



Les deux «recommandations de protection des objets» contre les dangers naturels météorologiques et gravitationnels ont été revues en 2015/2016 pour refléter l'état actuel de la technique.

Elles sont consultables sur la plateforme protection-dangers-naturels. Vous pouvez télécharger les recommandations souhaitées et les informations générales en utilisant la fonction d'impression. Le présent PDF correspond à la recommandation de 2005.

www.protection-dangers-naturels.ch



Dangers naturels?

Les présentes recommandations traitent des dangers naturels suivants:

- Avalanches
- Crues
- Glissements de terrain
- Laves torrentielles
- Chutes de pierres

Ces phénomènes dangereux, qui surviennent chaque année, causent parfois d'importants dommages aux bâtiments. Lorsque c'est réalisable, on s'efforce d'esquiver le danger

en utilisant l'espace disponible. Mais considérons par exemple les inondations: il est clair qu'il n'est pas toujours possible de s'installer à l'abri de ce phénomène dans notre espace vital limité. Si le danger lui-même ne peut pas être réduit moyennant un coût raisonnable, il faut protéger les bâtiments en prenant des mesures dites «de protection des objets».

Protection des objets?

La protection des objets représente une solution efficace pour réduire le risque encouru par les personnes et par les biens. Le bâtiment considéré sera conçu de manière à être peu vulnérable aux phénomènes le menaçant, si bien qu'ils ne pourront lui occasionner que des dommages mineurs.

Des adaptations de faible ampleur permettent souvent d'éviter à bon escient que de nouvelles constructions subissent des dommages. En cas de danger d'inondation,

des dommages considérables peuvent être évités de la sorte sans qu'il faille limiter l'utilisation des bâtiments ni supporter un coût supplémentaire.

D'une manière générale, les stratégies suivantes peuvent être appliquées pour protéger des objets:

Type de danger	Construction	Stratégie de protection des objets
Avalanche	Existante	<ul style="list-style-type: none"> · Renforcement des ouvertures et des parois extérieures · Construction de digues ou d'étraves (effet d'écran)
	Nouvelle	<ul style="list-style-type: none"> · Emplacement des ouvertures, forme de l'ouvrage, renforcement · Construction de digues ou d'étraves, exécution sous forme de toit-terrain
Crue	Existante	<ul style="list-style-type: none"> · Protection contre le reflux dans les canalisations, ancrage des citernes à mazout · Surélévation des soupiraux, construction de digues ou de murs · Etanchement des ouvertures et des parois extérieures
	Nouvelle	<ul style="list-style-type: none"> · Surélévation du rez-de-chaussée ou des ouvertures · Concept approprié d'utilisation des espaces intérieurs · Agencement sur remblai ou construction de murs et de digues

Type de danger	Construction	Stratégie de protection des objets
Glissement de terrain et effondrement	Existante	<ul style="list-style-type: none"> · Introductions des conduites souples, évacuation des eaux pluviales · Stabilisation de la masse en glissement, renforcement du bâtiment
	Nouvelle	<ul style="list-style-type: none"> · Aménagement du terrain, choix du site, rigidité du bâtiment · Stabilisation et renforcement
Lave torrentielle et coulée de boue	Existante	<ul style="list-style-type: none"> · Renforcement des ouvertures et des parois extérieures · Construction de digues ou d'étraves (effet d'écran)
	Nouvelle	<ul style="list-style-type: none"> · Forme de l'ouvrage, emplacement et hauteur des ouvertures, renforcement · Construction de digues ou d'étraves, position surélevée
Chute de pierres et de blocs	Existante	<ul style="list-style-type: none"> · Coffrage et renforcement · Construction de digues, murs ou filets (effet d'écran)
	Nouvelle	<ul style="list-style-type: none"> · Emplacement des ouvertures et concept d'utilisation de l'espace extérieur · Coffrage et renforcement des parois extérieures · Construction de digues, murs ou filets, exécution sous la forme de toit-terrain

Quel que soit l'éventail des solutions offertes, la protection des objets est confrontée à des limites techniques. Elles sont atteintes lorsque les événements ont une intensité exceptionnelle (danger élevé selon la carte de dangers). Les renforcements usuels ne permettent pas de s'opposer aux

contraintes qui règnent alors. Pour cela, il faudrait construire de véritables bunkers. Indépendamment du danger encouru par les bâtiments, signalons que l'accès aux biens-fonds peut comporter des risques lorsqu'un événement se produit, et qu'il peut s'en trouver impraticable.

Les présentes recommandations s'adressent aux ingénieurs, aux architectes et aux autorités en charge de la construction. Les exposés et les renseignements qu'elles proposent devraient permettre d'élaborer des solutions sur mesure pour sécuriser les nouvelles constructions, les transformations ou, d'une manière générale, tous les objets nécessitant une protection. Les autorités locales en charge de la construction contrôlent la pertinence des mesures prévues dans le cadre des procédures d'octroi de permis

de construire. A l'heure actuelle, des premières cartes de dangers décrivent la nature et le degré du danger qui menace des zones habitées. La situation varie d'un canton à l'autre, mais d'importants efforts sont consentis pour élaborer ces documents. Là où ces cartes font défaut, le danger doit être évalué sur la base de descriptions des événements historiques ou en faisant appel à un spécialiste des dangers naturels.

6 Qui est concerné, et quand?

Dangers naturels

Les principaux dangers naturels auxquels la Suisse est confrontée peuvent être classés comme suit:

Classes	Types de dangers
Dangers gravitationnels	Avalanches, crues, glissements de terrain, laves torrentielles, chutes de pierres et de blocs, éboulements, écroulements, chutes de glace
Dangers climatiques	Sécheresse, vagues de froid ou de chaleur, tempêtes, grêle, pluies intenses, neige
Dangers tectoniques	Tremblements de terre

La classe des dangers gravitationnels est intimement liée à la situation locale, ce qui implique que ces dangers ne sont pas présents en tout lieu. Ils sont localisés dans l'espace et il n'est pas rare que des zones de danger élevé côtoient des zones sûres. C'est pourquoi ces dangers revêtent une grande importance pour l'aménagement du territoire.

Lorsqu'on parle de «zones de danger» dans le cadre de plans directeurs ou de plans d'affectation (plans de zones communaux), on entend par là les périmètres menacés par des dangers gravitationnels. Ces derniers sont principalement dus à l'action de la gravité et leur zone d'effet est généralement délimitée par la topographie.

Il découle de ces caractéristiques qu'on peut échapper aux dangers gravitationnels en se déplaçant dans l'espace, ce qui n'est guère possible face aux dangers climatiques et tectoniques qui affectent la Suisse. Ainsi, tout bâtiment est par exemple exposé aux tremblements de terre. C'est pourquoi les mesu-

res de protection des objets contre les actions sismiques font désormais partie intégrante des normes de construction.

En revanche, les effets des dangers gravitationnels ne doivent être pris en considération que dans les projets de construction en zone de danger (cf. « Prescriptions types pour les règlements de construction » à la fin de ce chapitre). On localise les zones menacées en procédant à des analyses de danger, puis on les fait figurer dans des cartes de dangers. Les résultats sont pris en compte pour l'aménagement du territoire et intégrés dans les règlements de construction applicables aux périmètres concernés.

1

Les différents dangers gravitationnels sont décrits sous l'angle du danger qu'ils font peser sur les objets concernés.

Ce n'est donc ni le déclenchement ni le déroulement du phénomène naturel traité qui figure au centre du propos, mais son mode d'action.

2

Avalanches

Les avalanches peuvent être classées selon divers critères. La distinction entre avalanches coulantes et poudreuses est pertinente du point de vue des mesures visant à protéger des objets. Autre phé-

nomène requérant des mesures de protection, le glissement de la neige est également traité sous cette rubrique.

3

Avalanches: Avalanches coulantes

Les masses neigeuses dévalent la pente principalement en coulant ou en glissant. Les blocs de neige, de diverses tailles, restent en contact avec le sol. La densité d'une avalanche coulante est comparable à celle du manteau neigeux déposé naturellement. On parle d'avalanche superficielle lorsque le plan de glissement se trouve à l'intérieur du manteau neigeux dans la zone de rupture, tandis qu'une avalanche de fond commence à glisser sur le sol. Une avalanche de fond avec arrachement désigne une avalanche de printemps, lourde et

mouillée, qui charrie des matériaux étrangers et s'écoule généralement dans une section en forme de ravine. Les avalanches coulantes ont une vitesse de 10 à 40 m/s le long de leur trajectoire. Elles génèrent des pressions dynamiques à même de détruire des bâtiments.

4



5

Avalanches: Avalanches poudreuses

Les avalanches poudreuses se développent toujours à partir d'avalanches coulantes. Elles se composent d'un nuage de neige tourbillonnant qui se déplace en jaillissant dans l'air. Les avalanches purement poudreuses, sans composante coulante, ne se rencontrent que lorsqu'une avalanche coulante se trouve entièrement en suspension lors d'une chute en terrain raide ou lorsque la composante coulant au sol et la poussière de neige sont séparées en raison des caractéristiques du terrain. Par rapport aux avalanches coulantes, la densité des avalanches poudreuses est nettement moindre et leur hauteur notablement supérieure. Leur vitesse est de 20 à 80 m/s. Elles peuvent même causer des dommages sur de vastes périmètres dans le versant opposé. Leur souffle est capable de renverser

des arbres et des pylônes ou d'endommager gravement des fenêtres et des toits de bâtiments. La poussière de neige comprimée contre les façades reste visible un certain temps.

6



7

Avalanches: Glissement de la neige

Les talus lisses et très ensoleillés sont parfois le siège de mouvements continus de glissement et de reptation du manteau neigeux. Les glissements marqués peuvent être soulignés par une rupture typique en forme de croissant. L'arrière des bâtiments subit alors des forces

considérables dues à la pression de la neige.



Crues

Les crues sont dangereuses par l'érosion des berges et par les inondations qu'elles provoquent. Du point de vue de la protection

des objets, il faut tenir compte des effets de l'eau, mais aussi des matériaux solides entraînés par les crues (matériaux charriés, sédiments, bois flottant, etc.).

Crues: Erosion des berges

Les effets de l'érosion des berges sont de deux natures. Ils comprennent les atteintes directement occasionnées par le courant et le glissement des berges. Le critère prépondérant pour la sécurité des bâtiments et des installations exposés aux atteintes directes du courant est leur résistance vis-à-vis des actions dynamiques de l'eau et des matériaux solides charriés. Dans le cas du glissement des berges, c'est la profondeur des fondations qui est déterminante. Les berges affouillées, les

goulets d'étranglement et les emplacements comportant des obstacles à l'écoulement sont particulièrement exposés à l'érosion des berges.



Crues: Inondations

Le développement des inondations diffère selon la topographie du site affecté et du type de débordement hors des cours d'eau. En terrain plat, de type plateau, et autour des lacs, les vitesses d'écoulement et de montée des eaux sont généralement assez faibles. Le paramètre prépondérant pour l'ampleur des dommages est la hauteur maximale d'inondation. En terrain raide ou en forme de cuvette, ainsi qu'aux environs des resserrments du lit des cours d'eau (localités), il faut s'attendre à des vitesses d'écoulement supérieures. Il en va de même à proximité des brèches dans les digues. Dans ce cas, les paramètres prépondérants pour l'ampleur des dommages sont la hauteur d'inondation et la vitesse d'écoulement. A l'intérieur des périmètres inondés, des dommages peuvent aussi être

provoqués localement par des phénomènes d'érosion et d'alluvionnement. Les dommages subis par les objets sont dus aux actions dynamiques ainsi qu'à l'humidité et à l'incrustation de saouilles.



1 Glissements de terrain

Les glissements de terrain peuvent être classés selon divers critères. Du point de vue de la protection des objets, le paramètre principal est la profondeur du plan de glissement.

2 Glissements de terrain: Glissements superficiels

Sont dits superficiels les glissements de terrain dont le plan de glissement se trouve à une profondeur maximale de 2 m. Le volume des matériaux solides déplacés est limité. Il s'agit habituellement de phénomènes qui se déclenchent spontanément lors de précipitations exceptionnelles. Des épisodes pluvieux intenses et de longue durée sont à l'origine de pressions interstitielles élevées dans le sol. Les glissements de terrain peuvent dégénérer en coulées de boue lorsque le sol est fortement saturé en eau (cf. « coulées de boue » deux pages plus loin). Les glissements superficiels sont rarement en mouvement continu. Si l'on rencontre souvent des phénomènes de reptation du sol, ils ne sont pas liés à un plan de glissement au sens propre.

3

4

5 Glissements de terrain: Glissements semi-profonds à profonds

On parle de glissement semi-profond lorsque le plan de glissement se trouve à une profondeur de 2 à 10 m et de glissement profond lorsqu'il est à plus de 10 m. Le mode de formation de ce plan et l'évolution du mouvement peuvent être fort différents. Il existe de nombreuses formes intermédiaires entre les deux extrêmes que sont le glissement continu et le mouvement spontané unique. La surface de glissement peut être incurvée comme une demi-sphère (glissement rotationnel) ou plane (glissement translationnel, à la manière d'un tiroir). Ici également, toutes sortes de formes intermédiaires sont possibles selon la constitution du terrain.

Ces types de glissements mettent en mouvement des volumes solides supérieurs de plusieurs ordres de grandeur aux masses mises en

Les actions des glissements superficiels sur les ouvrages sont dues à la poussée générée par les masses de terre en mouvement. En ce qui concerne les bâtiments, il s'agit généralement d'actions sur les parois extérieures, qui n'affectent pas les fondations.



jeu par les glissements superficiels. C'est pourquoi ils génèrent rapidement des forces de poussée qu'on ne peut plus contraindre, ou alors au prix d'ouvrages de soutènement très onéreux. En règle générale, les bâtiments situés sur de tels glissements sont entièrement entraînés par le mouvement. L'ampleur des dommages qu'ils subissent dépend notamment de la grandeur et de l'homogénéité des vitesses de mouvement sur l'ensemble du corps en glissement.



7

Glissements de terrain: Phénomènes de tassement et d'effondrement

Des phénomènes de tassement et d'effondrement se produisent lorsque des matériaux solides sont soustraits dans le sous-sol. Ce processus est dû à la lixiviation d'une roche souterraine soluble (gypse,

cornieule, calcaire) ou au lessivage de fractions fines (érosion interne). Il se manifeste en surface par des mouvements verticaux graduels (tassement) ou spontanés (effondrement).



Laves torrentielles

Une simplification sommaire consiste à considérer la lave torrentielle comme une forme intermédiaire entre la crue et le glissement de terrain. Ce processus est aussi couramment assimilé à des phénomènes tels que coulées de boue ou de débris. Les laves torrentielles descendent dans le lit de cours d'eau raides et sur des pentes de forte déclivité (coulées de boue). Le passage d'une lave torrentielle dans le lit d'un cours d'eau pro-

voque souvent une importante érosion latérale et verticale. L'action générée dans ce cas est comparable à l'action provoquée par l'érosion des berges lors d'une crue. Lorsqu'une lave torrentielle déborde, on parle en allemand d'«Übermürung», terme sans équivalent en français qui désigne un dépôt de lave torrentielle constitué de blocs, d'éboulis et d'alluvions.

Laves torrentielles: Dépôts issus de lits de cours d'eau (laves torrentielles au sens propre)

L'action prépondérante de la lave torrentielle est la force de poussée due au mélange d'eau et de matériaux solides charriés. Selon la topographie et l'agencement

de l'ouvrage affecté, celui-ci sera simplement contourné ou submergé par les eaux. Il pourra aussi subir des chocs.



1 Laves torrentielles: Dépôts issus de pentes (coulées de boue)

Les coulées de boue se forment sur des pentes relativement raides. Les masses de matériaux meubles saturés se mettent subitement en mouvement. La teneur en eau élevée facilite leur écoulement, ce qui peut provoquer la mobilisation de tout le corps instable. L'action sur les constructions est comparable à l'action générée par le dépôt d'une lave torrentielle issue du lit d'un cours d'eau.



2

3 Phénomènes de chute

Sont examinées ici la chute de pierres et la chute de blocs. La chute de glace sera traitée par analogie, en modifiant uniquement la masse volumique. L'éboulement et l'écroulement ne sont pas abordés

dans ce contexte, car ils mettent en jeu des masses et des énergies qui dépassent les possibilités des mesures de protection des objets.

4 Phénomènes de chute: Chutes de pierres et de blocs

Ces phénomènes sont caractérisés par la chute sporadique de pierres (diamètre moyen < 0.5 m) ou de blocs (diamètre moyen > 0.5 m) plus ou moins isolés. Ce processus, répété ou soumis à des pointes saisonnières, témoigne de la désagrégation continue d'une zone de décrochement, telle que falaise rocheuse, déterminée par les conditions géologiques et par l'altération. Les vitesses de chute vont généralement de 5 m/s à plus de 30 m/s. En ce qui concerne le mode de mouvement, il y a lieu de

faire une distinction entre le saut et le roulement. En règle générale, la vitesse des pierres et des blocs diminue régulièrement dans les pentes de déclivité inférieure à 30° . La longueur des sauts diminue simultanément. Les forêts ou autres zones boisées denses absorbent également une part plus ou moins importante de l'énergie des corps en mouvement. L'action sur les ouvrages est due à la force de poussée des projectiles, qui est essentiellement déterminée par leur vitesse et par leur masse.

5

6

7



Méthode d'élaboration des cartes de dangers

Les explications à ce propos sont basées sur les directives et recommandations fédérales suivantes:

- Directives pour la prise en considération du danger d'avalanches lors de l'exercice d'activités touchant l'organisation du territoire. Office fédéral des forêts, Institut fédéral pour l'étude de la neige et des avalanches, 1984.
- Recommandations: Prise en compte des dangers dus aux crues dans le cadre des activités de l'aménagement du territoire. Office fédéral de l'économie des eaux, Office fédéral de l'aménagement du territoire, Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, 1997.

- Recommandations: Prise en compte des dangers dus aux mouvements de terrain dans le cadre des activités de l'aménagement du territoire. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, Office fédéral de l'économie des eaux, Office fédéral de l'aménagement du territoire, 1997.

La carte de dangers se compose d'une carte proprement dite et d'un rapport explicatif. La carte indique les degrés de danger, tandis que le texte fournit les explications et motivations requises.

Degrés de danger

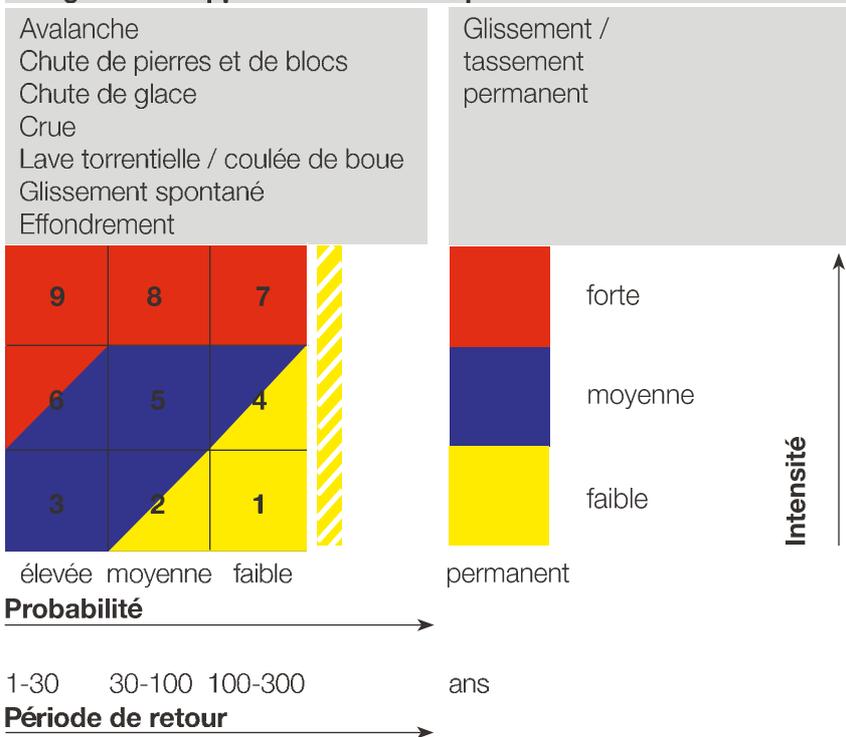
La carte de dangers, colorée en rouge, bleu, jaune et blanc, rend compte de l'importance des zones de danger pour l'aménagement du territoire, principalement en ce qui concerne la construction de bâtiments:

Zone de danger	Signification au plan technique	Importance pour l'aménagement du territoire
rouge	danger élevé	zone d'interdiction
bleu	danger moyen	zone de réglementation
jaune	danger faible	zone de sensibilisation
jaune-blanc	danger résiduel (intensité forte, probabilité très faible)	zone de sensibilisation
blanc	aucun danger connu ou danger négligeable selon l'état des connaissances actuelles	aucune limitation

Ce schéma simple est conçu pour une utilisation du terrain comportant des habitations.

Les couleurs caractérisant les zones de danger résultent de la combinaison de l'intensité et de la probabilité (fréquence ou période de retour) des phénomènes menaçants. Afin de prendre en compte les différences entre ces phénomènes, qui peuvent être très importantes, on applique des diagrammes spécifiques à chacun d'entre eux.

Diagrammes applicables selon les processus



Pour tous les phénomènes non permanents, il est en principe possible de faire figurer le danger résiduel dans la carte de dangers. Les chiffres désignant les champs de la matrice en couleurs symbolisent précisément la combinaison d'intensité et de probabilité à laquelle on est confronté.

Les classes d'intensité relatives aux différents types de dangers sont définies à la page suivante. Les recommandations fédérales ne préconisent aucun paramètre pour déterminer l'intensité des glissements spontanés et des effondrements.

Classes d'intensité

Phénomène	Intensité faible	Intensité moyenne	Intensité forte
Avalanche	$q < 3 \text{ kN/m}^2$	$3 \text{ kN/m}^2 < q < 30 \text{ kN/m}^2$	$q > 30 \text{ kN/m}^2$
Inondation, y compris épandage d'alluvions	$h_f < 0.5 \text{ m}$ ou $v_f * h_f < 0.5 \text{ m}^2/\text{s}$	$0.5 \text{ m} < h_f < 2 \text{ m}$ ou $0.5 < v_f * h_f < 2 \text{ m}^2/\text{s}$	$h_f > 2 \text{ m}$ ou $v_f * h_f > 2 \text{ m}^2/\text{s}$
Erosion des berges	$h_u < 0.5 \text{ m}$	$0.5 \text{ m} < h_u < 2 \text{ m}$	$h_u > 2 \text{ m}$
Lave torrentielle et coulée de boue	n'existe pas	$h_f < 1 \text{ m}$ ou $v_f < 1 \text{ m/s}$	$h_f > 1 \text{ m}$ et $v_f > 1 \text{ m/s}$
Chute de pierres / blocs	$E < 30 \text{ kJ}$	$30 \text{ kJ} < E < 300 \text{ kJ}$	$E > 300 \text{ kJ}$
Glissement / tassement permanent	$v_f \leq 2 \text{ cm/an}$	$2 \text{ cm/an} < v_f < 1 \text{ dm/an}$	$v_f > 1 \text{ dm/an}$ ou forts mouvements différentiels
Glissement spontané / glissement de berge	$h_r < 0.5 \text{ m}$	$0.5 \text{ m} < h_r < 2 \text{ m}$	$h_r > 2 \text{ m}$
Effondrement	n'existe pas	$h_s < 0.5 \text{ m}$ et $A_E < 1 \text{ are}$	$h_s > 0.5 \text{ m}$ ou $A_E > 1 \text{ are}$

E: énergie cinétique (cumul des énergies de translation et de rotation)
 q: pression
 h_f: hauteur d'eau
 h_r: profondeur du plan de glissement
 h_s: hauteur de l'effondrement

v_f: vitesse
 A_E: superficie de l'entonnoir d'effondrement
 h_u: profondeur d'érosion de la berge

Classes de fréquence

En vertu des recommandations fédérales citées précédemment, il y a lieu de distinguer les quatre classes de fréquence suivantes lorsqu'il s'agit de déterminer la probabilité d'occurrence ou la période de retour d'un événement

dans le cadre de l'appréciation du danger:

Probabilité	Période de retour
Elevée	1 à 30 ans
Moyenne	30 à 100 ans
Faible	100 à 300 ans
Très faible	plus de 300 ans

Cartes d'intensités

Des cartes dites d'intensités sont dressées pour chaque classe de fréquence étudiée. Elles restituent les trois classes d'intensité selon les recommandations fédérales pour tous les événements pris en compte dans chacune de ces

classes. Les actions déterminantes pour dimensionner les mesures de protection des objets peuvent être tirées de ces cartes d'intensités.

1 Référence à la norme SIA 260

Les présentes recommandations complètent les normes SIA 260, 261 et 261/1 en ce qui concerne l'action des dangers gravitationnels sur les bâtiments. Fixant la procédure à suivre pour déterminer les actions, elles fournissent une base homogène pour élaborer des projets. Elles se basent en outre sur la norme SIA 260 pour ce qui a trait au choix du concept de dimensionnement. Les objectifs de

protection doivent être définis dans la convention d'utilisation et le concept de protection stipulé dans la base du projet.

Sécurité structurale

Les points suivants peuvent être établis en s'appuyant sur des directives comparables complétant les normes SIA 260, 261 et 261/1:

2

3

Période de retour	Référence à la norme SIA 260
1 à 30 ans	Les intensités calculées (= actions) dans les cartes d'intensités correspondent à la valeur F_d selon la norme SIA 260, chiffre 4.4.2.1 $\gamma_F = 1.5$ (facteur de charge)
Plus de 30 ans et jusqu'à 100 ans	Les intensités calculées (= actions) dans les cartes d'intensités sont augmentées des facteurs de charge suivants pour correspondre à la valeur de calcul A_d selon la norme SIA 260, chiffre 3.2.2.8: $\gamma_F = 1.3$: facteur de charge pour les avalanches, les laves torrentielles et les chutes de pierres $\gamma_F = 1.2$: facteur de charge pour les crues et les glissements de terrain
Plus de 100 ans	Les intensités calculées (= actions) dans les cartes d'intensités sont augmentées des facteurs de charge suivants pour correspondre à la valeur de calcul A_d selon la norme SIA 260, chiffre 3.2.2.8: $\gamma_F = 1.2$: facteur de charge pour les avalanches, les laves torrentielles et les chutes de pierres $\gamma_F = 1.1$: facteur de charge pour les crues et les glissements de terrain

F_d : action normale
 A_d : action accidentelle

Aptitude au service

Les exigences concernant l'aptitude au service et les actions qu'il y a lieu de prendre en compte pour procéder aux vérifications nécessaires doivent être fixées en commun par l'auteur du projet et par le maître de l'ouvrage, puis elles seront stipulées dans la base du projet selon la norme SIA 260.

4

5

6

7

La subdivision en trois degrés de danger exposée à la page 17 et ses répercussions sur l'aménagement du territoire et le droit de la construction acquièrent

Sont qualifiés de zones de danger naturel les secteurs menacés par des phénomènes de crue, lave torrentielle, avalanche, glissement de terrain, chute de pierres, chute de blocs, éboulement ou chute de glace.

Les ouvrages et les aménagements situés dans les zones de danger naturel doivent satisfaire à des exigences particulières concernant la protection des personnes et des biens. Les recommandations « Protection des objets contre les dangers naturels gravitationnels » éditées par les Etablissements cantonaux d'assurance sont déterminantes à cet effet. Les prescriptions suivantes s'appliquent aux différentes zones de danger:

a) Zone de danger rouge: les ouvrages et les aménagements existants peuvent être entretenus et rénovés de manière pertinente. La mise en œuvre de mesures plus importantes, découlant par exemple de l'obligation de réaliser des mesures visant à protéger les objets concernés, demeure réservée. La construction de nouveaux ouvrages ou aménagements est interdite.

b) Zone de danger bleue: les ouvrages et les aménagements existants peuvent être entretenus et rénovés de manière pertinente. Les modifications plus importantes (transformations, extensions, remplacements, nouvelles constructions) ne sont admises que si le projet de construction comprend les mesures de protection des objets requises.

c) Zone de danger jaune: les transformations, extensions, remplacements et nouvelles constructions sont admis. Les mesures de protection des objets requises doivent être prises obligatoirement lorsqu'un ouvrage ou un aména-

un statut contraignant par le biais des prescriptions types suivantes, applicables aux règlements de construction (exemple du canton de St-Gall):

gement public est concerné. C'est également le cas lorsqu'un projet de construction particulier porte, par exemple, sur un ouvrage destiné à des rassemblements importants de personnes, comprenant des biens de valeur élevée ou présentant un potentiel important de dommages consécutifs. Pour les autres ouvrages et aménagements, la mise en œuvre de mesures visant à protéger les objets concernés est recommandée.

d) Pour les projets de construction situés à l'extérieur du périmètre concerné par la carte de dangers, il y a lieu de se référer à la carte indicative des dangers. Si elle signale l'existence d'un danger, la menace à laquelle l'objet concerné est exposé sera évaluée dans le cadre de la procédure en vue d'obtenir l'autorisation de construire. Les mesures visant à protéger les objets concernés sont obligatoires.

Les nouvelles constructions peuvent souvent être protégées en plaçant le rez-de-chaussée en position surélevée. L'insertion de la disposition suivante dans le règlement de construction permet d'appliquer cette mesure (exemple du canton de Nidwald):

Lorsque, pour des raisons de protection contre les dangers, le rez-de-chaussée doit être placé à une telle hauteur au-dessus du terrain naturel que le sous-sol compte pour un étage complet, le conseil communal peut augmenter d'une unité le nombre maximum d'étages complets autorisés.

Au voisinage des lacs, la mise en œuvre de mesures de protection des objets peut être imposée en fixant dans le règlement de construction une hauteur d'inondation à prendre en compte pour tous les bâtiments.

1 Les réglementations relatives aux projets de construction en zone de danger diffèrent d'un canton à l'autre. Veuillez vous renseigner auprès de l'établissement d'assurance de votre canton (ECA) avant d'établir votre projet.

Etape	Maître de l'ouvrage	Auteur du projet	Spécialiste des dangers naturels	Autorité en charge de la construction	Assurance des bâtiments	
Etablissement du projet	Avant-projet	Définit sa vision du projet	Consulte le plan de zone et le règlement de construction	Renseigne sur les documents existants utiles pour déterminer le danger		
		Fait réaliser une expertise spécifique en cas de manque d'informations concernant les dangers	Consulte les cartes de dangers / intensités et le rapport; contrôle si d'autres mesures sont prévues ou en cours d'exécution	Explique si nécessaire les résultats de la carte de dangers ou réalise une expertise spécifique en cas de manque d'informations concernant les dangers	Conseille l'auteur du projet pour la prévention des dommages causés par les forces de la nature	
		Définit les objectifs de protection pour chaque pièce et local du bâtiment dans le cadre de la convention d'utilisation	Etablit la convention d'utilisation avec le maître de l'ouvrage, choisit le concept de la structure et définit la base du projet	Renseigne si nécessaire au sujet de mesures de protection des objets qui ont fait leurs preuves		
	Projet		Identifie les situations de danger et détermine les sollicitations			
		Choisit la variante de projet définitive	Détermine l'agencement définitif du bâtiment et des alentours ainsi que les mesures de protection de l'objet			
			Procède au dimensionnement en vérifiant la sécurité structurale et contrôle l'aptitude au service			
			Déclare le degré de protection contre les dangers naturels atteint à l'autorité en charge de la construction et à l'établissement d'assurance des bâtiments	Assiste si nécessaire l'autorité en charge de la construction dans son examen du projet	Examine le projet sous l'angle des mesures prévues pour protéger l'objet	Conseille l'autorité en charge de la construction pour la prévention des dommages causés par les forces de la nature
Autorisation de construire				Octroie l'autorisation de construire, en l'assortissant éventuellement de conditions complémentaires	Peut signaler une exclusion de l'assurance (diffère selon le canton)	

Etape	Maître de l'ouvrage	Auteur du projet	Spécialiste des dangers naturels	Autorité en charge de la construction	Assurance des bâtiments
Construction	Examine certains points	Suit l'exécution des travaux, veille à la bonne réalisation des mesures de protection		Procède aux contrôles de la construction	Peut contrôler la construction si un objet sensible est concerné (diffère selon le canton)
Réception des travaux	Prend l'ouvrage en charge			Contrôle l'exécution des mesures de protection prescrites	Assure l'ouvrage, en prononçant éventuellement des réserves
Entretien	Contrôle périodiquement le bon fonctionnement des mesures de protection de l'objet ou délègue ce contrôle à un spécialiste				
	Mandate un spécialiste pour remédier aux déficiences repérées				
Sinistre	Prend des mesures de nature à réduire les dommages lors de l'événement				Procède à une expertise des dommages à l'issue de l'événement
Réparation des dommages	Commande les travaux de remise en état et les mesures de protection nécessaires en accord avec l'établissement d'assurance et l'autorité en charge de la construction	Examine la base du projet en ce qui concerne le concept de protection retenu, adapte éventuellement celui-ci et conçoit les mesures de remise en état et de protection de l'objet	Contrôle la carte de dangers existante ou procède à une expertise spécifique en cas de manque d'informations concernant les dangers	Définit les mesures de protection de l'objet qu'il y a lieu de prendre	Conseille l'auteur du projet pour la prévention des dommages causés par les forces de la nature

1

2

3

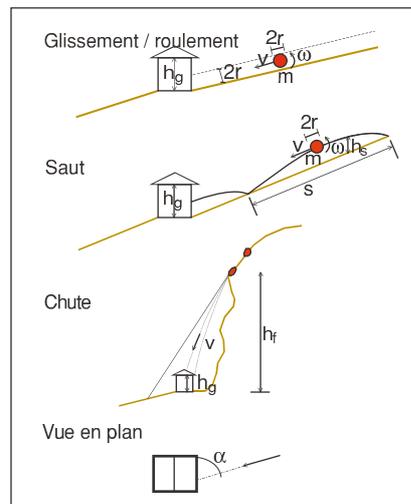
4

5

6

7

1 Notations



2

3

4

5

6

Notion de composante en mouvement

7

Caractérisation

- h_f [m] Hauteur de chute libre de la composante en mouvement
- h_g [m] Hauteur du bâtiment
- h_s [m] Hauteur de vol de la composante en mouvement
- s [m] Distance entre deux rebonds de la composante en mouvement
- r [m] Rayon de la sphère équivalente à la composante en mouvement déterminante
- l_h [m] Epaisseur de la paroi en béton armé
- l_c [m] Côté de la section du prisme équivalent à la composante en mouvement déterminante
- l_w [m] Déplacement du cône de poinçonnement pour les parois en béton armé
- l_d [m] Profondeur de pénétration de la sphère équivalente dans la couche de couverture
- l_e [m] Epaisseur de la couche de couverture
- m [t] Masse de la composante en

Par *composante en mouvement*, on entend les pierres (diamètre < 0.5 m) et les blocs (diamètre > 0.5 m) formés de matériaux rocheux ainsi que les masses de glace de taille similaire.

La façon la plus simple de caractériser le phénomène de chute consiste à considérer un corps en chute libre. Le tableau suivant fournit l'énergie de translation de composantes en mouvement de forme sphérique en fonction de leur

mouvement déterminante pour le dimensionnement

v [m/s] Vitesse de la composante en mouvement (vitesse de translation)

ω [1/s] Rotation propre de la composante en mouvement (vitesse de rotation)

I [t*m²] Moment d'inertie de la masse

E_{trans} [kJ] Energie de translation

E_{rot} [kJ] Energie de rotation

E_{max} [kJ] Energie maximale pouvant être absorbée par les parois en béton armé

α [°] Angle d'incidence dans le plan horizontal, par rapport à l'objet

φ [°] Angle de frottement interne de la couche de couverture

M_E [kN/m²] Module de compressibilité statique de la couche de couverture

a_s [mm²/m] Section de l'armature de la paroi en béton armé

A [m²] Surface de la charge concentrée à l'origine de l'action (choc)

C_k [-] Coefficient de construction

C_p [-] Coefficient de déformation plastique de la composante en mouvement

g [m/s²] Accélération gravitationnelle (10 m/s²)

q_e [kN/m²] Pression statique de remplacement due à la charge concentrée (choc)

Q_e [kN] Force statique de remplacement due à la charge concentrée (choc)

R [kN] Force de rupture par poinçonnement de la paroi en béton armé

Dans la suite du document, l'expression *chute de pierres* regroupe toutes ces composantes, quelles que soient leur taille et leur nature.

masse (soit du rayon de la sphère équivalente) et de leur vitesse de translation ou de la hauteur de chute libre équivalente. L'énergie de rotation des composantes n'est pas prise en compte dans ce tableau.

Energie de translation E_{trans} [kJ] de composantes en mouvement sphériques

Masse m [t]	Rayon r [m]	Hauteur de chute libre h_f [m]									
		0.3	1	5	12	20	32	46	62	82	
		Vitesse de translation v [m/s]									
		2.5	5	10	15	20	25	30	35	40	
0.001	0.04	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.3	0.5	0.6	0.8	
0.01	0.10	0.0	0.1	0.5	1	2	3	5	6	8	
0.05	0.16	0.2	0.6	3	6	10	16	23	31	40	
0.10	0.21	0.3	1	5	11	20	31	45	61	80	
0.17	0.25	0.5	2	9	19	34	53	77	104	136	
0.25	0.28	0.8	3	13	28	50	78	113	153	200	
0.50	0.35	2	6	25	56	100	156	225	306	400	
1.00	0.45	3	13	50	113	200	313	450	613	800	
1.40	0.50	4	18	70	158	280	438	630	858	1120	
2.00	0.56	6	25	100	225	400	625	900	1225	1600	
3.00	0.65	9	38	150	338	600	938	1350	1838	2400	
4.00	0.71	13	50	200	450	800	1250	1800	2450	3200	
5.00	0.76	16	63	250	563	1000	1563	2250	3063	4000	
6.00	0.81	19	75	300	675	1200	1875	2700	3675	4800	
7.00	0.86	22	88	350	788	1400	2188	3150	4288	5600	
11.00	1.00	34	138	550	1238	2200	3438	4950	6738	8800	
22.00	1.25	69	275	1100	2475	4400	6875	9900	13475	17600	
38.00	1.50	119	475	1900	4275	7600	11875	17100	23275	30400	

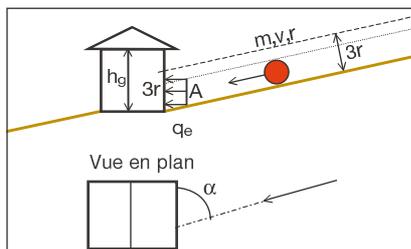
Energie de translation E_{trans}	Potentiel de destruction	Capacité d'absorption énergétique d'ouvrages de retenue
De 0 à 10 kJ	Destruction de parois en éléments de bois	Rondins de sapin avec supports en acier
De 10 à 30 kJ	Destruction de parois en rondins de sapin	Bois de chêne avec supports acier Treillis métalliques à simple torsion
De 30 à 100 kJ	Destruction de parois en béton armé épaisses de 0.2 à 0.3 m	Filets simples en câbles d'acier
De 100 à 300 kJ	Destruction de parois en béton armé épaisses de 0.4 à 0.5 m	Filets perfectionnés en câbles d'acier
De 300 à 1000 kJ		Filets en anneaux d'acier avec éléments de freinage
De 1000 à 3000 kJ		Filets spéciaux en anneaux d'acier
Au-delà de 3000 kJ		Digues en sol meuble

Paramètres d'intensité pour le dimensionnement

Pour dimensionner les mesures visant à protéger des objets, il faut disposer de données concernant le *mode de mouvement*, la *hauteur de vol*, la *masse* et la *vitesse de translation* des composantes en mouvement. Au lieu de la masse et de l'énergie de translation, il est aussi possible de se baser sur les

énergies de translation et de rotation auxquelles il faut s'attendre. Ces données peuvent être tirées des cartes d'intensités et du rapport technique. Si les données concernant les intensités font défaut, elles seront déterminées par un spécialiste des dangers naturels.

1 Situation de danger 1



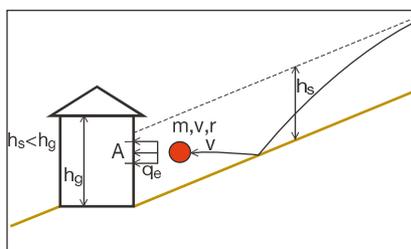
Les composantes en mouvement roulent ou glissent

Les composantes en mouvement s'approchent du bâtiment en roulant ou en glissant. Lorsqu'elles glissent, l'énergie cinétique correspond à la seule énergie de trans-

lation, tandis que l'énergie de rotation intervient également lorsqu'elles roulent. L'action à considérer est la force de choc exercée sur le bâtiment par le corps en mouvement de masse m . Elle est représentée par une pression statique de remplacement q_e agissant sur une surface A . On admet que le choc produit des effets sur les parois sur une hauteur égale à $3 \cdot r$, mesurée à partir du niveau du sol. Il y a lieu de déterminer quelles sont les parois touchées, en fonction de l'angle d'incidence α .

2

3 Situation de danger 2



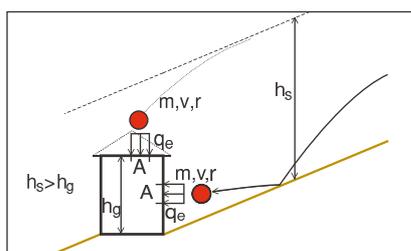
Les composantes en mouvement sautent à une hauteur inférieure ou égale à celle des parois

Les composantes en mouvement s'approchent du bâtiment en rebondissant. L'énergie cinétique se compose de l'énergie de transla-

tion et de l'énergie de rotation. La hauteur de vol h_s est inférieure à la hauteur du bâtiment h_g , si bien que seules ses parois sont touchées. L'action à considérer est la force de choc exercée sur le bâtiment par le corps en mouvement. Elle est représentée par une pression statique de remplacement q_e agissant sur une surface A . On admet que le choc produit des effets entre la surface du sol et la hauteur de vol h_s . Il y a lieu de déterminer quelles sont les parois touchées, en fonction de l'angle d'incidence α .

4

5 Situation de danger 3



Les composantes en mouvement tombent ou sautent à une hauteur supérieure à celle des parois

Les composantes en mouvement s'approchent du bâtiment en rebondissant ou en tombant directement sur lui. Lorsqu'elles tombent, l'énergie cinétique correspond à la seule énergie de translation, tandis que l'énergie de rotation intervient également lorsqu'elles rebondissent. La hauteur de vol h_s ou de chute h_f , selon le cas considéré, est supérieure à la hauteur du bâti-

ment h_g , si bien que les parois ainsi que le toit de la construction sont touchés. L'action à considérer est la force de choc exercée sur le bâtiment par le corps en mouvement. Elle est représentée par une pression statique de remplacement q_e agissant sur une surface A . Il y a lieu de déterminer quelles sont les parois touchées, en fonction de l'angle d'incidence α .

6

7

Energies de translation et de rotation

Glissement

Lorsqu'une composante en mouvement glisse sur un plan incliné, seule l'énergie de translation intervient. Celle-ci vaut:

$$E_{trans} = 0.5 * m * v^2 \quad [kJ]$$

Energie de translation

Roulement

Lorsqu'une composante en mouvement roule sur un plan incliné, l'énergie de rotation vient s'ajouter à l'énergie de translation. Celle-ci vaut:

$$E_{rot} = 0.5 * I * \omega^2 \quad [kJ]$$

Energie de rotation

$$\text{où } I = 0.4 * m * r^2 \quad [t * m^2]$$

Moment d'inertie de masse d'une sphère

Dans ce cas, on peut admettre sommairement que l'énergie de rotation vaut 20 % de l'énergie totale.

Saut

L'énergie cinétique d'un corps qui saute se compose d'énergie de

translation et de rotation, comme lorsqu'il roule.

Dans ce cas, on peut admettre sommairement que l'énergie de rotation vaut entre 10 % et 20 % au maximum de l'énergie totale. Lors des rebonds (impact au sol, contre un arbre) entre deux phases de vol, une partie de l'énergie cinétique est dissipée du fait de la déformation du sol et des frottements entre le projectile et le sol.

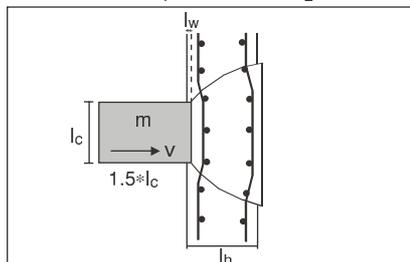
Chute

L'énergie cinétique d'un corps qui tombe comprend uniquement de l'énergie de translation (tableau en début de chapitre). La vitesse atteinte par un corps en chute libre vaut:

$$v = (2 * g * h_f)^{0.5} \quad [m/s]$$

Vitesse de chute libre

Force de choc sur des parois en béton armé dénuées de protection



L'impact d'une pierre ou d'un bloc qui percute une paroi en béton armé à une vitesse comprise entre 2.5 m/s et 40 m/s est considéré comme un choc dur. Un tel choc cause des déformations de la face extérieure et des éclatements sur la face intérieure. C'est généralement le poinçonnement local de la paroi qui est déterminant pour sa rupture.

Le choc dur étant un phénomène complexe, les modes de dimensionnement indiqués ici sont très approximatifs.

Les calculs suivants se basent sur le travail non publié de Tissières (1996). L'action considérée est l'énergie de la composante en mouvement. Seule l'énergie de translation est prise en compte, celle de rotation est négligée.

L'énergie pouvant être absorbée par une paroi en béton armé est égale au produit de la force statique de remplacement Q_e et du déplacement l_w du cône de poinçonnement. On admet que la résistance totale de l'armature est atteinte lorsque le déplacement l_w atteint environ 20 mm. Pour ce déplacement, la force statique de remplacement Q_e vaut:

$$Q_e = (E_{trans} * C_k * C_p) / l_w = (0.5 * m * v^2 * C_k * C_p) / l_w \quad [kN]$$

Force statique de remplacement due au choc

Le coefficient de construction C_k tient compte du mode de rupture. Selon le document OFROU (1998), il vaut:

$$C_k = 0.4 \text{ resp. } 0.6 \quad [-]$$

Rupture ductile (p. ex. rupture par flexion de dalles armées)

$$C_k = 1.2 \quad [-]$$

Rupture fragile (p. ex. rupture au poinçonnement d'éléments non armés)

La déformation plastique C_p subie par la composante en mouvement dissipe une partie de son énergie de translation.

1

2

3

4

5

6

7

Pour les blocs, on admet que cette fraction se monte à environ 15 %.

$$C_p = 0.85 [-]$$

Coefficient de déformation plastique de la composante en mouvement

L'énergie maximale E_{max} pouvant être absorbée par des parois en béton armé sans armature d'effort et leur force de rupture R sont présentées ci-après pour des parois de différentes épaisseurs l_h et pour différents pourcentages d'armature a_s . On considère que le bloc inci-

dent a la forme d'un prisme carré de côté l_c et de hauteur égale à $1.5 \cdot l_c$. Dans l'hypothèse d'un mode de rupture fragile, on obtient les valeurs suivantes pour l'énergie maximale pouvant être absorbée et pour la force de rupture, dans les deux cas de l'armature interne seule et de la combinaison des armatures interne et externe (béton B 35/25, acier S500, $C_k = 1.2$, $\gamma_R = 1.0$, $\gamma_{R1} = 1.0$. Calcul Jörg Rutz, GVA St. Gallen):

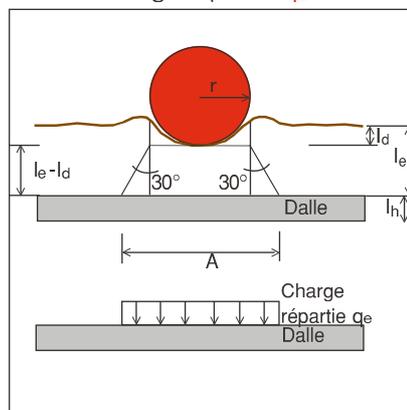
Section de l'armature a_s [mm ² /m]	Epaisseur de la paroi l_h [m]	Masse du bloc incident m [t]	Force de rupture R [kN]		Energie maximum absorbable E_{max} [kJ]	
			armature interne seulement	armature interne et externe	armature interne seulement	armature interne et externe
			393	0.2	0.1	780
	0.2	0.5	1150	1590	23	32
	0.2	1.0	1390	1930	28	39
754	0.2	0.1	1080	1560	22	31
	0.2	0.5	1600	2430	32	49
	0.2	1.0	1920	2960	38	59
	0.3	0.1	1630	2110	33	42
	0.3	0.5	2280	3110	46	62
	0.3	1.0	2680	3730	54	75
	0.4	0.1	2270	2750	45	55
	0.4	0.5	3060	3890	61	78
	0.4	1.0	3550	4590	71	92
1340	0.2	0.1	1570	2430	31	49
	0.2	0.5	2310	3790	46	76
	0.2	1.0	2770	4630	55	93
	0.3	0.1	2220	3080	44	62
	0.3	0.5	3100	4580	62	92
	0.3	1.0	3650	5500	73	110
	0.4	0.1	2980	3830	60	77
	0.4	0.5	3990	5470	80	109
	0.4	1.0	4620	6480	92	130
2010	0.3	0.1	2910	4190	58	84
	0.3	0.5	4050	6260	81	125
	0.3	1.0	4750	7540	95	151
	0.4	0.1	3790	5070	76	101
	0.4	0.5	5060	7270	101	145
	0.4	1.0	5850	8630	117	173

Pour des périodes de récurrence inférieures à 30 ans, on peut exiger que l'impact ne produise pas d'éclatement du béton sur la face intérieure de la paroi, afin de s'assurer que l'ouvrage reste apte au service après l'événement.

Cette vérification sera réalisée par exemple selon Brown/Perry (in CEB 1988). Il s'avère qu'on n'évite pas ces éclatements en renforçant l'armature, mais en augmentant l'épaisseur de la paroi.

Force de choc sur des surfaces en béton armé recouvertes de sol meuble

De nombreux essais ont permis d'élaborer une procédure de dimensionnement pour les structures porteuses en béton recouvertes de sol meuble (OFROU 1998). La force statique de remplacement est décrite par l'effet d'un corps équivalent de forme sphérique et de masse m . On admet que la couche de couverture génère une répartition des charges selon un angle de 30° . La charge répartie q_e à utiliser



pour le dimensionnement est considérée comme constante sur sa surface d'influence. La couverture doit avoir une épaisseur l_e supérieure au double de la profondeur de pénétration du projectile l_d et en tout cas supérieure à 0.5 m. La force statique de remplacement Q_e et la profondeur de pénétration l_d sont calculées comme suit:

$$Q_e = 2.8 * C_k * l_e^{-0.5} * r^{0.7} * M_E^{0.4} * \tan \varphi * (0.5 * m * v^2)^{0.6}$$

$$l_d = m * v^2 / Q_e$$

1 Intégration dans le terrain



Les bâtiments bien intégrés dans le terrain sont protégés contre les impacts directs des chutes de pierres. Lorsque les composantes en mouvement roulent ou glissent, ce résultat est atteint en plaçant le corps du bâtiment en position

haute. Ainsi, on peut minimiser la surface directement menacée de la paroi extérieure. Lorsque les composantes en mouvement sautent, on choisira plutôt de placer le bâtiment en position basse, ce qui permet de réduire la surface de la paroi extérieure amont à protéger.

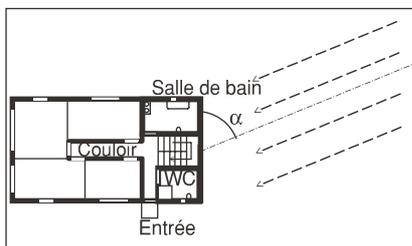
2

3 Forme et concept statique du bâtiment

Le front du bâtiment exposé aux chutes de pierres aura une faible largeur. La probabilité qu'il soit atteint s'en trouvera réduite. Les structures porteuses de l'ouvrage seront disposées en tenant compte

de la direction des chutes de pierres, de manière à ce qu'elles soient protégées contre elles. On les réalisera en préférant des dalles et des voiles porteuses à une construction à ossature.

4 Concept d'utilisation des espaces intérieurs



Une utilisation judicieuse des espaces intérieurs permet de réduire le risque encouru par les personnes séjournant dans le bâtiment. On disposera des pièces généralement occupées pour de brèves durées, telles que couloirs de liaison ou salles d'eau, au voisinage de la paroi extérieure directement menacée.

5

Position des ouvertures

Les ouvertures pratiquées dans le bâtiment, telles que portes ou fenêtres, sont les points les plus vulnérables vis-à-vis de l'action des chutes de pierres. C'est pourquoi il faut éviter de placer des fenêtres dans la paroi extérieure exposée aux chutes de pierres, ou sinon leur conférer une très petite taille. De telles ouvertures doivent être ren-

forcées dans tous les cas (cf. ci-dessous). Les entrées situées sur le côté exposé aux chutes de pierres ne peuvent être autorisées qu'exceptionnellement, pour autant que le motif de cet agencement soit bien fondé et qu'elles soient protégées en permanence par des mesures adéquates.

6

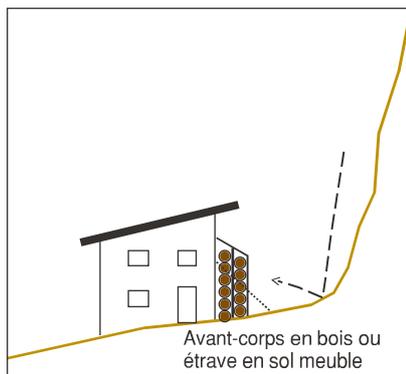
Concept d'utilisation de l'espace extérieur

Les utilisations de l'espace extérieur impliquant un séjour prolongé seront cantonnées dans les secteurs protégés par le bâtiment. C'est pourquoi on placera les balcons et les terrasses dans l'espace à l'abri des chutes de pierres.

On veillera également à ce que les routes et chemins d'accès au bâtiment empruntent des passages protégés.

7

Coffrage des parois



Coffrage

L'application de coffrages composés de matériaux amortisseurs contre les parois est une mesure très efficace. Un élément porteur

équipé de la sorte est protégé dans une large mesure contre les actions directes. La couche d'amortissement a pour but de réduire la force de poussée générée par la pierre. On y parvient en absorbant cette force sur une distance de déformation la plus longue possible.

Le bois et certains matériaux synthétiques peuvent être utilisés comme amortisseurs.

Des avant-corps en rondins offrent des solutions harmonieuses au plan architectural. Leur capacité d'amortissement est la suivante:

Diamètre des rondins	Type de bois	Résistance à la rupture [kJ]
0.20 m	Epicéa	1.5
0.20 m	Erable	2
0.20 m	If	5
0.50 m	Epicéa	9
0.50 m	Erable	15
0.50 m	If	30
1.00 m	Epicéa	35
1.00 m	Erable	50
1.00 m	If	120



Lorsque l'énergie des composantes en mouvement est faible, une pile de bois peut jouer le rôle de dispositif amortisseur en vue de protéger une paroi.

1 Remblai / renforcement des parois

Remblai

Une autre possibilité pour protéger les parois extérieures sensibles aux chocs consiste à ériger un remblai de terrain meuble devant elles. L'excellente capacité d'amortissement offerte par les matériaux terreux permet de maîtriser des énergies de chute très élevées. L'inconvénient du remblai réside dans le fait qu'il nécessite beaucoup plus de place que les autres solutions lorsque les parois à protéger sont hautes. Mais on peut pallier cet inconvénient en érigeant des constructions très raides en sol meuble armé de géotextile.

Renforcement des parois

Dans les nouveaux bâtiments, il est possible de renforcer les parois en béton armé en augmentant le pourcentage d'armature. On peut également accroître l'épaisseur des parois, mais cette solution est peu économique. La capacité d'absorption d'énergie augmente faiblement en regard du supplément de coût occasionné par le surcroît de matériaux.

Dans les bâtiments existants, les

parois sont renforcées en collant une armature de lamelles d'acier ou en ajoutant une armature supplémentaire au sein d'une couche de gunité ou de béton de parement. Les lamelles d'acier, caractérisées par une large zone de plastification, offrent une importante capacité d'absorption d'énergie dans le domaine plastique. Elles sont disposées verticalement – du sol au plafond – pour limiter leur longueur. En règle générale, les ancrages mécaniques (en effort tranchant ou en traction) doivent être dimensionnés pour la totalité de la force de rupture en traction des lamelles. Le béton rajouté doit avoir une résistance à l'arrachement d'au moins 2.0 N/mm^2 . S'agissant des actions causées par les pierres et les blocs, il faut que les lamelles soient peu espacées afin de prévenir le phénomène de poinçonnement.

Pour que ces mesures de renforcement déploient toute leur efficacité, il est important que la surface du béton soit rendue bien rugueuse au préalable.

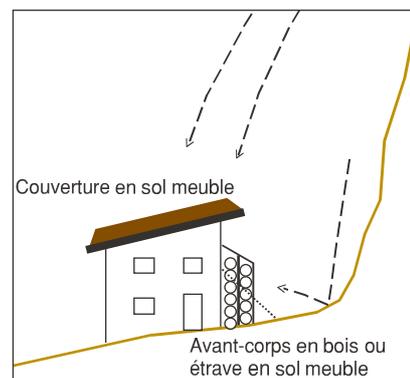
5 Protection des ouvertures

Les fenêtres peuvent être protégées par des croisillons en acier. L'espacement entre la vitre et les croisillons doit être assez grand pour que ces derniers disposent d'une distance de déformation suffisante.

Les portes menacées seront protégées contre l'action des pierres par des murs ou des digues localisées.

6 Renforcement du toit / pose d'une couche de couverture

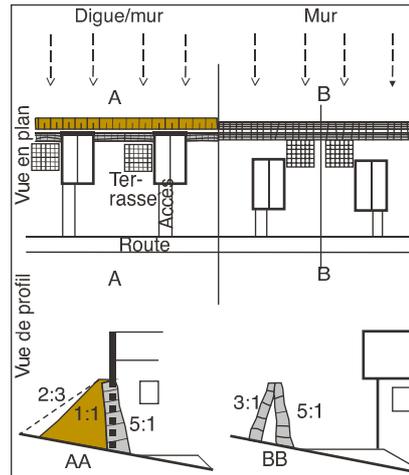
La pose d'une couverture en sol meuble permet de protéger les surfaces de toitures de manière optimale. Le type de construction qui se prête le mieux à cette mesure est un toit légèrement incliné. Le dimensionnement peut être réalisé en appliquant les mêmes critères que pour la procédure spécialement développée à l'intention des galeries de protection contre les chutes de pierres (OFROU, 1998).



Certaines mesures à effet d'écran exercent une influence déterminante sur la propagation des phénomènes dangereux. Des mesures de ce type ne peuvent être appliquées que si leur mise en œuvre ne provoque aucune augmen-

tation de la menace pesant sur les objets voisins. Le symbole  attire l'attention sur ce problème.

Digue / mur de retenue



Les digues en sol meuble permettent de reprendre des énergies de chute supérieures à 3000 kJ. Elles constituent donc la mesure la plus efficace pour absorber l'énergie des chutes de pierres. Leur mise en œuvre est cependant limitée par leur emprise au sol. Leur base requiert notamment une surface importante lorsqu'elles visent à retenir des composantes en mouvement qui sautent à une grande hauteur.

Mais cet inconvénient peut être limité en optant pour un mode de construction très raide sur un ou sur les deux versants de la digue. A cet effet, on appliquera de préférence des techniques à base de blocs, gabions ou géotextiles.



Filet en câble d'acier



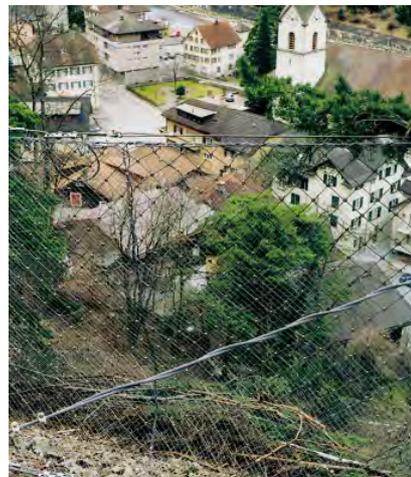
Le domaine des filets en câbles d'acier a connu une avancée remarquable au cours des 15 dernières années. Jusque vers le milieu des années quatre-vingt, les filets de protection étaient capables

d'absorber des énergies de l'ordre de 200 kJ. Mais la mise en œuvre de nouveaux systèmes (filets en anneaux d'acier) a permis de porter la limite à 3000 kJ. Les filets de protection sont dimensionnés en fonction de leur homologation selon la directive émise par l'OFEFP en 2001 (OFEFP, 2001). L'examen porte sur des filets répartis en 9 classes d'énergie, de 100 kJ à 5000 kJ. Pour dimensionner les fondations et les ancrages, les forces maximales mesurées lors de

1

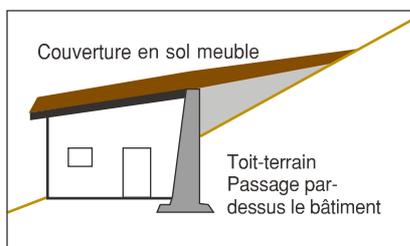
l'examen sont majorées de 30 %, puis ces forces de remplacement sont introduites dans les calculs au titre de valeurs caractéristiques F_k , selon la norme SIA 260, chiffre 3.2.2.2.

2



3

Toit-terrain →



On nomme toit-terrain une construction dont le toit est raccordé sans discontinuité au terrain naturel ou à un remblai du côté amont. Ainsi, les pierres passent par-dessus le bâtiment. Une solution spécifique doit être trouvée pour

les cheminées (p. ex. construction légère amovible). La charge statique est comparable à celle qui agit sur les toits recouverts de sol meuble (cf. ci-dessus). Cette mesure n'est intéressante que pour les constructions isolées dont l'espace extérieur est peu exploité. Mais si le bâtiment est bien protégé, ses alentours restent menacés. Comme il dévie la trajectoire des pierres, il est susceptible d'accroître le danger pesant sur des objets voisins.

4

5

Stabilisation

Lorsque la zone de rupture à l'origine de la menace sur un objet est peu étendue et située à proximité immédiate de cet objet, il y a lieu d'accorder une grande importance aux mesures visant à stabiliser la source des chutes de pierres.

a) Revêtement / végétation

La pose d'un revêtement ou de végétation a pour but de protéger la surface contre l'altération météorologique. Dans la mesure du possible, on garnira les pentes rocheuses d'herbe et de plantes. Dans les pentes raides, il y a lieu d'appliquer une combinaison de géotextile, de filets de câble et de béton projeté, complétés par des ancrages ou des clous, en raison de l'érosion superficielle.



b) Treillis pare-pierres

Les treillis pare-pierres permettent de capturer les pierres qui se détachent individuellement, les empêcher de rebondir et les acheminer sous contrôle jusqu'au pied de la pente. Cette technique est notamment appropriée pour les falaises de poudingue soumises à l'altération.

6

7

Les treillis sont constitués de câbles zingués ou de plastique noué. Ils sont montés à 0.3-0.4 m de la surface rocheuse, afin d'éviter que des pierres détachées se prennent dans le treillis et forment des accumulations susceptibles de l'endommager.



c) Ouvrages de soutènement / ancrages

On peut améliorer la stabilité interne des compartiments rocheux surplombants ou évidés à la base en les soutenant par des piliers en béton ou en acier. Si l'on érige plusieurs piliers, il est recommandé de les relier par un sommier constitué d'une poutre horizontale en béton armé.

Les pentes verticales de petite taille peuvent être confortées au moyen de murs de soutènement de diverses natures. Ils servent à accroître la stabilité au glissement et au renversement ou à réduire l'altérabilité de la pente.

La stabilité interne de blocs individuels ou de secteurs de pentes peut être améliorée en disposant des ancrages dans la roche. On se référera à la norme SIA 267 (Géotechnique) en ce qui concerne le dimensionnement des ancrages et leur protection contre la corrosion.

d) Diminution de la pente

Le danger potentiel occasionné par les petites pentes rocheuses peut être réduit en leur conférant une déclivité inférieure à 40°. Il faut cependant tenir compte du fait que l'altération est plus active dans ces pentes dont la structure a été modifiée en surface.

e) Drainage

Les drainages sont destinés à évacuer les eaux superficielles percolant dans la pente et à drainer les eaux profondes circulant dans la roche. Cette mesure a pour effet de ralentir les processus d'altération naturels. Elle est mise en œuvre en combinaison avec d'autres mesures de stabilisation.

f) Purge des parois rocheuses

On entend par purge des parois rocheuses le fait d'ôter les pierres et blocs menaçant de tomber. L'effet de cette mesure est généralement limité dans le temps, car l'érosion poursuit son action. La purge doit être effectuée en appliquant un procédé ménageant les falaises. Il est fréquemment nécessaire d'ôter les pierres et blocs à la main pour satisfaire à cette condition. Pendant les purges périodiques, il y a lieu d'ordonner des mesures de protection temporaires dans la zone menacée par les chutes de pierres.

1 **Combinaisons de mesures**

Cette section présente des combinaisons de mesures envisageables dans chaque situation de danger, pour les constructions existantes et pour les nouvelles. Seule la combinaison des mesures exposées –

qui ont trait à la conception, au coffrage / renforcement et à l'effet d'écran / stabilisation – permet de réduire efficacement le risque.

2

3

4

5

6

7

		Conception					Coffrage Renforcement			Effet d'écran Stabilisation			
Combinaison de mesures	Situation de danger	Intégration dans le terrain	Forme / concept statique	Concept d'utilisation des espaces intérieurs	Position des ouvertures	Concept d'utilisation de l'espace extérieur	Parois extérieures	Ouvertures	Toit	Digue / mur de retenue	Filet pare-pierres	Toit-terrain 	Stabilisation
		Construction existante											
A	1					•	•	(•)					
B	1					•				•			
C	1					•					•		
D	2					•	•	•					
E	2					•				•			
F	2					•					•		
G	3					•	•	•	•				
H	1/2/3					•							•
Nouvelle construction													
I	1	•	•	•	•	•	•	(•)					
J	1				•	•				•			
K	1				•	•					•		
L	2	•	•	•	•	•	•	•					
M	2	•		•	•	•				•			
N	2	•		•	•	•					•		
O	3	•	•	•	•	•	•	•	•				
P	3	•	•	•	•	•	•		•			•	
Q	1/2/3				•	•							•

Combinaison de mesures A

La construction existante se trouve dans la zone de dépôt d'une source de chutes de pierres et elle est menacée par des pierres qui roulent ou glissent. Le risque régnant à l'intérieur du bâtiment peut être réduit en renforçant les parois exposées ou en appliquant un coffrage

amortisseur sur les surfaces extérieures exposées et en protégeant les éventuelles ouvertures au moyen de croisillons. Les espaces extérieurs utilisés intensivement seront aménagés en un lieu protégé par le bâtiment.

Combinaisons de mesures B et C

La réduction du risque est obtenue en érigeant une digue, un mur de retenue ou un filet pare-pierres. Aucune autre mesure n'est nécessaire sur le bâtiment lui-même, ni aux

alentours dans le périmètre sécurisé par l'ouvrage de protection. Seuls les espaces extérieurs restés sans protection seront utilisés en fonction du danger.

Combinaison de mesures D

Les mesures préconisées sont les mêmes que dans la variante A. Mais comme les pierres sautent, les mesures doivent être mises en œuvre notablement plus haut sur le bâtiment.

Combinaisons de mesures E et F

Les mesures préconisées sont les mêmes que dans la variante B. Mais la digue, le mur de retenue ou le filet pare-pierres doit être suffisamment haut pour capturer les pierres qui sautent. On ne peut ja-

mais exclure tout danger résiduel dû à des trajectoires très élevées. Les espaces – extérieurs tout au moins – seront utilisés en fonction de ce danger résiduel.

Combinaison de mesures G

Le bâtiment existant est menacé par des composantes en mouvement qui tombent ou sautent à une hauteur supérieure à celle de la construction. Le toit, les parois extérieures et les ouvertures concernées sont renforcés et surtout

équipés d'un coffrage amortisseur. L'espace extérieur n'étant pas protégé par le bâtiment, il doit être utilisé le moins possible.

Combinaison de mesures H

La zone de rupture à l'origine des chutes de pierres, peu étendue et située à proximité immédiate de l'objet menacé, peut être confortée par des travaux de stabilisation.

Aucune mesure n'est nécessaire sur l'objet lui-même. Si un danger résiduel subsiste, l'espace extérieur soumis aux chutes de pierres sera utilisé le moins possible.

Combinaison de mesures I

La nouvelle construction est adaptée d'emblée à la menace occasionnée par des composantes en mouvement qui roulent ou glissent. Ce résultat est obtenu en surélevant le corps du bâtiment et en adaptant l'affectation des pièces dans la partie exposée du rez-de-chaussée. Il faut éviter de pratiquer des ouvertures dans le secteur

menacé, ou sinon leur conférer une petite taille. Les parois extérieures exposées sont renforcées ou flanquées, par exemple, d'une construction en rondins. L'affectation de l'espace extérieur sera planifiée d'emblée pour se concentrer dans les aires protégées.

1 Combinaisons de mesures J et K

Ces mesures sont sensiblement les mêmes que pour les constructions existantes (combinaisons B et C). Seules les ouvertures pratiquées

dans les parois extérieures exposées du rez-de-chaussée sont adaptées pour réduire encore le risque résiduel.

2 Combinaison de mesures L

La nouvelle construction est menacée par des composantes en mouvement qui sautent. La surface des parois extérieures menacées est réduite en plaçant le corps du bâtiment en position basse et en lui conférant un front de faible largeur. Il faut éviter de pratiquer des ouvertures dans le secteur susceptible

d'être affecté par les chutes de pierres, ou sinon leur conférer une petite taille. Les parois extérieures menacées sont renforcées ou flanquées, par exemple, d'une construction en rondins. L'affectation de l'espace extérieur sera planifiée d'emblée pour se concentrer dans les aires protégées.

3 Combinaisons de mesures M et N

La plus grande partie du risque est jugulée en érigeant une digue, un mur de retenue ou un filet en câbles d'acier. Il faut prévoir de réduire encore le risque pour le cas où des composantes en mouve-

ment franchiraient les ouvrages de protection. Ce résultat est obtenu en adaptant le concept d'utilisation des espaces intérieurs et de l'espace extérieur.

4 Combinaisons de mesures O et P

La nouvelle construction est menacée dans le périmètre des parois externes et du toit. Les mesures de protection correspondant à la combinaison L sont mises en œuvre. Le toit est en outre protégé par la pose

d'une couche d'amortissement en sol meuble. L'action sur les parois extérieures est notablement réduite si le bâtiment revêt la forme de toit-terrain.

5 Combinaison de mesures Q

La zone de rupture à l'origine des chutes de pierres, peu étendue et située à proximité immédiate de l'objet menacé, peut être confortée par des travaux de stabilisation. Si un danger résiduel subsiste, l'espace extérieur soumis aux chutes de pierres sera utilisé le moins possible et les ouvertures pratiquées dans les parois extérieures affectées auront une petite taille.

6

7

Impressum

Tous droits réservés.
© 2005
Association des établissements
cantonaux d'assurance incendie
(AEAI)
Bundesgasse 20
CH-3001 Berne
Tél.: 031 320 22 11
Fax: 031 320 22 99
<http://www.vkf.ch>



Auteur:
Dr. Thomas Egli
Egli Engineering
Lerchenfeldstrasse 5
CH-9014 St. Gallen
<http://www.naturgefahr.ch>



Egli Engineering

Dessins techniques:
Christoph Roth
Ingenieure Bart AG, St.Gallen

Remerciements:
L'auteur remercie les personnes
suivantes pour leurs précieuses
contributions:
Jörg Rutz
Gebäudeversicherungsanstalt
des Kantons St. Gallen
Dieter Balkow
Institut suisse du verre dans le
bâtiment, Zurich
Urs Thali
Ingenieurbüro, Göschenen
Hans Züger
AG Kraftwerk Wägital
Johann Toggwiler
Gebäudeversicherungsanstalt des
Kantons Graubünden
Famille Lieberherr, Necker
Dr. Armin Petrascheck
Office fédéral des eaux et de
la géologie, Bienne
Stefan Margreth, Institut fédéral
pour l'étude de la neige et des
avalanches, Davos
Werner Gerber, Institut fédéral de
recherches sur la forêt, la neige et

le paysage, Birmensdorf
Prof. Dr. Dieter Rickenmann,
Universität für Bodenkultur, Wien

Traduction:
Christian Marro
Haute-Nendaz

Révision de la traduction:
Blaise Duvernay
Office fédéral des eaux et de la
géologie (OFEG)
Thierry Berset
ECAB-Fribourg

Graphisme:
vkw st.gallen michael niederer /
rosmarie winkler / remo gamper

Crédit photographique:
Egli Engineering, St. Gallen
Ingenieure Bart AG, St. Gallen
US Army Corps of Engineers
ENA, Davos
Kantonsforstamt, Glarus
WSL, Birmensdorf
Tiefbauamt des Kantons St. Gallen
Ingenieurbüro Thali, Göschenen
Rüegger Geotechnik AG, St. Gallen
Geo 7 AG, Bern
Kellerhals & Haefeli AG, Bern
Neo Vac AG, Oberriet
Uretek, Giswil
OFEG, Bienne
AIB, Berne
Fatzner AG, Romanshorn
Service des forêts et de la faune,
Givisiez
Kessel GmbH, Lenting (D)

Proposition de citation:
EGLI Thomas, Recommandations
Protection des objets contre les
dangers naturels gravitationnels,
Association des établissements
cantonaux d'assurance
incendie (Ed.),
Berne, 2005.

ISBN 3-033-00470-9
ISBN 3-033-00469-5 (Deutsch)