



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 saouillures.



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 contrer, 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° . 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

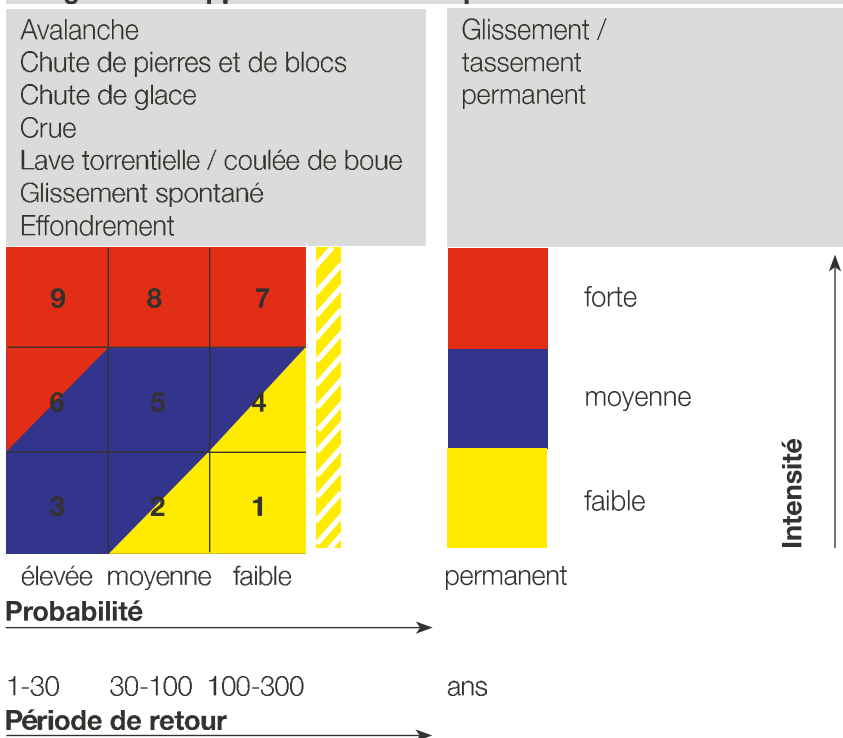
La carte de dangers, colorée en rouge, bleu, jaune et blanc, rend compte de l'importance des zones de danger pour l'aménagement du territoire, principalement en ce qui concerne la construction de bâtiments:

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			
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
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

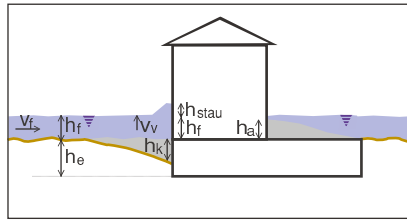
4

5

6

7

1 Notations



h_f [m] Hauteur d'inondation
 h_{stau} [m] Hauteur de retenue due à un obstacle
 h_a [m] Epaisseur du dépôt de matériaux solides
 h_e [m] Profondeur de fondation de l'ouvrage dans le sous-sol
 h_k [m] Profondeur d'affouillement contre le bâtiment
 h_u [m] Profondeur d'érosion de la berge
 h_r [m] Profondeur du plan de glissement de la berge
 v_f [m/s] Vitesse d'écoulement
 v_v [m/h] Vitesse de montée des eaux
 ρ_{hw} [t/m³] Densité de la crue
 ρ_a [t/m³] Densité du dépôt de matériaux solides
 m [t] Masse d'une charge concentrée

g [m/s²] Accélération gravitationnelle (10m/s²)
 h [m] Epaisseur de la paroi en béton armé
 l_s [m] Portée de la paroi en béton armé
 q_h [kN/m²] Pression résultant de la contrainte hydrostatique
 q_f [kN/m²] Pression résultant de la contrainte hydrodynamique
 q_a [kN/m²] Pression résultant du dépôt de matériaux solides
 q_e [kN/m²] Pression statique de remplacement due à une charge concentrée (choc)
 c_d [-] Coefficient de résistance de forme
 A [m²] Surface d'impact d'une charge concentrée
 Q_e [kN] Force statique de remplacement due à une charge concentrée (choc)
 Autres paramètres importants:
 V [h] Délai de préalerte (temps s'écoulant entre la prise de conscience de l'inondation et son occurrence)
 T [h] Durée de l'inondation

5 Caractérisation

Délai de préalerte

Le délai de préalerte – soit le temps qui s'écoule entre la prise de conscience d'une inondation et son occurrence – est généralement très court en Suisse. S'il se réduit d'ordinaire à quelques minutes pour les torrents, il peut cependant atteindre quelques heures pour les grandes rivières. Seules quelques-unes d'entre elles bénéficient d'un dispositif technique et organisationnel visant à prévenir les personnes concernées. Cela signifie que les mesures de protection temporaires des objets sont largement tributaires de la prise de conscience du danger par les intéressés eux-mêmes.

Vitesse d'écoulement

Lorsqu'un terrain de forte déclivité (5-10 %) est inondé, la vitesse d'écoulement atteint 3 à 5 m/s pour une hauteur d'inondation dépassant 0.5 m. De telles vitesses apparaissent également sur les tronçons canalisés (rues). En terrain peu incliné (< 2%) la vitesse tombe généralement sous les 2 m/s.

Vitesse de montée

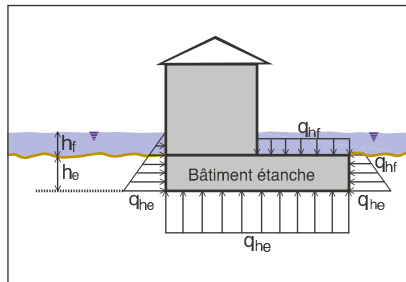
La vitesse de montée décrit la rapidité avec laquelle les eaux montent lors d'une inondation. Ce paramètre détermine le danger pour les personnes séjournant à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments. Il faut notamment s'attendre à une vitesse de montée élevée lorsque l'inondation résulte d'une obstruction du lit ou d'une rupture de digue.

Paramètres d'intensité pour le dimensionnement

Pour dimensionner les mesures visant à protéger des objets, il faut disposer de données concernant la hauteur d'inondation et la vitesse d'écoulement, ainsi que l'épaisseur de terrain érodée et l'épaisseur du dépôt de matériaux solides.

Ces données peuvent être tirées des cartes d'intensités. Si les données concernant les intensités font défaut, elles seront déterminées par un spécialiste des dangers naturels.

Situation de danger 1

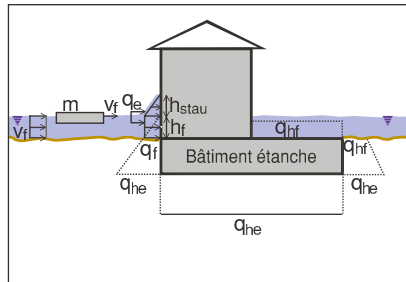


Inondation statique

L'inondation est caractérisée par une vitesse d'écoulement faible

($v < 1$ m/s). Il n'en résulte aucune contrainte dynamique à prendre en considération. L'action déterminante résulte de la pression hydrostatique q_h exercée sur l'enveloppe étanche du bâtiment. Celle-ci croît avec la profondeur. On admet que le sol se sature totalement durant l'inondation. La pression hydrostatique exercée sur le radier de l'ouvrage correspond à la poussée d'Archimède.

Situation de danger 2

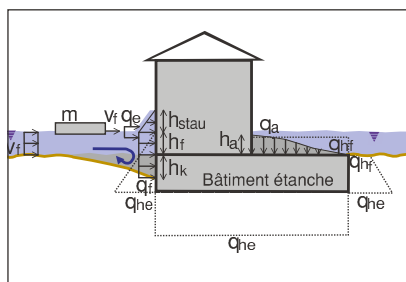


Inondation dynamique

L'inondation est caractérisée par une vitesse d'écoulement moyenne à élevée ($v > 1$ m/s). Pour déterminer l'action subie par l'ouvrage, on tient compte, outre la force hydrostatique, de la force dynamique exercée par l'écoulement. Il est admis que la vitesse de l'écoulement est uniforme sur toute

la hauteur d'inondation h_f . Il en résulte une pression uniforme q_f due à la contrainte hydrodynamique exercée sur la paroi de l'ouvrage exposée au courant. Cette paroi peut également être percutée par des matériaux solides charriés par la crue (troncs d'arbre, matériaux grossiers). La pression statique de remplacement q_e ainsi engendrée est aussi considérée comme une action. On ne tient pas compte des actions résultant de surpressions ou de sous-pressions locales (suction) dues à des formes de bâtiment particulières. La pression de soulèvement hydrodynamique est également négligée.

Situation de danger 3



Inondation dynamique avec érosion (affouillement) et alluvionnement

L'inondation est caractérisée par une vitesse d'écoulement élevée

($v > \text{env. } 2$ m/s). La dynamique de cet écoulement provoque l'érosion h_k (affouillement) et le dépôt h_a de matériaux solides. Ce phénomène se produit principalement lorsque des ouvrages sont construits le long de chenaux largement canalisés et de déclivité marquée (rues dans les localités). Les actions hydrostatique et hydrodynamique exercées par l'écoulement sont prises en compte (comme dans la situation de danger 2).

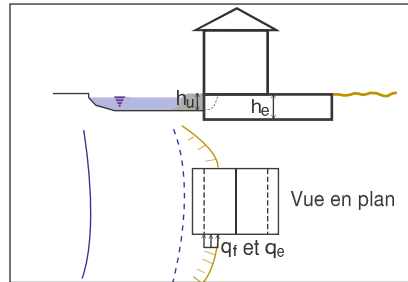
1

Il en va de même pour la force de choc due aux matériaux solides charriés. L'affouillement, qui atteint une profondeur h_k , peut mettre à jour les fondations du bâtiment, voire les saper. Les dépôts de matériaux solides occasionnent des

surcharges q_a , qui ont une grande importance pour les ouvrages souterrains (p. ex. garages). Ces phénomènes d'érosion et d'alluvionnement sont pris en compte dans les actions.

2

Situation de danger 4



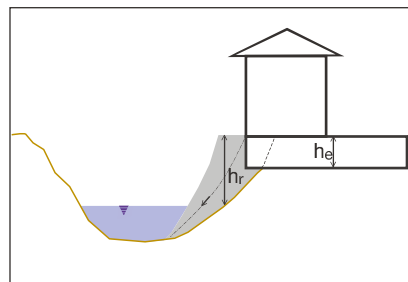
Déplacement du lit du cours d'eau
L'érosion de la berge revêt la forme d'un déplacement du lit du cours d'eau. La berge est érodée jusqu'à une profondeur h_u . La fondation de l'ouvrage n'est pas menacée, car

sa profondeur h_e est supérieure à h_u . Du fait de l'érosion latérale, une partie du bâtiment est touchée directement par l'écoulement dans le chenal. Les actions qu'il subit sont donc la pression occasionnée par l'écoulement q_f et la pression exercée sur la façade frontale par les chocs dus aux matériaux solides charriés q_e .

3

4

Situation de danger 5



Glissement de la berge
L'érosion de la berge revêt la forme d'un glissement de terrain. Fréquemment déclenchés par l'érosion verticale du lit du cours d'eau, ces glissements peuvent avoir une grande extension. Ils sont profonds

ou superficiels selon la topographie et la géologie locales. L'action sur l'ouvrage correspond à celle qui est exercée lorsque le plan de glissement est semi-profond à profond (h_r). Les contraintes correspondantes, ainsi que les mesures de protection des objets susceptibles d'être prises, sont traitées dans le chapitre consacré aux glissements de terrain.

Si la crue atteint l'ouvrage, il y a lieu de considérer également les actions correspondant à la situation de danger 4 (déplacement du lit du cours d'eau).

5

6

7

Pression résultant de la contrainte hydrostatatique

La pression hydrostatatique est déterminée comme suit:

$$q_{hf} = \rho_{hw} * g * h_f \quad [\text{kN/m}^2]$$

Pression à la surface du terrain pour une hauteur d'inondation h_f

$$q_{he} = \rho_{hw} * g * (h_f + h_e) \quad [\text{kN/m}^2]$$

Pression au niveau de la fondation du bâtiment pour une hauteur d'inondation h_f

On appliquera les valeurs indicatives suivantes pour déterminer la densité de la crue:

$$\rho_{hw} = 1.1 \text{ t/m}^3$$

Densité d'une crue charriant peu de matériaux solides

$$\rho_{hw} = 1.4 \text{ t/m}^3$$

Densité d'une crue charriant beaucoup de matériaux solides

Pression résultant de la contrainte hydro-dynamique

La pression exercée par la contrainte hydrodynamique agissant sur un ouvrage entouré d'eau vaut:

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

Pression sur la paroi exposée au courant

c_d prend les valeurs indicatives typiques suivantes:

$c_d = 1.25$ à 1.50 si: longueur de la paroi exposée / hauteur d'inondation < 40

$c_d = 1.50$ à 2.00 si: longueur de la paroi exposée / hauteur d'inondation > 40

Hauteur de retenue

La hauteur de retenue correspond à la surélévation de l'écoulement contre l'ouvrage entouré d'eau.

Elle vaut au maximum:

$$h_{stau} = (v_f^2) / (2 * g)$$

Hauteur de retenue due à un obstacle

Profondeur d'affouillement



d'inondation, la granulométrie du sol menacé et la durée de l'inondation. Les bâtiments ne comprenant pas de cave nécessitent un calcul détaillé. Le tableau ci-dessous expose les résultats pour deux cas standard.

La profondeur de l'affouillement susceptible d'affecter un bâtiment menacé d'inondation peut être déterminée de manière détaillée selon Kohli (1998). A cet effet, il faut connaître, outre la vitesse d'écoulement et la hauteur

Pour les bâtiments comprenant une cave, le danger d'affouillement concerne principalement ceux qui sont construits le long du lit d'un cours d'eau (situation de danger 4).

Paramètre	Exemple 1	Exemple 2
Vitesse d'écoulement, v_f	2 m/s	0.90 m/s
Hauteur d'inondation, h_f	0.5 m	1 m
Durée de l'inondation, T	9 h	24 h
Diamètre granulométrique, d_{50}	0.02 m	0.008 m
Diamètre granulométrique, d_{90}	0.08 m	0.03 m
Profondeur d'affouillement, h_k	1.10 m	0.60 m

1 Surcharge due au dépôt de matériaux solides

Les dépôts de matériaux solides génèrent des forces verticales et horizontales dues à la poussée des terres. Celles-ci doivent être prises en compte, si cela n'a pas déjà été fait, en augmentant la valeur de la densité de la crue dans le calcul des forces hydrostatiques. La pres-

sion des terres dans l'axe vertical (surcharge) vaut:

$$q_a = \rho_a * g * h_a \quad [\text{kN/m}^2]$$

Surcharge due au dépôt de matériaux solides

La densité de ces matériaux vaut:

$$\rho_a = 2.0 \text{ t/m}^3$$

Densité du dépôt de matériaux solides (valeur indicative)

2 Force de choc due à des charges concentrées

Si la crue peut entraîner des blocs ou d'autres matériaux solides, il faut ajouter à la pression résultant des contraintes hydrostatique q_h et hydrodynamique q_f la force de choc due à ces charges concentrées.

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

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

Applicable à n'importe quel endroit sur la hauteur d'inondation, cette force statique de remplacement est répartie uniformément sur la surface d'impact A:

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

3

En appliquant les mêmes hypothèses qu'au chapitre consacré aux chutes de pierres, on peut compter 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, prise en compte du soulèvement dû aux blocs, $C_k = 0.4, \gamma_Q = 1.0, \gamma_R = 1.0$)

4

Masse du bloc m	Vitesse d'écoulement v_f	Surface d'impact A	Force statique de remplacement Q_e
0.1 t	2 m/s	0.30 m x 0.30 m	2 kN
0.5 t	2 m/s	0.50 m x 0.50 m	10 kN
0.1 t	4 m/s	0.30 m x 0.30 m	8 kN
0.5 t	4 m/s	0.50 m x 0.50 m	40 kN

5

6

7



Humidité et souillures



L'humidité et les dépôts entraînent une dépréciation partielle ou totale des aménagements des bâtiments (sols, parois, plafonds), des équipements et des biens mobiliers. Dans certains cas, la structure porteuse peut également être affectée. Le fonctionnement et l'aspect extérieur des éléments touchés sont dégradés à tel point qu'on ne peut plus garantir leur fonction. Les effets de l'humidité se font généralement ressentir au-delà de la cote maximale d'inondation. Les phénomènes de capillarité dans les parois et d'évaporation de l'eau peuvent aussi affecter des parties de bâtiments situées plus haut que cette cote maximale. Toutes les substances, solubles ou non, qui sont entraînées par les eaux provoquent des souillures.

Effets de l'humidité

- Dépréciation due à l'absorption d'eau :
Les produits en bois, papier, textile, gypse, etc., subissent généralement un dommage total, l'absorption d'eau en altérant l'aspect extérieur.
- Courts-circuits dans les installations électriques:
La présence d'eau provoque des courts-circuits dans les prises qui ne sont pas isolées. L'arc électrique qui en résulte risque de provoquer un incendie.

- Réactions chimiques avec des substances stockées:
Les substances stockées peuvent réagir au contact de l'eau (incendie, explosion).

Effets des souillures

- Dépréciation due à l'absorption de substances odorantes entraînées par l'eau:
L'eau contaminée par des combustibles liquides ou des matières fécales peut endommager intégralement des objets du seul fait des odeurs qui s'y incrustent.
- Dépréciation due à la pénétration de matières solides:
Il arrive fréquemment que des particules fines ne puissent plus être retirées des matériaux poreux.
- Dégradation de l'aptitude au fonctionnement d'installations électriques ou mécaniques:
Les substances solides qui pénètrent dans les appareils électriques ou mécaniques provoquent des dysfonctionnements et ne peuvent souvent pas être retirées à un coût raisonnable.

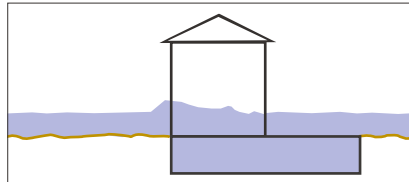
1 Vue d'ensemble
des mesures

Cette section comprend une vue d'ensemble des mesures possibles. Il y a lieu de distinguer les mesures permanentes et les mesures temporaires, spécialement dans le cas des inondations.

Mesure	Description
Permanente	Mesures ayant un effet permanent sur l'objet concerné. Aucune intervention humaine n'est nécessaire pour garantir la protection de cet objet lors d'un événement.
Temporaire	Mesures planifiées requérant une certaine organisation pour déployer leur efficacité. Leur mise en œuvre est subordonnée à l'existence d'une procédure de préalerte en cas de crue. La protection contre les crues peut être assurée selon trois axes:

2

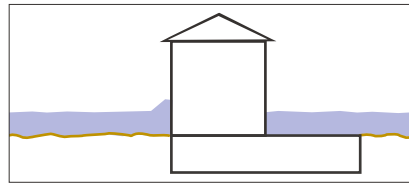
3



Inondation contrôlée

– Inondation contrôlée: on accepte délibérément que le bâtiment soit inondé. Les dégâts sont limités en recourant à des matériaux insensibles à l'eau pour l'aménagement intérieur et en utilisant le bâtiment conformément à la situation.

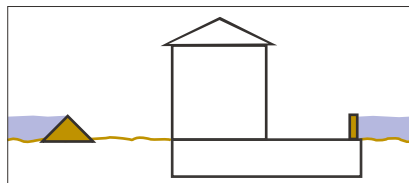
4



Etanchement

– Etanchement: le bâtiment est construit de manière étanche sous forme de cuve. Les seuls dégâts possibles sont des souillures de l'enveloppe externe du bâtiment.

5



Ecran

– Ecran: l'eau est tenue à l'écart du bâtiment à l'aide de barrières ou en surélevant celui-ci.

6

Concept d'utilisation des
espaces intérieurs

Le principe de l'inondation contrôlée est principalement appliqué aux bâtiments existants pour lesquels la résistance au soulèvement est problématique.

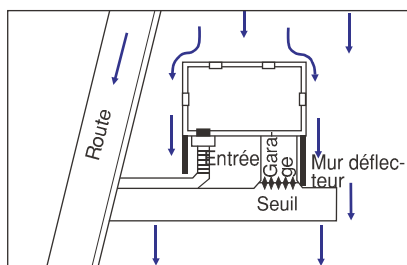
Une utilisation judicieuse des espaces intérieurs permet de réduire considérablement le risque encouru par les personnes et par les biens qui se trouvent dans des bâtiments exposés aux crues. Les sous-sols feront l'objet d'une attention particulière. Le risque pour les personnes est par exemple élevé

lorsque des postes de travail sont aménagés en sous-sol et que la voie d'évacuation correspond au cheminement principal d'entrée de l'eau. Le risque pour les biens est minimisé si les sous-sols sont surtout occupés par des marchandises et des installations insensibles à l'eau.

7

Position du rez-de-chaussée et des ouvertures

- Hauteur du rez-de-chaussée
La hauteur du rez-de-chaussée par rapport au terrain environnant joue un rôle important dans la vulnérabilité d'un ouvrage vis-à-vis des inondations. Sa position détermine la hauteur des entrées et par conséquent des principales ouvertures par lesquelles l'eau



peut s'engouffrer. Il est possible d'aménager une rampe pour éviter des escaliers indésirables lorsque le rez-de-chaussée est surélevé. Cette mesure équivaut en fin de compte à placer le bâtiment en position surélevée (cf. section consacrée aux écrans, ci-après).



- Position des entrées
Si un bâtiment ou un bien-fonds est exposé à l'écoulement d'une crue, les entrées doivent être disposées du côté opposé au courant principal. Ce principe concerne en particulier les ouvrages construits sur des cônes de déjection de torrents. La paroi amont devrait être équipée de fenêtres spécialement protégées sur la hauteur du rez-de-chaussée et ne comporter aucun soupirail ni accès au sous-sol. Les parois extérieures parallèles au courant et opposées à celui-ci sont à l'abri des pressions dynamiques. Ainsi, l'étanchéité des entrées qui s'y trouvent est notablement moins sollicitée.

- Hauteur des ouvertures
La hauteur des ouvertures telles que soupiraux, conduits de ventilation, fenêtres, introductions de conduites non étanches ou accès au garage joue également un rôle déterminant dans la vulnérabilité d'un ouvrage vis-à-vis des inondations. Les soupiraux et conduits de ventilation de hauteur insuffisante favorisent notablement l'irruption d'eau dans les sous-sols en cas d'inondation.

Choix des matériaux constituant les aménagements intérieurs (sols, parois et plafonds)

Les planchers subissent des dégâts lorsque les matériaux utilisés absorbent de grandes quantités d'eau, offrent peu de résistance aux milieux légèrement acides ou basiques, ou sont imperméables et empêchent ainsi l'évaporation de

l'eau imprégnant le sol brut. Il faut également s'attendre à des dommages lorsque le matériau d'interface entre le sol brut et le plancher est soluble dans l'eau.

Sensibilité à l'humidité Type de plancher

Faible	Pierre naturelle, ciment, argile, époxy ¹ , résine de mastic ¹ , polyuréthane ¹ , silicone ¹ , caoutchouc
Moyenne	Plaques de céramique ²
Elevée	Tapis, revêtements en matériaux textiles ou synthétiques, bois, liège, linoléum

¹: coulé sur place

²: avec un mortier résistant aux acides et aux alcalins

Les dégâts aux parois et aux plafonds dépendent des mêmes facteurs que dans le cas des planchers.

Sensibilité à l'humidité Type de paroi ou de plafond

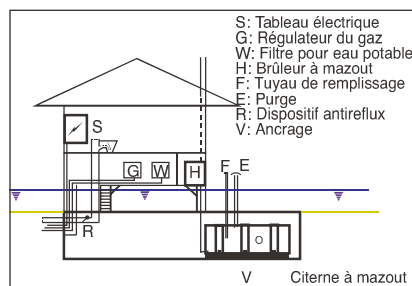
Faible	Béton, pierre naturelle, briques en terre cuite, métal, argile, caoutchouc ¹ , verre
Moyenne	Panneaux synthétiques ¹
Elevée	Plâtre, bois, liège, peinture ² , papier peint, isolation ³

¹: avec matériau d'interface insensible à l'eau

²: à l'exception des peintures polyester-époxy

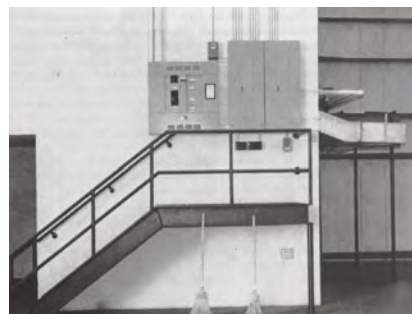
³: à l'exception des mousses et des produits poreux fermés

Conception des
installations
d'alimentation



Alimentation en eau potable

La conduite principale d'alimentation en eau potable est généralement équipée d'un filtre. Celui-ci peut être endommagé ou totalement bouché pendant une inondation, provoquant ainsi une coupure de l'approvisionnement en eau potable. Lorsque le filtre est placé au-dessus de la cote d'inondation, on peut y accéder en permanence pour remédier à d'éventuels dysfonctionnements.



Alimentation en électricité

Dans un bâtiment non étanche, l'alimentation en électricité peut être garantie en prenant les mesures suivantes:

- Emplacement de l'interrupteur principal ainsi que des dispositifs de mesure, de distribution et de régulation à un niveau supérieur à la cote d'inondation du bâtiment.

- Séparation des lignes alimentant les parties du bâtiment situées au-dessous et au-dessus de la cote d'inondation.

- Déconnexion automatique des lignes de distribution passant au-dessous de la cote d'inondation lorsque de l'eau s'accumule dans les parties de bâtiments qu'elles parcourent.

Les coupures d'électricité provoquent d'innombrables dommages secondaires, telle la perte de places de travail dans des bâtiments industriels ou artisanaux. Il est donc impératif que les installations situées à l'intérieur des bâtiments affectés soient remises en service aussi rapidement que possible, ce qui est favorisé par la mise en œuvre des mesures préconisées ici.

La présence d'un éclairage de sécurité indépendant du réseau revêt une grande importance, notamment dans les complexes où il faut procéder à une évacuation de personnes et de biens en cas de catastrophe (p. ex. sous-sols d'hôpitaux ou d'exploitations industrielles ou artisanales, garages souterrains, etc.). Les mesures décrites s'appliquent par analogie à l'alimentation en gaz des bâtiments. Leur élaboration peut se référer aux règles techniques de la Société suisse de l'industrie du gaz et des eaux (SSIGE) et à la directive VDI 6004 (VDI 2004).

© 2005 VKF/AEAI

Ancrage des citernes à mazout

En plaçant les installations de stockage de mazout au-dessus de la cote d'inondation dans les espaces menacés, on garantit leur fonctionnement pendant et après une inondation (si l'alimentation en électricité n'est pas coupée) et on évite les dommages secondaires dus à la dissémination du mazout. Si cet agencement est irréalisable, les mesures de protection se limitent à veiller à ce que le mazout soit stocké dans de bonnes conditions d'étanchéité. La citerne doit être

fixée afin d'éviter qu'elle ne flotte et être suffisamment solide pour résister à la pression de l'eau (flambage). Les conduites entrantes et sortantes seront également fixées. L'extrémité du tuyau de purge de la citerne doit être à un niveau supérieur à la cote d'inondation. La conduite d'introduction du mazout dans le brûleur sera équipée d'un clapet qui se ferme automatiquement si de l'eau envahit le sol de la chaufferie.

Protection contre le reflux dans les canalisations



Dans les canalisations, la mesure principale consiste à empêcher tout reflux. Différents types de clapets ou de vannes permettent d'éviter que l'intérieur d'un bâtiment soit inondé par de l'eau qui reflue dans le réseau de canalisations. On distingue les dispositifs suivants:

- Clapets antireflux automatiques
- Vannes antireflux manuelles
- Combinaisons de ces deux types

L'avantage du clapet antireflux automatique réside dans le fait qu'il fonctionne indépendamment de

toute intervention humaine. Cette caractéristique est importante, car l'occurrence d'un reflux n'est pas perceptible directement. Il peut également s'avérer judicieux d'installer de tels dispositifs dans des constructions situées hors des zones potentiellement inondables. Des bâtiments peuvent être inondés (à l'intérieur) dans des zones en principe épargnées, en particulier lorsque l'épanchement de l'inondation est entravé par des obstacles. Si l'on doit pouvoir évacuer continuellement des eaux polluées lors d'une inondation (p. ex. hôpitaux, établissements de soins, etc.), il faut aménager un bassin de rétention isolé en parallèle au réseau usuel.

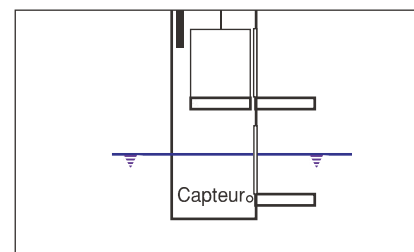
Voies d'évacuation

Les personnes séjournant dans les parties de bâtiments situées au-dessous de la cote d'inondation doivent pouvoir les quitter en empruntant des escaliers ou des échelles pour gagner les étages

supérieurs. Dans les bâtiments à un étage, il faut pouvoir monter sur le toit.

Mesures concernant les ascenseurs

Il faut veiller à ce que la position d'arrêt des ascenseurs et des monte-charges se trouve au-dessus de la cote d'inondation. L'accumulation d'eau dans la cage doit déclencher une alarme et stopper l'installation par l'entremise d'un capteur.

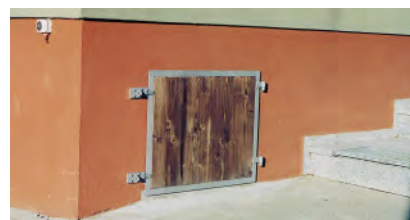


1 Protection des
ouvertures

Mesures permanentes

Parmi les mesures produisant des effets permanents, on mentionnera l'installation de portes et de fenêtres étanches et renforcées. Les portes seront fixées à l'extérieur. La charge appliquée sur les fenêtres sera transmise de la vitre au cadre et du cadre à la construction qui l'entoure.

Le tableau suivant donne une vue d'ensemble des verres recommandés pour résister aux inondations



avec une vitesse d'écoulement faible (situation de danger 1), en précisant les dimensions qui conviennent (source: Institut suisse du verre dans le bâtiment, Zurich):

Verre simple tenu sur les 4 côtés	Surface de l'eau à 1 m au-dessus de la base de la vitre (BV), soit au niveau de son sommet	Surf. de l'eau à 1.5 m de la BV, soit à 0.5 m au-dessus de son sommet	Surf. de l'eau à 2.0 m de la BV, soit à 1.0 m au-dessus de son sommet
Dimensions hauteur x largeur	VF de 15 mm	VF de 19 mm	VSF en VF de 2x19 mm
100 x 100 cm	VSF en VF de 2x8 mm	VSF en VF de 2x12 mm	--
100 x 200 cm	VSF en VF de 2x12 mm	--	--

3

4

5

6

7

VF (verre flotté): verre à vitre selon la norme EN 572, 2^e partie
VSF: verre de sécurité feuilleté selon la norme EN 12543, 2^e partie
S'il est fait usage de verre isolant, le vitrage extérieur devrait être dimensionné comme un verre simple d'après le tableau ci-dessus et être couplé avec un vitrage intérieur épais de 8 mm au minimum.

Lors d'inondations avec une vitesse d'écoulement moyenne à élevée (situations de danger 2 et 3), les fenêtres sont exposées à une pression statique supérieure ainsi qu'aux chocs occasionnés par les charges concentrées (corps flottants). L'action des crues peut être réduite en appliquant des croisillons, des plaques déflectrices ou des palplanches. Les contraintes correspondantes seront traitées selon les recommandations figurant au chapitre consacré aux laves torrentielles.

Mesures temporaires

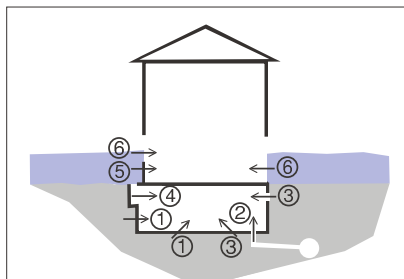
Les ouvertures peuvent être protégées temporairement au moyen

d'écrans en métal ou en bois. Quelques fabricants proposent des solutions standard pour sécuriser les ouvertures des bâtiments existants. Pour les nouvelles constructions, il est possible de trouver une solution satisfaisante au plan architectural en intégrant les écrans de protection dans la façade, juste sous les ouvertures, de sorte qu'ils puissent être levés en cas d'inondation.



Pénétration d'eau dans le bâtiment

L'eau peut pénétrer dans un bâtiment en empruntant les cheminements suivants:



- 1 La nappe phréatique traverse les parois ou le radier de la cave
- 2 L'eau reflue dans le bâtiment par les canalisations
- 3 La nappe phréatique pénètre par des joints ou des raccordements non étanches (introduction de conduites, câbles noyés dans la maçonnerie)

- 4 Les hautes eaux s'écoulent par les soupiraux et les fenêtres de la cave
- 5 Les hautes eaux percolent à travers les parois extérieures
- 6 Les hautes eaux pénètrent par les ouvertures des portes et des fenêtres

Etanchéité de l'enveloppe du bâtiment

L'étanchéité de l'enveloppe du bâtiment vis-à-vis des inondations peut être subdivisée selon trois degrés:

Degré d'étanchéité	Description
Parfaitement étanche	Le bâtiment ou le local concerné est parfaitement étanche à l'eau et aux actions des inondations.
Principalement étanche	Le bâtiment ou le local concerné est principalement étanche. Il est possible que de la vapeur d'eau traverse des parois ou que des quantités d'eau minimales percolent par des fentes. Mais il en résulte tout au plus des accumulations d'eau de quelques centimètres au sol pendant une inondation.
Non étanche	Il entre tant d'eau dans le bâtiment ou le local concerné pendant une inondation que le niveau à l'intérieur est proche de la cote du plan d'eau à l'extérieur du bâtiment.

Les procédés suivants peuvent être appliqués pour rendre l'enveloppe du bâtiment parfaitement étanche:

- Construction étanche en béton, béton étanche
- Construction avec une couche d'étanchéité externe ou interne, couche d'étanchéité bitumée

Ces deux procédés présentent les propriétés suivantes:

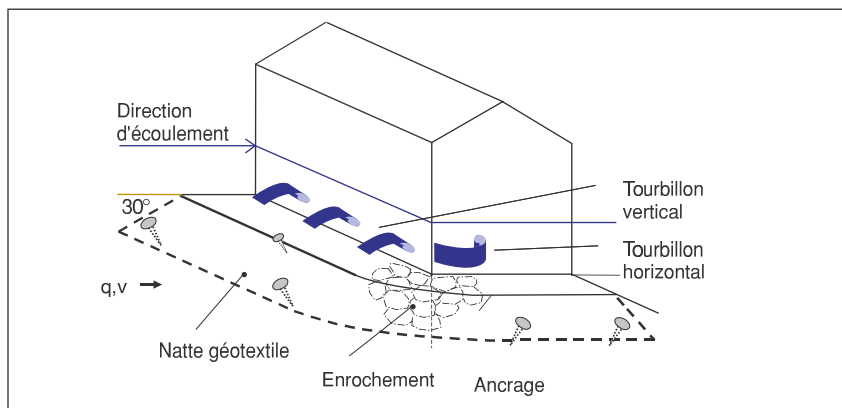
Critère	Feutre bitumé	Béton étanche
Fonction	Etanche	Etanche et porteur
Elasticité	Elevée, pontage des fissures	Faible, risque de fissuration
Etanchéité à la vapeur d'eau	Oui	Non



Pour une plus ample considération, il y a lieu de se référer aux normes SIA 272 (Etanchéité des ouvrages enterrés) et SIA 274 (Etanchéité des joints dans la construction). S'il subsiste un risque résiduel de percolation, celui-ci peut être réduit efficacement en plaçant une pompe immergée dans le sous-sol.

1 Protection des
fondations contre
l'affouillement

2



3

L'affouillement est principalement réduit en diminuant l'impact des tourbillons qui se forment le long du bâtiment. L'action des tourbillons horizontaux est contrée au moyen d'ouvrages horizontaux. Une solution souple et bon marché consiste à poser des nattes drainantes en géotextile. Pour contrer l'action des tourbillons verticaux, des protections verticales sont mises

en place aux coins du bâtiment. Dans ce cas, la protection requise contre l'affouillement peut être atteinte au moyen d'un enrochement. L'ouvrage de Kohli (1998) comprend des détails concernant le dimensionnement de ces dispositifs.


4

5

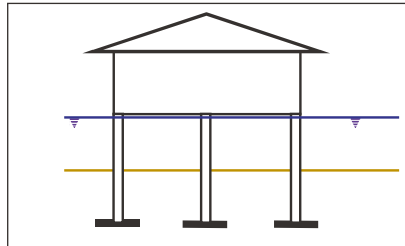
6

7

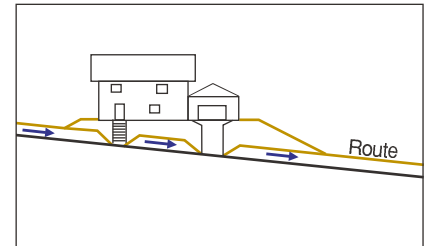
Certaines mesures à effet d'écran peuvent exercer une influence déterminante sur la propagation des phénomènes dangereux. Des mesures de ce type ne peuvent être appliquées que si leur mise en œuvre ne provoque aucune augmen-

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

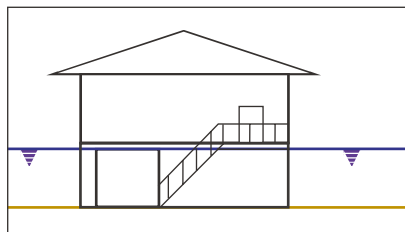
Position surélevée



Construction sur piliers



Construction sur remblai 



Construction sur murs

Dans de nombreux cas, la mesure la plus avantageuse au plan économique et la plus efficace pour réduire le risque pesant sur un nouveau bâtiment consiste à le construire sur un remblai. En procédant de la sorte, l'objet menacé peut être mis intégralement à l'abri des inondations (exception: accès au bâtiment en position basse). Il y a lieu de protéger le remblai contre l'érosion externe aux endroits où la vitesse d'écoulement est rapide. Lorsque cette mesure est mise en œuvre, il faut veiller à ce que le résultat soit bien intégré dans le paysage.

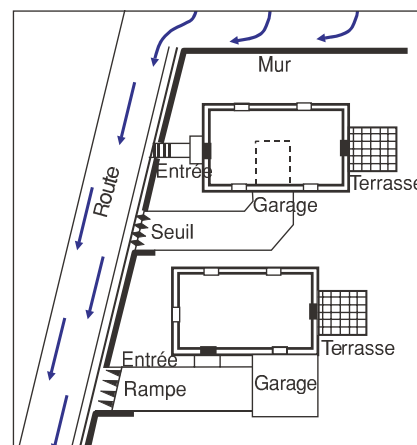
La construction sur piliers est une mesure de protection efficace, qui laisse en outre une grande liberté de conception. L'espace gagné sous le bâtiment peut servir de parking ou d'espace pour les loisirs. Si l'on recourt à des murs en lieu et place de piliers, on augmente encore les possibilités d'utilisation des volumes situés sous le bâtiment.

1 Digue ou mur de protection

Mesures permanentes

La construction d'une digue ou d'un mur avec rampe d'accès constitue une mesure permanente. Si l'accès emprunte un portail étanche au lieu d'une rampe, il s'agit d'une mesure temporaire. Dans ce cas, il n'est pas certain que la porte soit en position fermée lorsqu'un événement se produit.

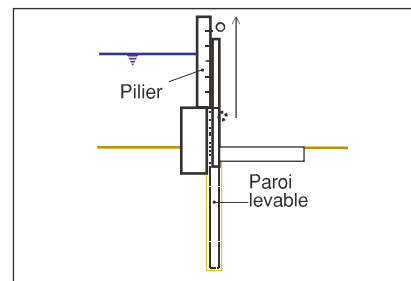
Lorsque l'on construit une digue ou un mur, il y a lieu de procéder aux vérifications usuelles concernant la stabilité interne et l'étanchéité ainsi que les phénomènes de renversement, glissement, tassement, érosion externe et interne, et renard hydraulique. L'eau de percolation à travers l'ouvrage et l'eau provenant de fuites sera récupérée dans des puits. Ce point est principalement important dans les régions affectées par des inondations de longue durée.



3

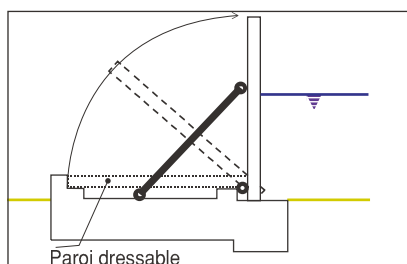
Mesures temporaires

On peut prévoir des dispositifs à dresser ou à lever à titre de mesure temporaire. Lorsque le délai de préalerte est suffisamment long, il est aussi possible de mettre en œuvre des mesures d'urgence comprenant des systèmes mobiles de palplanches, des digues de sacs de sable ou des combinaisons de ceux-ci.



4

5



6

7



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 com-

binaison des mesures exposées – qui ont trait à la conception, à l'étanchéité, au renforcement et à l'effet d'écran – permet de réduire efficacement le risque.

		Conception							Etanchéité Renforcement			Ecrans	
Combinaison de mesures	Situation de danger	Position du rez-de-chaussée et des ouvertures	Concept d'utilisation des espaces intérieurs	Choix des matériaux pour les aménagements intérieurs	Installations d'alimentation en énergie et en eau	Protection contre le reflux dans les canalisations	Ancrage des citernes à mazout	Voies d'évacuation	Ouvertures	Enveloppe du bâtiment	Protection des fondations contre l'affouillement	Position surélevée	Digue / mur de protection
Construction existante													
A	1/2	●				●	●	●					
B	1/2					●	●	●	●				
C	1/2					●		●	●	●			
D	3					●		●	●	●	●		
E	4							●	●	●	●		
F	1/2											●	
G	1/2					●							●
Nouvelle construction													
H	1/2		●	●	●	●	●	●					
I	1/2	●	●			●		●	●	●			
J	1/2/3	●										●	
K	3		●			●		●	●	●	●		
L	1/2/3	●				●							●
M	4	●	●					●	●	●			

1 Combinaison de mesures A

Cette combinaison comprend les mesures minimales à appliquer aux constructions existantes (inondation contrôlée). Elle permet d'assurer la sécurité des personnes et d'éviter les dommages secondaires provenant des installations de

stockage de mazout. Elle n'empêche pas que l'intérieur du bâtiment soit inondé, mais les dégâts matériels sont minimisés en adaptant l'utilisation des sous-sols et en y stockant des substances conformément à la situation de danger.

2 Combinaison de mesures B

Par rapport à la combinaison A, cette variante prévoit également l'étanchement et le renforcement des ouvertures. Elle empêche l'eau de passer par les entrées, les soupiraux, les conduits d'aération et les fenêtres. L'eau ne peut pénétrer

que par les parties non étanches de l'enveloppe du bâtiment.

3 Combinaison de mesures C

L'enveloppe du bâtiment est renforcée et étanchée là où cela s'avère nécessaire. La construction existante, également soumise aux mesures usuelles (selon la combinaison B) est protégée de manière optimale contre l'intrusion d'eau.

Sa stabilité au soulèvement sera vérifiée. Il n'est pas nécessaire de prévoir des mesures à l'intérieur du bâtiment.

4 Combinaison de mesures D

En plus des mesures prévues par la combinaison C, le bâtiment est protégé contre l'affouillement, car la situation de danger comprend un risque d'érosion et d'alluvionnement.

5 Combinaison de mesures E

Ce groupe de mesures est spécialement destiné à la situation de danger 4 (érosion du lit). La construction existante peut être protégée en prenant des mesures contre l'affouillement, en renforçant et en

étanchant la paroi extérieure concernée et en protégeant les éventuelles ouvertures.

6 Combinaison de mesures F

Par position surélevée des constructions existantes, on entend ici leur rehaussement. Le bâtiment, ou du moins la partie située au-dessus du niveau du terrain, est rehaussé au moyen de vérins hydrauliques. Ainsi, le rez-de-chaussée passe au-dessus de la cote d'inondation.

Le nouvel étage intermédiaire créé de la sorte est supporté par des piliers ou des murs extérieurs. Ce mode de protection des objets est peu onéreux et très efficace pour les constructions légères en bois.

7 Combinaison de mesures G

Un mur ou une digue de protection est érigé autour du bâtiment ou du bien-fonds concerné. L'accès emprunte une rampe, sinon il est muni d'un portail étanche. Un puisard équipé d'une pompe immergée est aménagé au point le plus bas du

périmètre situé derrière l'ouvrage de protection afin d'extraire l'eau provenant de fuites. L'intérieur du bâtiment sera équipé d'un dispositif antireflux afin d'endiguer tout reflux dans les canalisations.

Combinaison de mesures H

Cette combinaison est applicable aux nouvelles constructions dans lesquelles on ne peut exclure toute intrusion d'eau par les ouvertures. La vulnérabilité du bâtiment sera réduite en choisissant des matériaux

appropriés pour les aménagements intérieurs, en adaptant le système de distribution d'énergie et en prenant d'autres mesures à l'intérieur du bâtiment.

Combinaison de mesures I

Dans ce cas, l'enveloppe du bâtiment est réalisée de manière étanche. Les ouvertures sont pratiquées en position surélevée ou étanchées et renforcées le cas échéant. Ainsi, il n'est pratiquement

pas nécessaire de prendre des mesures à l'intérieur du bâtiment.

Combinaison de mesures J

Une position surélevée est indiquée en particulier lorsque la hauteur d'inondation est moyenne à élevée. Le bâtiment est construit sur un remblai, faute de quoi on optera pour une construction équivalente sur piliers ou murs de soutène-

ment. Ainsi, le bâtiment sera hors de portée de l'action directe des eaux et il ne sera pas nécessaire de prendre d'autres mesures.

Combinaison de mesures K

Des mesures visant à protéger le bâtiment contre l'affouillement sont mises en œuvre en plus de celles de la combinaison I.

Combinaison de mesures L

Un nouveau bâtiment ou groupe de bâtiments est protégé contre les inondations au moyen de murs ou de digues. Chaque construction est équipée afin d'empêcher tout reflux dans les canalisations. Le rez-de-chaussée et les ouvertures

proches du sol sont placés en position légèrement surélevée s'il faut s'attendre à l'apparition de résurgences d'un aquifère ou à l'infiltration d'eau.

Combinaison de mesures M

Lorsqu'un nouveau bâtiment est construit près du lit d'un cours d'eau, la paroi extérieure menacée par l'érosion est protégée contre l'affouillement, renforcée et étanchée. Les ouvertures pratiquées dans cette paroi sont aménagées en position surélevée.

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)