{cases} \quad (B.2)$$

où :

$\ln(..)$ = est le logarithme népérien de (..) ;

A_v est la surface des événements en mètres carrés ;

K_{st} voir tableau B.1. ($\text{kN/m}^2 \times \text{m/s}$) ;

V est le volume en mètres cubes ;

p_d est la valeur de calcul de la pression, en kilonewtons par mètre carré ;

h est la hauteur de la cellule de silo, en mètres ;

d est le diamètre ou le diamètre équivalent de la cellule du silo, en mètres.

Les expressions (B.1) et (B.2) peuvent être utilisées directement pour déterminer la surface d'évacuation, mais seulement par itération pour déterminer la valeur de calcul de la pression.

Les expressions (B.1) et (B.2) sont valables pour :

- $h/d \leq 12$;
- pression statique d'activation du disque de rupture $p_a \leq 0,10 \text{ kN/m}^2$;
- disques de rupture et panneaux de masse réduite, répondant presque sans inertie.

(3) Dans les explosions de poussières, les pressions atteignent leur valeur maximale dans un intervalle de temps de l'ordre de $100 \cdot 10^{-6}$ s. Leur décroissance jusqu'à des valeurs normales dépend fortement du dispositif de ventilation et de la géométrie de l'enceinte.

Tableau B.1 : Valeurs K_{st} pour les poussières

Type de poussières	K_{st} ($\text{kN/m}^2 \times \text{m/s}$)
lignite	18 000
cellulose	27 000
café	9 000
maïs, maïs broyé	12 000
amidon de maïs	21 000
céréales	13 000
lait en poudre	16 000
charbon minéral	13 000
fourrages mélangés	4 000
papier	6 000
farine de pois	14 000
colorant	29 000
caoutchouc	14 000
farine de seigle, farine de blé	10 000
farine de soja	12 000
sucre	15 000
lessive en poudre	27 000
bois, farine de bois	22 000

B.4 Explosions dans les tunnels

(1) En cas de détonation il convient de prendre en compte la pression, en fonction du temps, comme suit ; (voir figure B.1 (a)) :

$$p(x,t) = p_0 \exp\left\{-\left(t - \frac{|x|}{c_1}\right)/t_0\right\} \quad \text{pour } \frac{|x|}{c_1} \leq t \leq \frac{|x|}{c_2} - \frac{|x|}{c_1} \quad (\text{B.3})$$

$$p(x,t) = p_0 \exp\left\{-\left(\frac{|x|}{c_1} - 2\frac{|x|}{c_2}\right)/t_0\right\} \quad \text{pour } \frac{|x|}{c_2} - \frac{|x|}{c_1} \leq t \leq \frac{|x|}{c_2} \quad (\text{B.4})$$

$$p(x,t) = 0 \quad \text{le reste du temps} \quad (\text{B.5})$$

où :

p_0 est le pic de pression (= 2000 kN/m²) ;

c_1 est la vitesse de propagation de l'onde de choc (~1 800 m/s) ;

c_2 est la vitesse de propagation acoustique dans des gaz chauds (~800 m/s) ;

t_0 est la constante du temps (= 0,01 s) ;

$|x|$ est la distance jusqu'au foyer de l'explosion ;

t est le temps ;

(2) En cas de déflagration il convient de prendre en compte la pression en fonction du temps comme suit, (voir figure B.1 (b)) :

$$p(t) = 4p_0(t/t_0)(1-t/t_0) \quad \text{pour } 0 \leq t \leq t_0 \quad (\text{B.4})$$

où :

p_0 est le pic de pression (= 100 kN/m²) ;

t_0 est la constante du temps (= 0,1 s) ;

t est le temps

Cette pression est valable pour toute la surface intérieure du tunnel.

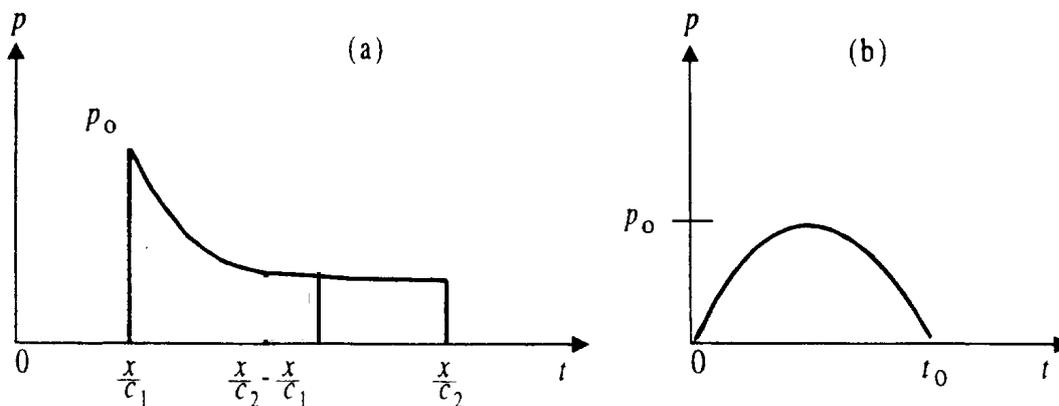


Figure B.1 - Pression en fonction du temps pour (a) une détonation et (b) une déflagration

Annexe C (Informative)

Indications supplémentaires pour le calcul

C.1 Dommages localisés acceptables pour les bâtiments

(1) Pour faciliter le dimensionnement de certains bâtiments, une petite partie du bâtiment peut devoir être privée de toute disposition contre l'effet d'un accident, ou peut devoir demeurer vulnérable au risque d'effondrement ; par exemple une partie du bâtiment ayant des ouvertures avec des recouvrements amovibles, ou une partie de la structure portante en maçonnerie d'un bâtiment. Il convient que ces parties du bâtiment soient limitées aux étages où un accident peut se produire et aux étages contigus.

C.2 Calcul simplifié pour les structures de catégorie 2 dans les bâtiments

(1) En fonction des circonstances particulières de la structure on peut effectuer des calculs simplifiés par des modèles statiques équivalents. Les mesures appliquées peuvent être déterminées par l'autorité compétente, voir également l'ENV 1991-1, 2.1 (4)P.

C.3 Mesures préventives et de protection en cas de trafic ferroviaire sous les ponts

(1) Sauf précision contraire, il convient que la priorité soit accordée à la réduction de la probabilité et des conséquences d'un choc par des mesures préventives et de protection. Il y a lieu que la stratégie soit déterminée par l'autorité concernée.