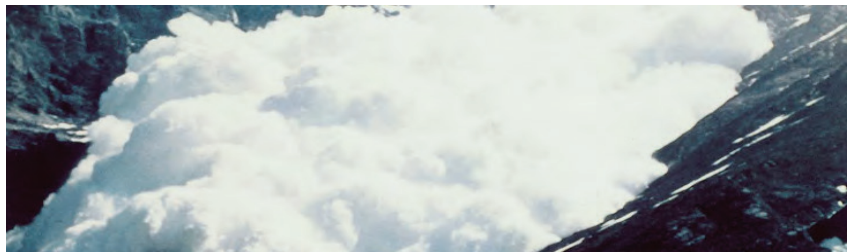




Les deux «recommandations de protection des objets» contre les dangers naturels météorologiques et gravitationnels ont été revues en 2015/2016 pour refléter l'état actuel de la technique.

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

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

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'éroulement 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  $30^\circ$ . 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

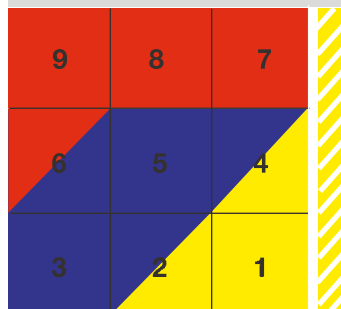
Ce schéma simple est conçu pour une utilisation du terrain comportant des habitations.

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**

Avalanche  
 Chute de pierres et de blocs  
 Chute de glace  
 Crue  
 Lave torrentielle / coulée de boue  
 Glissement spontané  
 Effondrement

Glissement / tassement permanent



élevée moyenne faible



forte

moyenne

faible

Intensité ↑

permanent

**Probabilité** →

1-30 30-100 100-300

ans

**Période de retour** →

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<sub>f</sub>: hauteur d'eau  
 h<sub>r</sub>: profondeur du plan de glissement  
 h<sub>s</sub>: hauteur de l'effondrement

v<sub>f</sub>: vitesse  
 A<sub>E</sub>: superficie de l'entonnoir d'effondrement  
 h<sub>u</sub>: 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			
Autorisation de construire		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	
				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
<b>Construction</b>	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)
<b>Réception des travaux</b>	Prend l'ouvrage en charge			Contrôle l'exécution des mesures de protection prescrites	Assure l'ouvrage, en prononçant éventuellement des réserves
<b>Entretien</b>	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				
<b>Sinistre</b>	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
<b>Réparation des dommages</b>	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

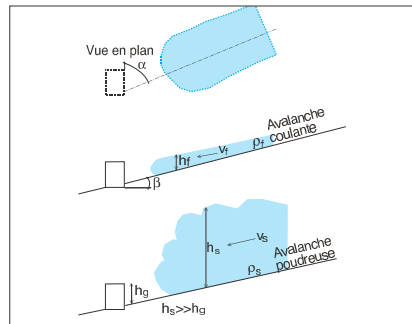
5

6

7



## 1 Notations



$h_n$  [m] Epaisseur de la neige déposée naturellement  
 $h_f$  [m] Hauteur d'écoulement de l'avalanche coulante  
 $h_s$  [m] Hauteur d'écoulement de l'avalanche poudreuse  
 $h_{\text{stau}}$  [m] Hauteur de retenue de l'avalanche coulante  
 $v_f$  [m/s] Vitesse de l'avalanche coulante  
 $v_s$  [m/s] Vitesse de l'avalanche poudreuse  
 $g$  [m/s<sup>2</sup>] Accélération gravitationnelle (10 m/s<sup>2</sup>)  
 $h$  [m] Epaisseur de la paroi en béton armé  
 $l_s$  [m] Portée de la paroi en béton armé  
 $\rho_n$  [t/m<sup>3</sup>] Densité de la neige déposée naturellement  
 $\rho_a$  [t/m<sup>3</sup>] Densité de la neige déposée par l'avalanche  
 $\rho_f$  [t/m<sup>3</sup>] Densité de l'avalanche coulante  
 $\rho_s$  [t/m<sup>3</sup>] Densité de l'avalanche poudreuse  
 $h_g$  [m] Hauteur du bâtiment

$m$  [t] Masse d'une charge concentrée

$\alpha$  [°] Angle de déviation  
 $\beta$  [°] Déclivité de la pente  
 $\gamma$  [°] Angle d'ouverture de l'étrave  
 $\delta$  [°] Angle de déviation par un toit-terrain dans le plan vertical  
 $l_u$  [m] Longueur du segment de déviation par un toit-terrain  
 $q_n$  [kN/m<sup>2</sup>] Pression exercée par la neige déposée naturellement  
 $q_f$  [kN/m<sup>2</sup>] Pression exercée par l'avalanche coulante  
 $q_s$  [kN/m<sup>2</sup>] Pression exercée par l'avalanche poudreuse  
 $q_a$  [kN/m<sup>2</sup>] Pression exercée par la neige déposée par l'avalanche  
 $q_u$  [kN/m<sup>2</sup>] Pression due à la déviation par un toit-terrain dans le plan vertical  
 $q_k$  [kN/m<sup>2</sup>] Pression due au glissement et à la reptation de la neige  
 $q_{x,r}$  [kN/m<sup>2</sup>] Frottement spécifique  
 $q_e$  [kN/m<sup>2</sup>] Pression statique de remplacement due à une charge concentrée (choc)  
 $c_d$  [-] Coefficient de résistance  
 $\mu$  [-] Coefficient de frottement  
 $\lambda$  [-] Coefficient de hauteur d'accumulation  
 $A$  [m<sup>2</sup>] Surface d'impact d'une charge concentrée  
 $N$  [-] Facteur de glissement  
 $K$  [-] Facteur de reptation  
 $Q_e$  [kN] Force statique de remplacement due à une charge concentrée (choc)

## 2

## 3

## 4

## 5

## Caractérisation

## 6

Dans la zone de dépôt, les avalanches coulantes ralentissent en s'étalant sur un terrain de déclivité décroissante. La vitesse passe sous les 10 m/s, tandis que la hauteur de l'écoulement est typiquement de 2 à 10 m. La hauteur d'écoulement des avalanches poudreuses atteint

souvent plus de 50 m dans la zone de dépôt. Elles entraînent de gros blocs de neige dans la tranche inférieure, de 1 à 5 m d'épaisseur, nommée « couche de saltation ». Il y règne de ce fait des forces du même ordre de grandeur que dans les avalanches coulantes.

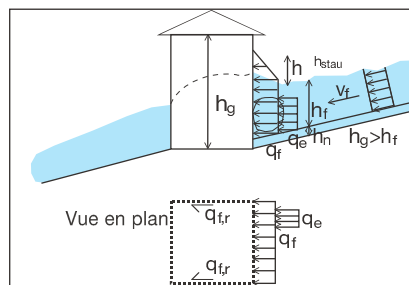
## 7

## Paramètres d'intensité pour le dimensionnement

Pour dimensionner les mesures visant à protéger des objets, il faut disposer de données concernant la hauteur d'écoulement, la vitesse et la densité des avalanches coulantes. Au lieu de la vitesse, il est aussi possible de se baser sur la pression exercée sur un grand obstacle plan disposé perpendiculairement à la direction d'écoulement.

Pour les avalanches poudreuses, le dimensionnement ne nécessite qu'une valeur indicative concernant le souffle auquel il faut s'attendre. Ces données peuvent être tirées des cartes d'intensité et du rapport technique. Si les données concernant les intensités font défaut, elles seront déterminées par un spécialiste des dangers naturels.

## Situation de danger 1

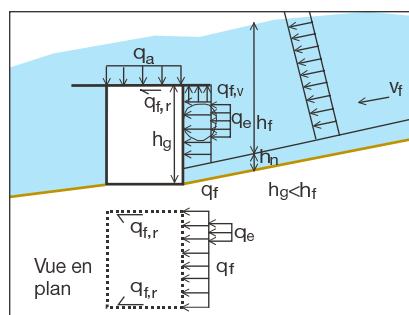


*Une avalanche coulante contourne un bâtiment rectangulaire*

L'avalanche coulante percute la façade frontale du bâtiment. Le choc provoque une retenue de hauteur  $h_{\text{stau}}$ , dont le cumul avec la hauteur d'écoulement  $h_f$  et l'épaisseur de la neige déposée naturellement  $h_n$  ne dépasse pas la hauteur du bâtiment. La toiture ne subit donc aucune action directe.

L'action principale est la pression  $q_f$  exercée sur la paroi exposée. Elle est influencée par la forme du bâtiment, la densité de la neige et la vitesse de l'avalanche. On admet que cette vitesse est constante sur toute la hauteur de l'avalanche. Pour les parois latérales et toutes les parois atteintes obliquement, on appliquera une pression réduite en fonction de l'angle d'incidence  $\alpha$ . Ces parois subissent également des contraintes de frottement  $q_{f,r}$ . Si l'on s'attend à ce que l'avalanche entraîne des blocs ou des troncs d'arbre, ce phénomène est pris en compte en appliquant une pression statique de remplacement  $q_e$ .

## Situation de danger 2

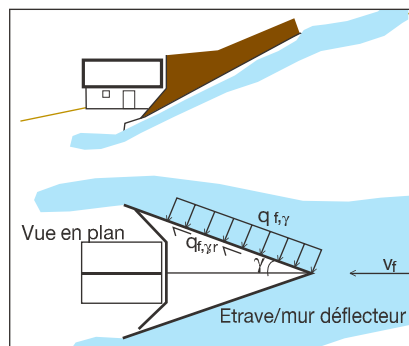


*Une avalanche coulante submerge un bâtiment rectangulaire*

La hauteur d'écoulement  $h_f$  de l'avalanche est supérieure à celle du bâtiment  $h_g$ . Il faut prendre en

compte la pression appliquée sur les parois  $q_f$  et celle qui s'exerce de bas en haut sur les avant-toits  $q_{f,v}$ . Comme l'avalanche submerge le bâtiment, elle soumet la toiture à une charge verticale  $q_a$  qu'il y a lieu d'ajouter à la charge de la neige déposée naturellement  $q_n$ . Les parois et le toit sont en outre le siège de frottements  $q_{f,r}$ . Si l'on s'attend à ce que l'avalanche entraîne des blocs ou des troncs d'arbre, ce phénomène est pris en compte en appliquant une pression statique de remplacement  $q_e$ .

## Situation de danger 3



*Une avalanche coulante contourne un bâtiment précédé d'une étrave*  
Il s'agit d'un cas particulier de la situation de danger 1. L'étrave est

soumise à des pressions exercées par la neige qui la contourne et par les frottements engendrés. La pression  $q_{f,\gamma}$  appliquée sur l'étrave est réduite en fonction de l'angle de déviation  $\gamma$ . Cet angle sera de  $30^\circ$  au maximum. Sinon, il n'y a plus d'effet défecteur et l'on est en présence d'un choc (situation de danger 1). L'étrave doit en outre avoir une hauteur suffisante. Sinon, il faut également prendre en compte les actions dues à la submersion de l'ouvrage (situation de danger 2). Si l'on s'attend à ce que

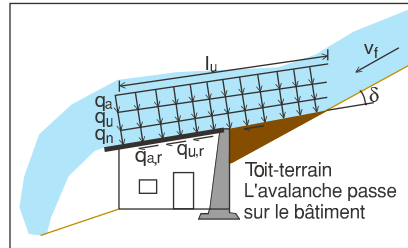
1

l'avalanche entraîne des blocs ou des troncs d'arbre, ce phénomène est pris en compte en appliquant une pression statique de remplacement générée par les charges

concentrées.  
(Cette situation de danger correspond au mode d'action rencontré en présence d'une digue ou d'un mur déflecteur.)

2

## Situation de danger 4

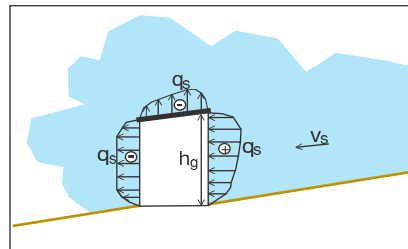


Une avalanche coulante submerge un bâtiment équipé d'un toit-terrain. Il s'agit d'un cas particulier de la situation de danger 2. Le toit situé au niveau du terrain subit une charge due à l'avalanche  $q_a$  et à la neige déposée naturellement  $q_n$ , à laquelle il faut ajouter la charge

occasionnée par la déviation de l'avalanche  $q_u$ . Les sollicitations résultent de forces normales et tangentielles (frottements). Pour les parois latérales et les parois éventuellement atteintes obliquement, on appliquera une pression réduite en fonction de l'angle d'incidence  $\alpha$ . Les contraintes de frottement seront également prises en compte. (Cette situation de danger correspond au mode d'action rencontré en présence d'une galerie paravalanche.)

4

## Situation de danger 5

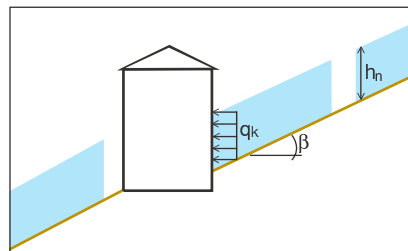


Une avalanche poudreuse atteint un bâtiment

L'action exercée par une avalanche poudreuse sur un bâtiment est comparable à l'action due au vent. On appliquera la même approche que celle décrite dans la norme SIA 261, chiffre 6, pour le vent.

5

## Situation de danger 6



Un phénomène de glissement et de reptation agit sur un bâtiment

Le glissement et la reptation de la neige agissent sur la façade frontale du bâtiment en y exerçant une pression  $q_k$ . Cette action dépend principalement de la densité de la neige, de la déclivité et de l'exposition de la pente, de la couverture du sol et de l'épaisseur du manteau neigeux.

7

Hauteur de retenue de l'avalanche coulante

Dans le cas où une avalanche coulante percute un ouvrage, la hauteur de retenue est calculée comme suit:

$$h_{\text{stau}} = (v_f^2) / (2 * g * \lambda) \text{ [m]}$$

*Hauteur de retenue d'une avalanche coulante*

$\lambda$  dépend de la nature de la neige de l'avalanche:

$$\lambda = 1.5 \quad [-]$$

*Avalanche de neige légère, sèche*

$$2 \leq \lambda \leq 3 \quad [-]$$

*Avalanche dense*

Pression exercée par l'avalanche coulante et l'avalanche poudreuse

La pression statique exercée par la contrainte dynamique dépend de la vitesse de l'avalanche, de sa densité et de la forme de l'ouvrage contourné, exprimée par le coefficient de résistance  $c_d$ .

$$q_f = 0.5 * c_d * \rho_f * v_f^2 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

*Pression exercée par une avalanche coulante*

Pour les constructions de base rectangulaire touchées par une avalanche coulante, la valeur de  $c_d$  est généralement comprise entre 2 et 3;

$$\text{avec } \rho_f = 0.3 \text{ [t/m}^3\text{]}$$

*Densité d'une avalanche coulante (valeur indicative)*

Exemple:

une avalanche coulante de vitesse  $v_f = 10 \text{ m/s}$  exerce sur un grand obstacle plan perpendiculaire à la direction d'écoulement une pression

$$q_f = 0.5 * 2 * 0.3 * 100 = 30 \text{ kN/m}^2.$$

Pour les surfaces non perpendiculaires à la direction d'écoulement,



Action due à l'avalanche poudreuse

on tiendra compte de l'angle de déviation  $\alpha$ :

$$q_{f,\alpha} = q_f * \sin^2 \alpha \quad \text{[kN/m}^2\text{]}$$

*Pression en cas d'incidence oblique*

Pour les parois latérales parallèles à la direction d'écoulement, on calculera la pression de l'avalanche correspondant à un angle de déviation des masses de neige  $\alpha = \pm 20^\circ$ .

Le choc contre les parois peut provoquer des forces verticales dirigées vers le haut. Elles agissent par exemple sur les avant-toits et les dalles des balcons, et sont calculées comme suit:

$$q_{f,v} = q_f * 0.4 \quad \text{[kN/m}^2\text{]}$$

*Pression exercée de bas en haut sur les parties saillantes du bâtiment*

Pour les avalanches poudreuses, on peut utiliser les valeurs  $c_d$  selon la norme SIA 261, chiffre 6 (vent), en considérant que  $q_d$  décrit la pression due au souffle. Comme la densité de l'avalanche poudreuse est supérieure à celle de l'air, il y a lieu d'augmenter l'effet du souffle en conséquence. On peut admettre en simplifiant que la pression statique générée par le souffle d'une avalanche poudreuse vaut approximativement:

$$q_s = 3 - 5 \quad \text{[kN/m}^2\text{]}$$

*Pression due au souffle d'une avalanche poudreuse (valeur indicative)*

La pression générée par le souffle avant-coureur d'une avalanche poudreuse est souvent surestimée. Elle se monte au maximum à quelque 5 kN/m<sup>2</sup>.



1 Charge verticale

La charge due à la neige déposée naturellement vaut:

$$q_n = h_n * \rho_n * g \quad [\text{kN/m}^2]$$

Charge due à la neige déposée naturellement

avec  $\rho_n = 0.4 \quad [\text{t/m}^3]$   
 Densité de la neige déposée naturellement (valeur indicative)

La charge due à la neige déposée par une avalanche sur un bâtiment vaut:

$$q_a = (h_f - h_g) * \rho_a * g \quad [\text{kN/m}^2]$$

Charge due à la neige déposée par une avalanche

avec  $\rho_a = 0.5 \quad [\text{t/m}^3]$   
 Densité de la neige déposée par une avalanche (valeur indicative)

2 Déviation verticale

Pression  $q_u$  due à la déviation de l'avalanche dans le plan vertical (situation de danger 4):

La pression statique due à la déviation dans le plan vertical par un toit-terrain ou un autre ouvrage similaire vaut:

$$q_u = (\rho_f * h_f * v_f^2 * \sin \delta) / (l_u) \quad [\text{kN/m}^2]$$

Pression générée par la déviation

3 Frottement

Le frottement est pris en compte par l'entremise d'un coefficient de frottement  $\mu$ . Il vaut:

- $\mu = 0.3 \quad [-]$   
Interface neige / neige
- $\mu = 0.3 \quad [-]$   
Interface neige / béton
- $\mu = 0.4 \quad [-]$

Interface neige / sol grossier ou surface rugueuse

Le frottement spécifique parallèle à la surface  $q_{x,r}$  est calculé à partir de la pression exercée perpendiculairement à la surface  $q_x$  en appliquant la formule suivante:

$$q_{x,r} = \mu * q_x \quad [\text{kN/m}^2]$$

Frottement spécifique

4 Force de choc due à des charges concentrées

Si l'avalanche peut entraîner des troncs d'arbre ou de gros blocs, il faut ajouter à la pression exercée par la neige la force de choc due à ces charges concentrées.

En appliquant les mêmes hypothèses qu'au chapitre consacré aux chutes de pierres, on peut baser les calculs sur les forces statiques de remplacement  $Q_e$  suivantes, qui agissent sur une paroi en béton d'épaisseur  $l_h = 0.3 \text{ m}$  et de portée  $l_s = 2.5 \text{ m}$ :

(hypothèses: rupture ductile, déflexion max. 25 mm, pas d'encastrement)

$$C_k = 0.4, \gamma_Q = 1.0, \gamma_R = 1.0$$

7

Masse du bloc	Vitesse de l'avalanche	Surface d'impact	Force statique de remplacement
m	vf	A	Qe
0.1 t	5 m/s	0.30 m x 0.30 m	20 kN
0.5 t	5 m/s	0.50 m x 0.50 m	100 kN
1.0 t	5 m/s	0.65 m x 0.65 m	200 kN
0.1 t	10 m/s	0.30 m x 0.30 m	80 kN
0.5 t	10 m/s	0.50 m x 0.50 m	400 kN
1.0 t	10 m/s	0.65 m x 0.65 m	800 kN

La force statique de remplacement peut être calculée comme suit pour d'autres épaisseurs  $l_h$  et portées de parois  $l_s$ :

$$Q_e' = (Q_e * 2.5 * l_h) / (0.3 * l_s)$$

On admet que cette charge concentrée agit simultanément avec la pression  $q_f$  exercée par l'avalanche coulante. Applicable à n'importe quel endroit sur la hauteur de l'écoulement, elle est répartie uniformément sur la surface d'impact

A:

$$q_e = Q_e / A \quad [\text{kN/m}^2]$$

*Pression statique de remplacement due à une charge concentrée (choc)*

Si la paroi affectée adopte un comportement fragile et non ductile (poinçonnement par la charge concentrée), il y a lieu de prendre en compte une force statique de remplacement plus élevée (cf. chapitre consacré aux chutes de pierres).

Pression due au glissement et à la reptation de la neige

La pression statique due au glissement et à la reptation de la neige vaut:

$$q_k = \rho_n * g * K * N * h_n * 0.5 * \cos\beta \quad [\text{kN/m}^2]$$

*Pression due au glissement et à la reptation*

avec  $K = 0.83 * \sin 2\beta \quad [-]$

Facteur de reptation pour

$$\rho_n = 0.4 \text{ t/m}^3$$

L'épaisseur de la neige peut être déterminée en appliquant les directives de l'OFEFP/WSL de 1990/2000. La pression calculée s'applique aux objets de grande

portée. Les objets de petite taille et la bordure des objets de grande taille peuvent être le siège de forces de bord élevées.

Le facteur de glissement  $N$  dépend de la couverture végétale et de l'exposition du terrain:

Couverture du sol	Exposition WNW-N-ENE	Exposition ENE-S-WNW
Eboulis formé de blocs/ blocs isolés	1.2	1.3
Couverture continue de buissons/ irrégularités du terrain très marquées/ éboulis grossier	1.6	1.8
Couche d'herbe à longue tige/éboulis fin/ irrégularités du terrain peu marquées	2.0	2.4
Couche lisse d'herbe à courte tige/ dalles lisses de roche en place	2.6	3.2

### 1 Intégration dans le terrain



Les bâtiments bien intégrés dans le

terrain sont protégés contre les atteintes directes des avalanches. Ce résultat est obtenu en plaçant le corps du bâtiment en position basse. Cette mesure permet de réduire la surface de la paroi extérieure exposée aux avalanches qui doit être protégée.

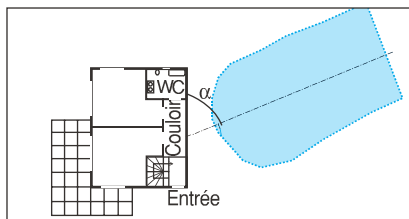
### 2 Forme du bâtiment



La forme du bâtiment détermine les pressions effectivement appliquées contre les parois extérieures touchées. Il est judicieux de présenter des configurations en forme de coin, ou du moins des formes

incurvées, au courant principal des avalanches. En revanche, l'effet des angles saillants et des éléments convexes, tels que cheminées ou encorbellements, est très défavorable. On veillera en outre à ce qu'aucune conduite (chéneau, conduit d'aération de citerne, etc.) ne se trouve sur la façade extérieure directement touchée. Elle serait endommagée ou arrachée sous le choc de l'avalanche.

### 3 Concept d'utilisation des espaces intérieurs



Une utilisation judicieuse des es-

paces 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.

### 4 Position des ouvertures dans le plan du bâtiment

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

renforcées dans tous les cas (cf. ci-dessous). Les entrées situées sur le côté exposé aux avalanches 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.

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

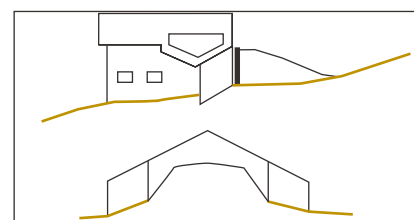
Tous les éléments porteurs susceptibles d'être influencés par une avalanche doivent être dimensionnés pour résister aux forces de pression et de frottement, ainsi qu'aux forces verticales dirigées vers le haut et vers le bas.

### Renforcement des parois extérieures et pose d'un remblai



Les parois extérieures concernées doivent être conçues en fonction de la pression et des frottements engendrés par l'avalanche. Il faut habituellement les renforcer considérablement pour satisfaire à cette exigence (détails dans le chapitre consacré aux chutes de pierres). En général, l'ampleur des frottements ne permet pas de revêtir les façades, par exemple de bardeaux en bois ou en plastique. Plutôt que de renforcer les parois latérales, il est aussi possible de construire un

mur en L devant elles. La surface de la paroi extérieure directement touchée peut être réduite en aménageant un remblai. La pression générée par l'avalanche dans la zone d'influence du remblai sera réduite, mais il faudra prendre en compte le surcroît de pression dû à la poussée des terres.



### Protection des ouvertures



Les portes et les fenêtres exposées aux avalanches doivent être conçues en fonction de la pression à laquelle elles seront soumises. Les portes seront fixées à l'extérieur. La charge appliquée sur les fenêtres doit pouvoir être transmise de la vitre au cadre et du cadre à la construction qui l'entoure. Pour des pressions faibles (avalanches poudreuses), l'utilisation de verre partiellement précontraint permet de réaliser des constructions élancées. Pour des pressions moyennes à élevées (avalanches coulantes), il y a lieu d'opter pour des ouvertures de petite taille. L'action des avalanches peut être réduite en appliquant des croisillons, des plaques défectrices ou des palplanches. Il est absolument nécessaire de prendre de telles mesures s'il faut s'attendre à des chocs dus à des charges concentrées (blocs, troncs d'arbre).

© 2005 VKF/AEAI



1

2

3

4

5

6

7

La fonction protectrice des volets, des stores et des écrans de protection doit être signalée par une indication apposée sur la fenêtre, enjoignant de les fermer en cas de danger immédiat.

Le tableau suivant donne une vue d'ensemble des verres recommandés en précisant leur épaisseur minimale et les dimensions qui conviennent (source: Institut suisse du verre dans le bâtiment, Zurich):

<b>Verre simple</b> tenu sur les 4 côtés	<b>Pression de l'avalanche poudreuse</b>	
Dimensions	$q_s = 3 \text{ kN/m}^2$	$q_s = 5 \text{ kN/m}^2$
100 x 100 cm	VSF en VPP de 2x5 mm	VSF en VPP de 2x5 mm
120 x 100 cm	VSF en VPP de 2x5 mm	VSF en VPP de 2x6 mm
150 x 100 cm	VSF en VPP de 2x6 mm	VSF en VPP de 2x8 mm
150 x 60 cm	VSF en VPP de 2x4 mm	VSF en VPP de 2x5 mm
<b>Verre simple</b> tenu sur les 4 côtés	<b>Pression de l'avalanche coulante</b>	
Dimensions	$q_f = 10 \text{ kN/m}^2$	$q_f = 30 \text{ kN/m}^2$
30 x 30 cm	VSF en VF de 2x4 mm	VSF en VF de 2x6 mm
	VSF en VPP de 2x4 mm	VSF en VPP de 2x5 mm
60 x 60 cm	VSF en VF de 2x6 mm	VSF en VF de 2x12 mm
	VSF en VPP de 2x5 mm	VSF en VPP de 2x8 mm

VSF: verre de sécurité feuilleté selon la norme EN 12543, 2<sup>e</sup> partie

VF (verre flotté): verre à vitre selon la norme EN 572, 2<sup>e</sup> partie

VPP: verre partiellement précontraint selon la norme EN 1863

S'il est fait usage de verre isolant, le vitrage extérieur devrait être dimensionné comme le verre simple d'après le tableau ci-dessus et être couplé avec un vitrage intérieur épais de 8 mm au minimum. Pour le reste, on se référera aux normes autrichiennes ÖNORM B 5301 et B 5302 (Lawinenschutzfenster und -türen).

### Renforcement et exécution du toit



On évitera de placer des avant-toits du côté amont s'il faut s'attendre à ce que l'avalanche exerce une action verticale dirigée vers le haut (situation de danger 2). Le toit sera noyé dans la paroi exposée aux avalanches (photos). Les avant-toits ne sont autorisés qu'au-dessus

des parois latérales, pour autant qu'ils soient suffisamment protégés. Les chevrons et les pannes de ces avant-toits latéraux doivent être ancrés dans la maçonnerie.

S'il faut s'attendre à ce que le toit soit submergé en tout ou partie (situation de danger 2), l'ensemble de la toiture doit être dimensionné pour résister aux contraintes générées par les pressions, frottements et charges appliqués. Dans ce cas, il y a lieu d'examiner s'il n'est pas plus judicieux de prévoir un toit-terrain (cf. ci-après).

Si le danger est dû à une avalanche poudreuse, il faut éviter les avant-toits ou les protéger par un coffrage. On choisira des tuiles aussi lourdes que possible ou des modes d'accrochage capables de résister aux surpressions et aux sous-pressions.

Certaines mesures à effet d'écran peuvent exercer 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

augmentation de la menace pesant sur les objets voisins.

Le symbole  attire l'attention sur ce problème.

## Digue



### a) Digue de retenue

On peut ériger une digue de retenue pour protéger un objet contre des glissements de neige ou de petites avalanches. Lorsqu'il s'agit de contrer de grandes avalanches dans leur zone de dépôt, la digue est généralement mise en œuvre en combinaison avec des ouvrages de freinage, tels que tas freineurs. Une digue de retenue doit être en mesure d'arrêter l'intégralité d'une avalanche, voire de plusieurs le cas échéant. Sa hauteur sera donc supérieure au cumul de l'épaisseur de la neige déposée naturellement, de la hauteur d'écoulement de l'avalanche et de sa hauteur dynamique. On s'assurera également que ce type de digue dispose d'une capacité suffisante pour contenir le volume de l'avalanche. Les calculs de stabilité de la digue se baseront sur la pression attendue et viseront

à éviter tout glissement de matériaux constituant l'ouvrage.

### b) Digue de déviation

La construction d'une digue de déviation permet d'infléchir la trajectoire de l'avalanche dans une direction souhaitée. Le coût des digues générant une déflexion comprise entre 20° et 30° est encore raisonnable. Si l'angle de déviation est supérieur, il faut construire un ouvrage de grande hauteur et il n'est pas sûr que l'avalanche puisse encore s'écouler. Les digues et murs de déviation visant à protéger des objets sont principalement mis en œuvre en bordure de localités. La hauteur de la digue de déviation est calculée comme celle de la digue de retenue, la vitesse déterminante étant sa composante perpendiculaire à l'axe de l'ouvrage.

## 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, l'avalanche passe par-dessus le bâtiment. Il y a lieu d'accorder une attention particulière à

l'exécution des extrémités du toit. Une solution spécifique doit être trouvée pour les cheminées (p. ex. construction légère amovible). Les sollicitations statiques équivalentes agissant sur la construction sont décrites dans l'exposé de la situation de danger 4. Les parois latérales doivent être dimensionnées pour résister à la pression et aux frottements, à moins qu'elles ne soient reliées elles aussi au terrain environnant sans discontinuité.

## 1 Etrave →



## 2



## 3

## 4

## 5

L'étrave permet de protéger un objet tel que bâtiment ou pylône. Elle est érigée contre l'ouvrage menacé ou à proximité immédiate de celui-ci. Elle a pour effet de scinder la masse de neige et de l'acheminer de part et d'autre de l'objet à protéger. Son angle d'ouverture ne doit pas dépasser  $60^\circ$ . Les sollicitations statiques équivalentes qu'elle subit sont décrites dans l'exposé de la situation de danger 3. L'étrave doit être suffisamment haute pour ne pas être submergée. Ce paramètre

sera calculé en tenant compte de l'épaisseur de la neige déposée naturellement et de la hauteur d'écoulement de l'avalanche. Lorsqu'une étrave se prolonge le long d'un objet menacé sous la forme de murs en L, il n'est pas nécessaire d'appliquer d'autres mesures sur l'objet lui-même. Sinon, il y a lieu de prendre en considération les actions exercées habituellement par la pression et par les frottements sur les parois latérales.

6 Mesures de protection  
contre les glissements  
de neige

## 7

On peut empêcher, ou du moins ralentir, le glissement et la reptation de la neige en augmentant la rugosité du sol. Ce résultat est obtenu au moyen de banquettes, seuils ancrés, pieux ou trépieds. Ces mesures ont pour effet d'améliorer l'imbrication entre le manteau neigeux et le sol.



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

renforcement et à l'effet d'écran – permet de réduire efficacement le risque.

Combinaison de mesures	Situation de danger	Conception					Renforcement Coffrage			Effet d'écran Protection contre les glissements		
		Intégration dans le terrain	Forme du bâtiment	Concept d'utilisation des espaces intérieurs	Position des ouvertures	Concept d'utilisation de l'espace extérieur	Parois extérieures	Ouvertures	Toit	Digue	Etrave	Toit-terrain
<b>Construction existante</b>												
A	1/6					●	●	●				
B	1/6							●		●		
C	2					●	●	●	●			
D	3/6			(●)		●					●	
E	5							●	●			
F	6							●				●
<b>Nouvelle construction</b>												
G	1/6	●	●	●	●	●	●	●				
H	1/6				●	●				●		
I	2	●	●	●	●	●	●	●	●			
J	3/6	●	●	(●)		●					●	
K	4	●		●		●	●		●			●
L	5				●			●	●			
M	6				●	●						●

2

3

4

5

6

7



### 1 Combinaison de mesures A

Cette combinaison applicable aux constructions existantes comprend un renforcement de l'enveloppe du bâtiment et des ouvertures concernées. Les ouvertures de trop grande taille, qu'on peut difficile-

ment renforcer suffisamment, sont supprimées. Il y a lieu de contrôler l'utilisation des espaces extérieurs en fonction de leur emplacement.

### 2 Combinaison de mesures B

Si le danger est généré seulement par des glissements de neige ou par de petites avalanches, une digue de retenue est en mesure de protéger la construction existante contre l'action directe de ces

phénomènes. Il y a lieu de renforcer les ouvertures si l'efficacité de la digue ne peut pas être évaluée avec une sécurité suffisante.

### 3 Combinaison de mesures C

Il est difficile de protéger une construction existante menacée selon la situation de danger 2 en appliquant seulement des mesures de renforcement. La meilleure solution

consiste à renforcer et adapter l'enveloppe, les ouvertures et le toit à l'occasion d'une transformation totale du bâtiment.

### 4 Combinaison de mesures D

L'étrave est une mesure très efficace et peu onéreuse pour protéger une construction existante. Le bâtiment lui-même ne nécessite pas d'adaptations s'il est séparé de l'étrave par un espace destiné à laisser passer la lumière. Il y a lieu

d'adapter l'utilisation de l'espace extérieur selon la configuration des murs en L.

### 5 Combinaison de mesures E

Les constructions existantes menacées par des avalanches poudreuses peuvent être protégées en agissant sur le toit et sur les ouvertures. Il y a lieu de poser des tuiles lourdes ou de mettre en œuvre un mode de construction peu

vulnérable lorsqu'on rénove le toit. Les ouvertures sont renforcées en appliquant aux fenêtres un mode de construction approprié (verre renforcé, liaisons renforcées entre les vitres et le cadre en maçonnerie).

### 6 Combinaison de mesures F

Si le bâtiment est menacé seulement par le glissement et la reptation de la neige, le danger peut être réduit localement en implantant des pieux ou des trépieds. Les fenêtres ouvertes sur l'amont situées dans

le secteur influencé par le manteau neigeux naturel sont renforcées ou protégées temporairement par des panneaux contre le surcroît de pression de la neige.



### Combinaison de mesures G

Pour les nouvelles constructions, la mise en œuvre de mesures ayant uniquement trait à la conception permet déjà de réduire considérablement le risque encouru par les personnes et par les biens. Le bâtiment est protégé de manière optimale lorsqu'il est intégré dans le terrain et que sa forme et sa configuration sont choisies de manière

à limiter les pressions auxquelles il sera soumis. Il faut éviter de pratiquer des ouvertures dans la paroi extérieure exposée aux avalanches, ou sinon leur conférer une petite taille. On aménagera des locaux utilisés peu intensivement dans ce secteur. Les parois extérieures et les ouvertures nécessitent généralement un mode de construction renforcé.

### Combinaison de mesures H

Si une digue de retenue ou de déviation est érigée aux abords d'une nouvelle construction, les mesures à prendre sur le bâtiment lui-même sont sensiblement réduites. Pour maintenir le risque résiduel à un ni-

veau faible, il faut notamment éviter de pratiquer des ouvertures dans la paroi exposée aux avalanches, ou sinon leur conférer une petite taille.

### Combinaison de mesures I

Si le nouveau bâtiment risque d'être non seulement contourné par l'avalanche, mais aussi submergé par celle-ci, il y a lieu de compléter les mesures selon la combinaison F par une toiture ren-

forcée sans avant-toit. Cette mesure de construction peut s'avérer onéreuse, si bien qu'on lui préférera le cas échéant la combinaison K (toit-terrain).

### Combinaison de mesures J

L'édification d'une étrave représente une mesure très efficace pour protéger les nouvelles constructions. Les adaptations qu'il faut apporter au bâtiment sont mineures s'il subsiste un espace entre

l'étrave et celui-ci. Il est important que la construction soit bien intégrée dans le terrain, de manière à ce qu'aucune paroi extérieure ne dépasse de l'étrave.

### Combinaison de mesures K

La réalisation d'une configuration en forme de toit-terrain est une mesure de protection très efficace, comme l'édification d'une étrave. Mais les interventions sur le bâtiment sont plus importantes. La lumière ne peut plus entrer, en tout cas par la paroi exposée aux avalanches, ou sinon elle doit passer par des puits de lumière spécialement aménagés (p. ex. construction enterrée). Cet état de fait se répercute sur l'utilisation des espaces intérieurs. Il y a lieu de renforcer le toit, afin qu'il puisse

reprendre les forces dynamiques dues à la submersion du bâtiment et les forces statiques générées par les dépôts de neige. La paroi extérieure exposée aux avalanches sera dimensionnée en fonction de la pression statique exercée par le terrain et par la neige. Les parois extérieures non protégées seront calculées pour résister aux effets dynamiques de l'avalanche et aux frottements qu'elle engendre.

### 1 Combinaison de mesures L

Les nouvelles constructions peuvent être protégées efficacement contre les effets des avalanches poudreuses moyennant des adaptations de faible ampleur. On obtient ce résultat en évitant les surfaces vitrées de taille excessive.

L'exécution des surfaces vitrées et des toitures est renforcée de manière à pouvoir résister à la pression de l'air. Il faut éviter que le toit présente des saillies, ou leur conférer la plus petite taille possible (forces de succion).

### 2 Combinaison de mesures M

Les mesures destinées à contenir le glissement de la neige dans la pente en amont du bâtiment (pieux, trépieds) réduisent notablement le danger. Pour améliorer encore la sécurité des nouvelles constructions, on placera les fenêtres ouvertes sur l'amont à une hauteur

suffisante. Les utilisations de l'espace extérieur telles que places de jeu ou terrasses seront concentrées à l'aval du bâtiment.

3

4

5

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)