



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

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

www.protection-dangers-naturels.ch



Dangers naturels?

Les présentes recommandations traitent des dangers naturels suivants:

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

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

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

Protection des objets?

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

6 Qui est concerné, et quand?

Dangers naturels

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

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

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

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

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

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

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

1

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

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

2

Avalanches

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

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

3

Avalanches: Avalanches coulantes

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

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

4



5

Avalanches: Avalanches poudreuses

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

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

6



7

Avalanches: Glissement de la neige

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

considérables dues à la pression de la neige.



Crues

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

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

Crues: Erosion des berges

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

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



Crues: Inondations

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

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



1 Glissements de terrain

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

2 Glissements de terrain: Glissements superficiels

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

3

4

5 Glissements de terrain: Glissements semi-profonds à profonds

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

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

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



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



7

Glissements de terrain: Phénomènes de tassement et d'effondrement

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

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



Laves torrentielles

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

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

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

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

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



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

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



2

3 Phénomènes de chute

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

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

4 Phénomènes de chute: Chutes de pierres et de blocs

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

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

5

6

7



Méthode d'élaboration des cartes de dangers

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

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

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

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

Degrés de danger

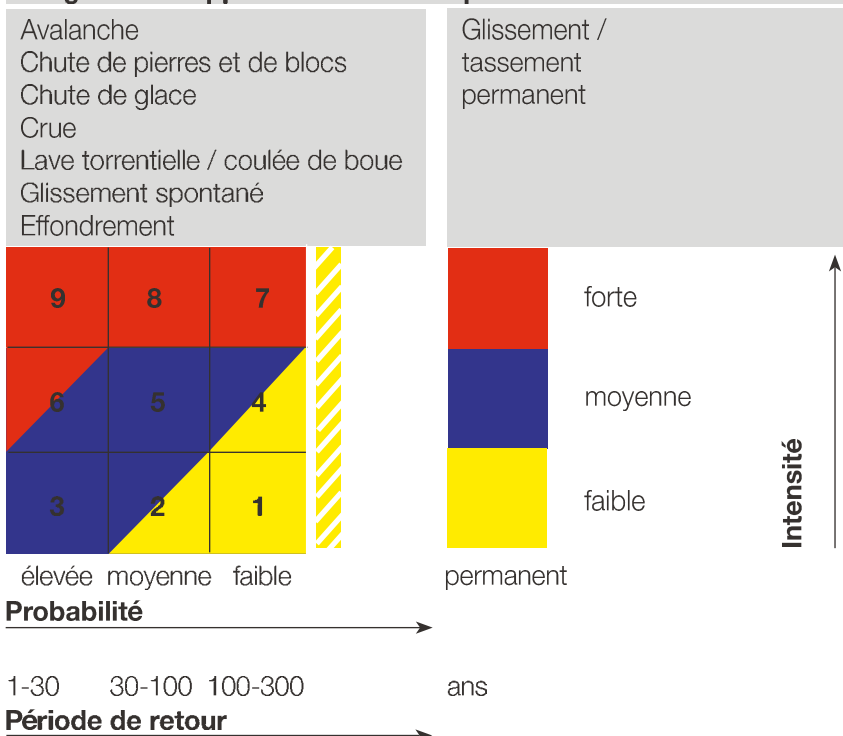
La carte de dangers, colorée en rouge, bleu, jaune et blanc, rend compte de l'importance des zones de danger pour l'aménagement du territoire, principalement en ce qui concerne la construction de bâtiments:

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

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

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

Diagrammes applicables selon les processus



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

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

Classes d'intensité

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

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

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

Classes de fréquence

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

dans le cadre de l'appréciation du danger:

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

Cartes d'intensités

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

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

1 Référence à la norme SIA 260

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

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

Sécurité structurale

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

2

3

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

F_d : action normale
 A_d : action accidentelle

Aptitude au service

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

4

5

6

7

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

1

2

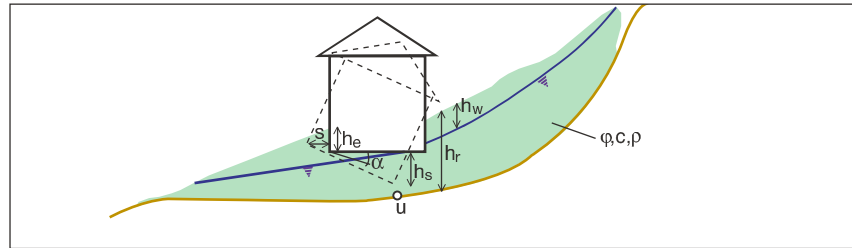
3

4

5

6

7

1 Notations concernant les
glissements de terrain

2

 h_r [m] Profondeur du plan de glissement h_e [m] Profondeur du bâtiment h_w [m] Profondeur du niveau piézométrique h_s [mm] Tassement par événement (glissements spontanés) s [mm] Déplacement horizontal par événement (glissements spontanés) v_f [mm/an] Vitesse (glissements permanents) v_h [mm/an] Composante horizontale de la vitesse (glissements

permanents)

 v_v [mm/an] Composante verticale de la vitesse (glissements permanents) ρ [t/m³] Densité du sol α [°] Angle d'inclinaison du bâtiment ϕ [°] Angle de résistance au cisaillement du sol (angle de frottement) c [kN/m²] Cohésion du sol u [kN/m²] Pression d'eau

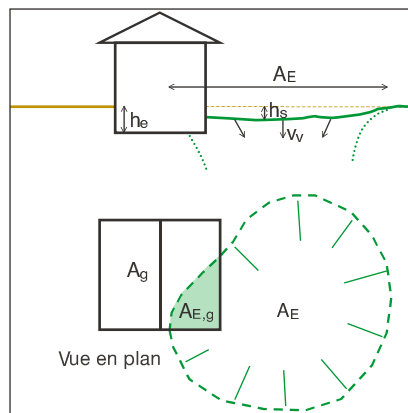
interstitielle

 q_{ea} [kN/m²] Pression active des

terres

3

4

Notations concernant les
effondrements et les
tassements h_s [mm] Hauteur de l'effondrement ou du tassement du sol v_v [mm/an] Vitesse de tassement (phénomènes permanents) A_E [m²] Superficie de l'entonnoir d'effondrement ou de tassement $A_{E,g}$ [m²] Superficie de la zone effondrée située dans l'aire de base du bâtiment A_g [m²] Aire de base du bâtiment

5

6

Caractérisation

Les glissements de terrain sont différenciés en fonction de la profondeur de leur plan de glissement. On distingue les glissements superficiels ($h_r < 2$ m), semi-profonds ($2 \text{ m} < h_r < 10$ m) et profonds ($h_r > 10$ m) comme décrit au chapitre introductif. Dans le cas des glissements spontanés, l'ampleur des dommages aux bâtiments et à leurs abords est essentiellement déterminée par l'amplitude du déplacement et du tassement. Pour les glissements permanents, le paramètre déterminant est la

vitesse du mouvement. Il faut s'attendre à d'importants dommages lorsque la grandeur et la direction des vecteurs vitesse présentent de grandes variations spatiales et temporelles. Le tableau suivant présente de manière succincte les dommages possibles selon la vitesse des glissements de terrain.

7

Vitesse* v_f	Domages pouvant affecter les bâtiments et l'espace extérieur
1 – 5 mm/an	Pas de dommage au bâtiment ou formation de fissures peu nombreuses, selon le type de construction et de fondation; légers tassements et soulèvements du sol dans l'espace extérieur.
10 – 50 mm/an	Formation de fissures peu nombreuses à nombreuses et/ou inclinaison du bâtiment; les phénomènes de tassement et de compression provoquent des modifications du terrain visibles à moyen terme, les conduites enterrées sont endommagées.
200 – 1000 mm/an	Formation de nombreuses fissures et/ou inclinaison du bâtiment; les phénomènes de tassement et de compression provoquent des modifications durables du terrain, les conduites enterrées doivent être entretenues chaque année pour rester opérationnelles.

* Les dommages correspondant à cette activité sont dus aux variations de la vitesse et de la direction du mouvement au sein de la masse en

glissement. Lorsque la vitesse et la direction sont homogènes, les dommages surviennent en bordure du glissement (bords cisailés).

Les tassements différentiels sont habituellement mesurés au moyen de l'angle de rotation $\tan\alpha$. Il y a lieu d'appliquer les valeurs limites typiques suivantes:

$\tan\alpha = 1/750$
les machines sensibles rencontrent des problèmes
 $\tan\alpha = 1/500$
les ouvrages commencent à se fissurer
 $\tan\alpha = 1/250$
l'inclinaison des ouvrages élevés devient visible
 $\tan\alpha = 1/150$
la structure des ouvrages subit des dégâts

Paramètres d'intensité pour le dimensionnement

Pour dimensionner les mesures visant à protéger des objets contre les glissements de terrain, il faut disposer de données concernant la *profondeur du plan de glissement*. Dans le cas des glissements spontanés, on considère également la *position du niveau piézométrique*, les *caractéristiques du sol* et les éventuelles *surpressions d'eau interstitielle*. Dans le cas des glissements permanents, on tient

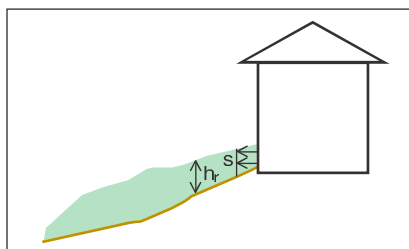
aussi compte de la *vitesse moyenne du mouvement*. S'agissant des effondrements, il faut disposer de données concernant la *hauteur* et la *superficie* du processus. Certains de ces paramètres peuvent être tirés des cartes d'intensités. Les autres paramètres requis seront déterminés par un spécialiste des dangers naturels.

1

Les glissements spontanés peuvent déboucher sur un déplacement rapide de la masse de terre à la surface du sol. Cette situation de danger est exposée dans le chapitre consacré aux laves torrentielles et aux coulées de boue.

2

Situation de danger 1



Un glissement superficiel s'éloigne d'un bâtiment

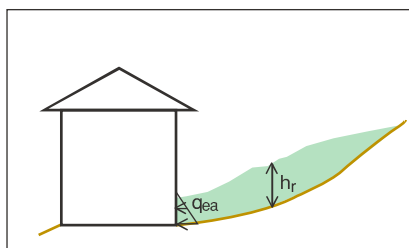
Le glissement de terrain s'éloigne du bâtiment d'une distance s , ce qui provoque une diminution de la pression des terres appliquée sur

les parois extérieures. Comme le plan de glissement est situé plus haut que les fondations, la stabilité globale de la construction n'est généralement pas remise en cause. Le mouvement de glissement occasionne des dommages aux abords du bâtiment (conduites, accès, ouvrages de soutènement, etc.).

3

4

Situation de danger 2



Un glissement superficiel s'avance contre un bâtiment

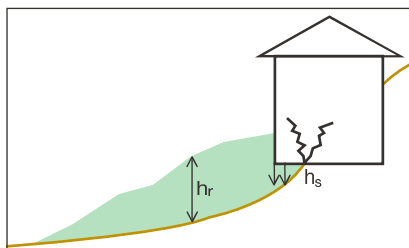
Le glissement de terrain s'avance contre le bâtiment, ce qui provoque un accroissement de la pression des terres q_{ea} appliquée sur les

parois exposées. La sécurité structurale des parois extérieures est en principe menacée. Lorsqu'un bâtiment de poids propre faible est affecté par un glissement de masse importante, sa stabilité au renversement ou au glissement peut aussi être menacée.

5

6

Situation de danger 3



Un glissement semi-profond entraîne une petite partie d'un bâtiment

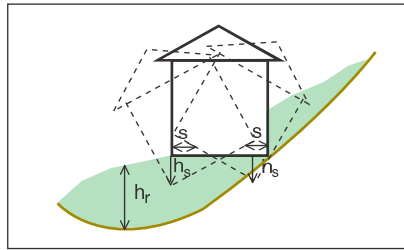
Le glissement de terrain provoque des tassements h_s et des déplacements s . La sécurité structurale de la partie affectée du bâtiment est



menacée selon le type de fondation et le concept statique de la construction. La stabilité globale est assurée tant que seule une petite partie du bâtiment est touchée.

7

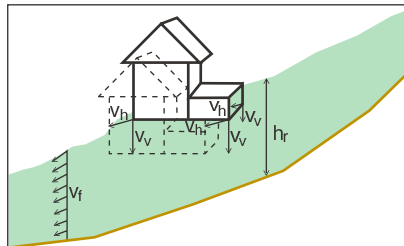
Situation de danger 4



Un glissement semi-profond entraîne l'ensemble d'un bâtiment
La sécurité structurale, la stabilité globale et l'aptitude au service du bâtiment sont menacées du fait des tassements différentiels h_s et des déplacements s .

L'ampleur et la nature des déformations (tassements/soulèvements, basculement, fissuration) dépendent du type de fondation et de la conception de la structure porteuse.

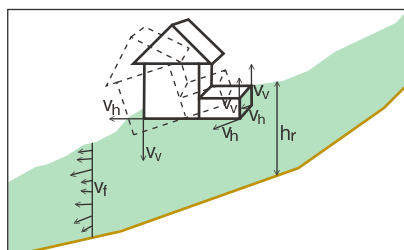
Situation de danger 5



Glissement profond de vitesse faible et homogène
L'ensemble du bâtiment est entraîné par le glissement de terrain. Mais le mouvement est lent et les

vecteurs vitesse (composantes horizontale et verticale) ont la même grandeur et la même direction dans la tranche de terrain correspondant à la profondeur de fondation. Les composantes horizontale et verticale du mouvement subi par la construction ne présentent donc aucune variation. Des dommages apparaissent aux bords cisailés du glissement et aux endroits où le terrain forme des bosses et des dépressions.

Situation de danger 6

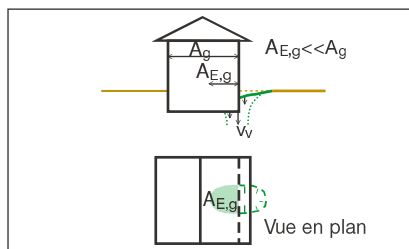


Glissement profond de vitesse élevée et hétérogène
L'ensemble du bâtiment est entraîné par le glissement de terrain. Le mouvement est rapide et les vecteurs vitesse ont des grandeurs et des directions différentes dans la tranche de terrain correspondant à la profondeur de fondation. Les composantes horizontale et verticale du mouvement subi par la construction présentent donc d'importantes variations.



La sécurité structurale, la stabilité globale (basculement) et l'aptitude au service du bâtiment sont fortement menacées.

1 Situation de danger 7



Effondrement de faible étendue

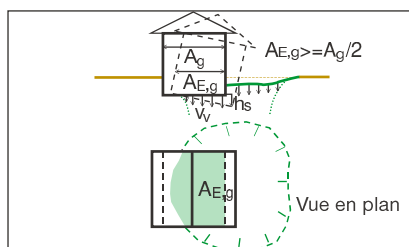
Seule une petite partie de l'aire de base du bâtiment est affectée par l'effondrement.

L'effondrement ou le tassement provoque des tassements de faible ampleur sous le bâtiment.

La sécurité structurale de la partie affectée est menacée selon le type de fondation et le concept statique de la construction. La stabilité globale du bâtiment reste généralement assurée.

2

3 Situation de danger 8



Effondrement de grande étendue

Une grande partie de l'aire de base du bâtiment est affectée par l'effondrement.

Sa stabilité globale n'est plus assurée. Il peut s'incliner ou se briser selon le type de fondation et le concept statique de la construction.

4

5 Détermination des
actions

Les glissements de terrain affectent les bâtiments par le biais de la pression des terres, de la pression hydrostatique et des déformations du sol. Ces actions seront déterminées sur la base d'une expertise du sol de fondation et d'une appréciation géotechnique adaptées à l'ouvrage traité. En général, les informations concernant les glissements de terrain qui figurent sur les cartes de dangers et d'intensités ne suffisent pas pour dimensionner les mesures de protection des objets. Dans le seul cas des glissements superficiels, il est souvent possible de renoncer à une investigation de terrain plus approfondie. Les actions générées par les glissements de terrain et par les effondrements ne peuvent pas être exprimées directement au moyen de valeurs normées. Elles seront déterminées, conformément aux

conditions locales, en appliquant les règles de l'art de la géotechnique et du calcul des fondations. Trois approches principales s'offrent au spécialiste en géotechnique pour établir les actions: Différentes *investigations de terrain* permettent de déterminer la profondeur d'un plan de glissement déjà formé, la vitesse de glissement, la compacité du terrain et les paramètres relatifs à l'eau interstitielle. Des *essais de laboratoire* fournissent la densité, l'angle de frottement interne et la cohésion d'échantillons du sol. On peut calculer les actions en introduisant ces paramètres, ainsi que des données concernant la topographie locale, dans un *modèle numérique*. Ces modèles permettent en outre de contrôler l'efficacité des mesures envisageables pour protéger les objets.

6

7

Choix du site

Lorsqu'un nouveau bâtiment est construit sur un site menacé par des phénomènes de glissement ou d'effondrement, le risque peut être réduit d'emblée en positionnant judicieusement la construction sur la parcelle concernée. En aménageant le terrain, il faut veiller à réaliser les remblais et les fouilles de façon à ralentir le mécanisme de glissement. Ce principe est

valable pour les glissements permanents comme pour les glissements temporaires durant la construction. C'est pourquoi les études doivent intégrer d'emblée les étapes de chantier défavorables, telle l'ouverture de la fouille. Les risques ne pouvant pas être jugulés par un calcul pertinent seront limités en procédant à des contrôles.

Concept statique et fondations

Le concept statique d'un bâtiment est considéré comme favorable lorsque de petits tassements du terrain situé sous le corps de la construction ne provoquent pas de dégâts tels que fissures. C'est pourquoi il y a lieu de choisir un mode de construction monolithique. Les annexes seront toujours parfaitement distinctes au plan statique. Le type de fondation retenu devra également être insensible aux

tassements et aux déplacements éventuels. Les fondations plates comprenant un radier renforcé ont généralement fait leurs preuves. Les fondations peuvent être soumises à des exigences supplémentaires selon le type de glissement. Le paragraphe « Report des charges, redressement et mesures de renforcement » fournit des détails à cet effet.

Concept d'utilisation des espaces intérieurs

Dans le cas d'un glissement profond, le concept d'utilisation des espaces intérieurs doit être adapté à la situation. Un bâtiment qui se déplace avec un terrain en mouvement risque de s'incliner. Selon le concept statique appliqué, il sera possible de redresser l'ouvrage ou certaines parties de celui-ci (cf. ci-dessous). Il faut s'attendre à ce que

les sous-sols, notamment, ne puissent plus être redressés et doivent rester en position inclinée. Ce point devrait être pris en compte dès la première étape d'agencement des espaces intérieurs.

Introduction des conduites

Les conduites enterrées sont endommagées aux emplacements où la vitesse de glissement présente d'importantes variations spatiales. Ces zones se trouvent généralement en bordure des glissements de terrain, siège de cisaillements,

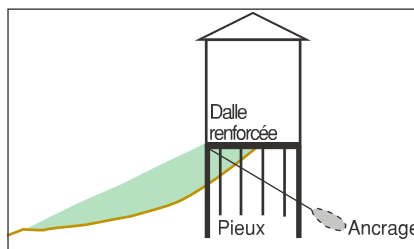
et au passage des conduites du sous-sol au bâtiment. Les projets peuvent se référer aux directives pour les installations de transport par conduites (SSIGE 2001, SSIGE 2004).

Evacuation des eaux pluviales

Il est préférable d'évacuer les eaux superficielles plutôt que de les infiltrer. L'eau est souvent le principal moteur des glissements de terrain. C'est pourquoi l'on s'efforce de maintenir le niveau piézométrique aussi bas que possible. Il faut

donc capter les sources et éviter d'infiltrer les eaux provenant des toitures.

1 Report des charges sous
le plan de glissement

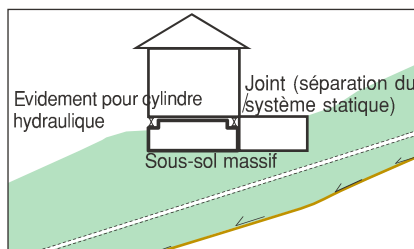


Les charges s'exerçant sur le bâtiment sont transmises par des voiles ou des pieux dans le sous-sol stable. Cette mesure peut être mise en œuvre en cas de glissement d'activité modérée ou d'effondrement superficiel. Le mouvement de la masse instable n'est pas entravé notablement. Le bâtiment repose à la manière d'un pont sur des piliers fondés sur un niveau résistant du sous-sol. On opte généralement pour des puits périphériques lorsqu'il s'agit de choisir les pieux.

2

3 Redressement du
bâtiment par
rehaussement

Les mesures suivantes visent à rehausser la partie affaissée des bâtiments situés sur des glissements profonds à semi-profonds. Elles sont mises en œuvre lorsque la masse en mouvement a une taille telle qu'on ne peut pas l'influencer par des mesures de stabilisation.



Evidement pour cylindre hydraulique

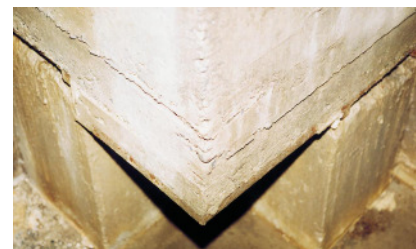
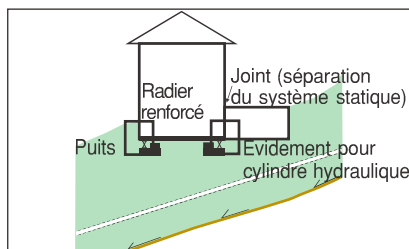
4

5

6

7

a) *Séparation statique entre le sous-sol et les étages supérieurs*
Le sous-sol et les étages supérieurs sont isolés au niveau statique. Des puits sont aménagés pour accueillir des vérins hydrauliques. Si le bâtiment se penche, les étages peuvent être redressés, tandis que le sous-sol reste en position inclinée. Le processus est répété lorsque l'ouvrage s'incline à nouveau.



b) Appui sur des semelles isolées
Si l'ensemble du bâtiment incliné doit être redressé, les évidements nécessaires aux vérins hydrauliques seront prévus dans les fondations. Cette variante n'est donc généralement applicable qu'aux nouvelles constructions. L'accès aux appuis est assuré par des puits isolés au niveau statique, disposés aux coins du bâtiment. On placera si nécessaire des puits supplémentaires sous les parois extérieures ou sous le corps du bâtiment.

c) Rehaussement par injection de résine synthétique
L'injection de résine synthétique sous les fondations d'un bâtiment existant permet de rehausser son côté affaissé. Une machine spéciale injecte la résine dans le sous-sol à travers les fondations, dans des trous forés à cet effet. Le rehaussement de l'ouvrage est dû à l'expansion de la résine, qui se dilate d'un facteur 15 à 20. Il en résulte une pression qui peut dépasser les 50 t/m².



Renforcement du radier et des parois extérieures

Le renforcement du radier et des parois extérieures est une exigence minimale dans de nombreuses combinaisons de mesures proposées. Dans les nouvelles constructions, ce renforcement peut être obtenu en augmentant le pourcentage d'armature lorsque la structure porteuse est en béton armé. Pour les constructions existantes, on ajoutera une armature collée ou un complément d'armature combiné avec une couche de gunite ou de béton de parement.

1 Stabilisation par la mise en place d'éléments de soutènement

2

3

4

5

6

7

a) Ancrage en sol meuble ou en rocher

Un compartiment instable de sol meuble ou de roche est solidarisé avec un compartiment stable de sol meuble ou de roche à l'aide d'ancrages.

Dans le cas d'ancrage en sol meuble, la zone d'ancrage est située dans un terrain meuble; la résistance externe, due au frottement latéral mobilisable entre le scellement et le sol, est déterminée par la composition granulométrique et la compacité du terrain.

Dans le cas d'ancrage en rocher, la zone d'ancrage est située dans de la roche; la résistance externe est déterminée par la nature de celle-ci (résistance, dureté, rugosité, fissuration, stratification, etc.).

Selon leur application, les tirants d'ancrage sont:

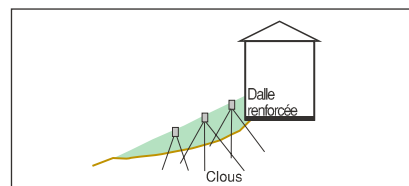
- totalement précontraints: la mise en tension correspond à la force d'utilisation exigée,
- partiellement précontraints: la mise en tension correspond à une fraction de la force d'utilisation, ou
- passifs: la contrainte apparaît lorsque la tête d'ancrage se déforme.

Les normes SIA V191 « Tirants d'ancrage précontraints en sol meuble et en roche » et SIA 191/1 « Tirants d'ancrage passifs (clous) à adhérence totale » comprennent davantage de détails concernant les ancrages.

b) Clous

Dans la technique du clouage, les clous (barres d'acier) visent à susciter, dans un plan de glissement existant, des efforts tranchants qui s'opposeront au mouvement de la masse instable. Des contraintes de cisaillement pur apparaissent lorsque le plan de glissement coïncide avec l'interface entre deux couches rigides. Des contraintes de cisaillement dues à la flexion sont produites dans

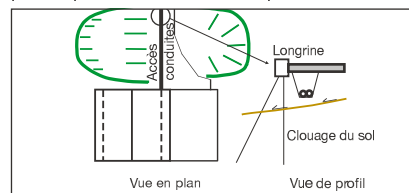
les sols mous. Les clous disposés pour assainir un glissement de terrain se courbent au niveau du plan de glissement sous l'effet des mouvements qui s'y produisent, si bien qu'ils reprennent principalement des efforts de traction.



Les clous sont enrobés de mortier sur toute leur longueur. Ils peuvent être répartis sur le corps en glissement selon un canevas linéaire ou surfacique. L'agencement linéaire est préférable lorsqu'il s'agit de sécuriser des objets spécifiques (bâtiments, accès, etc.).

On regroupe toujours deux ou trois clous pour former un élément statique (chevalet).

Le clouage du sol présente divers avantages. Il est simple à exécuter et ne nécessite pas de grosse installation. Ce système flexible est à même de s'adapter aux éventuels mouvements de reptation à grande échelle sans que le dispositif ne se rompe. Sa mise en œuvre est principalement limitée par la



profondeur et par l'extension (volume) du glissement de terrain. Si le plan de glissement se trouve à plus de 6 à 8 m de profondeur ou s'il s'agit de reprendre des efforts tranchants supérieurs à quelque 300 kN/m' (effort global), le clouage est généralement peu rentable par comparaison avec les solutions à base d'ancrages précontraints ou de pieux. La combinaison de clous et d'une longrine permet en outre de protéger efficacement les conduites enterrées et les routes d'accès.

c) Pieux

Les pieux sont généralement distingués selon les quatre caractéristiques suivantes:

Caractéristique distinctive	Nom	Description
Lieu et mode de fabrication	Pieu préfabriqué	Pieu préfabriqué.
	Pieu moulé dans le sol	Le pieu est confectionné dans le sol en coulant du béton ou en injectant les matériaux constitutifs.
Mode d'introduction dans le sol	Pieu battu	Le pieu est introduit dans le sol par battage, vibration ou application de pression statique (pieu foncé). Le sol en place est refoulé.
	Pieu foré	Le trou qui accueillera le pieu est aménagé en retirant des matériaux du sol.
Mode de transfert des charges	Pieu colonne	Le transfert des charges dans le sol s'opère principalement à la pointe du pieu (résistance en pointe).
	Pieu flottant	Le transfert des charges dans le sol s'opère principalement le long du pieu (frottement latéral).
Mode de sollicitation	Pieu en compression	Pieu sollicité principalement en compression; utilisé par exemple pour les fondations profondes.
	Pieu en traction	Pieu sollicité principalement en traction; utilisé par exemple pour contrer la pression hydrostatique (cf. chapitre consacré aux mesures contre les crues).
	Pieu en flexion	Pieu sollicité principalement en flexion et en cisaillement; utilisé par exemple pour contrer les glissements de terrain.

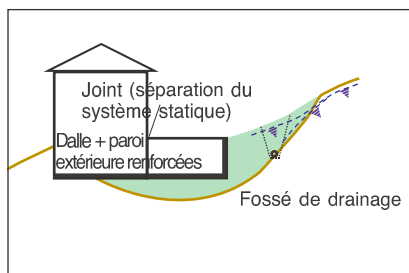
On distingue en outre les pieux en bois, en acier et en béton, selon les matériaux les constituant.

Les pieux destinés à stabiliser une masse en glissement sont généralement combinés avec des ancrages. Dans le cadre de la protection des objets contre les glissements de terrain, les pieux sont surtout utilisés pour fonder les bâtiments dans la partie stable du sous-sol.

La norme SIA V192 « Pieux » comprend des données détaillées concernant leur dimensionnement.

1 Stabilisation par réduction de la pression interstitielle

Les techniques suivantes sont applicables lorsqu'il est possible de retirer l'eau du sol sous des conditions hydrostatiques normales. Le bon fonctionnement du système de drainage doit être contrôlé périodiquement.



a) Fossés de drainage

Les glissements de terrain peuvent être stabilisés par l'aménagement de fossés de drainage lorsque les couches à drainer sont proches de la surface (profondeur entre 1 et 3 m). L'avantage de ce procédé réside dans le fait qu'on peut évaluer les conditions régnant effectivement sur le site en ouvrant les fouilles, si bien qu'il est possible d'optimiser le système de drainage pendant sa construction.

b) Forages horizontaux à partir de la surface

La réalisation de forages horizontaux s'impose lorsque le terrain est en pente et que les couches à drainer sont hors de portée des fossés de drainage à ciel ouvert. Des forages rayonnants sont réalisés à partir d'une chambre collectrice. Ils sont équipés de tuyaux perforés entourés d'une couche filtrante, mis en place à l'aide de diverses techniques.

c) Drainages horizontaux à partir de puits verticaux

Si les couches à drainer sont à une profondeur encore supérieure, il faut prévoir des drainages horizontaux à partir de puits verticaux.

4

5 Stabilisation par modification de la topographie

a) Remblai de contrepoids

On érige fréquemment un remblai de contrepoids comme mesure d'urgence contre un glissement de terrain. Ce procédé peut aussi être utilisé préventivement pour empêcher le déclenchement d'un glissement. Il n'est efficace que si le remblai peut agir directement sur le corps susceptible de glisser. Il faut donc examiner si des plans de glissement peuvent se trouver hors de la zone d'influence du remblai.

b) Aplatissement

L'aplatissement de secteurs très raides est une mesure envisageable pour prévenir les glissements superficiels spontanés (notamment provoqués par de fortes précipitations). Comme cette mesure présuppose une intervention importante dans la topographie, elle devrait être intégrée le plus tôt possible dans la planification.

7

Combinaisons de mesures

Combinaison de mesures	Situation de danger	Conception					Report des charges Redressement Renforcement			Stabilisation		
		Choix du site	Concept statique/fondations	Concept d'utilisation des espaces intérieurs	Introduction des conduites	Evacuation des eaux pluviales	Report des charges sous le plan de glissement	Redressement par rhaussement	Renforcement des parois extérieures	Renforcement du radier	Éléments de soutènement	Réduction de la pression interstitielle
Construction existante												
A	1/2					•					•	
B	1/2					•					•	
C	1/2					•						•
D	2				•	•		•				
E	3				•	•	•			•		
F	4				•	•		•		•		
G	4				•	•		•		•	•	
H	5/6				•	•		•	•	•		
I	7					•				•		
J	8				•	•	(•)	•		•		
Nouvelle construction												
K	1	•			•	•						
L	2	•			•	•			•			
M	1/2	•				•				•		
N	1/2	•				•					•	
O	1/2	•				•						•
P	3	•	•		•	•	•			•		
Q	4	•	•			•		•		•	•	
R	4	•	•			•		•		•	•	
S	5		•	•	•	•		•		•		
T	6		•	•	•	•		•	•	•		
U	7	•	•			•				•		
V	8	•	•		•	•	(•)	•		•		

1 Combinaisons de mesures A, B et C

Le danger est dû à un glissement superficiel. Le bâtiment existant est protégé en stabilisant la masse en glissement. Ce résultat est obtenu au moyen d'éléments de soutène-

ment ou de drainages, ou en aplatissant la pente.

2 Combinaison de mesures D

Un glissement superficiel s'avance contre le bâtiment. Le surcroît de pression des terres est contrôlé en renforçant la paroi extérieure menacée. Si des conduites enterrées se trouvent dans la zone influen-

cée par le glissement, il y a lieu de prévoir des mesures de protection telles que trappes coulissantes, dispositifs de sécurité en cas de rupture ou de déboîtement, ou regards de contrôle.

3 Combinaison de mesures E

Le plan de glissement passe à une profondeur supérieure à celle des fondations du bâtiment et la masse en mouvement s'en éloigne. Les charges sont transmises dans la partie stable du sous-sol au moyen de voiles ou de micropieux. Ce procédé requiert le cas échéant un

renforcement du radier du bâtiment. Les conduites enterrées à l'extérieur de celui-ci doivent également faire l'objet de mesures de protection plus poussées, telles que trappes coulissantes, dispositifs de sécurité en cas de rupture ou de déboîtement, ou regards de contrôle.

4 Combinaisons de mesures F et G

Le plan de glissement passe à une profondeur supérieure à celle des fondations du bâtiment. La masse en glissement est stabilisée au moyen d'éléments de soutènement ou d'un drainage profond. Des tassements et des déplace-

ments risquent de survenir pendant le processus de stabilisation, si bien qu'il peut s'avérer nécessaire de renforcer le radier et de redresser le bâtiment en rehaussant la partie affaissée.

5 Combinaison de mesures H

Un glissement profond ne peut pas être influencé par des mesures de stabilisation. Les bâtiments inclinés sont redressés au moyen de vérins hydrauliques. Si la vitesse de mouvement présente d'importantes variations spatiales (situation de

danger 6), il faut en outre renforcer le radier et les parois extérieures, dans la mesure où le mode de construction le permet.

6 Combinaison de mesures I

Un effondrement de faible étendue menace une partie du bâtiment. La zone de faiblesse localisée peut être confortée en renforçant le

radier localement et en approfondissant éventuellement les fondations, par exemple en disposant des pieux.

7 Combinaison de mesures J

Un effondrement du sous-sol menace la stabilité de l'ensemble du bâtiment. Si le processus se développe lentement, on peut lutter contre l'inclinaison de la construction en la redressant. Selon les caractéristiques de l'effondrement, il

sera possible de transmettre les charges dans des couches stables en disposant des pieux.

Combinaisons de mesures K et L

Un nouveau bâtiment est construit sur une parcelle menacée par un glissement superficiel. Le site est choisi et le terrain aménagé en s'efforçant de réduire le danger. Les parois extérieures sont renforcées dans les secteurs où l'on craint un accroissement de la pression des terres. L'évacuation minutieuse des eaux superficielles permet de diminuer la probabilité de déclenchement d'un glissement de terrain. Les conduites sont posées si possible dans des zones qui ne sont pas affectées par le

glissement. Sinon, il y a lieu de prévoir d'emblée des mesures de protection plus poussées.

Combinaisons de mesures M, N et O

Si le choix du site et l'aménagement du terrain ne permettent pas encore de réduire suffisamment le danger, il y a lieu de mettre en œuvre des mesures de stabilisation du corps en glissement.

Combinaison de mesures P

Contrairement à la combinaison de mesures E (construction existante), les mesures requises concernant les fondations (transmission des charges dans la partie stable du sous-sol) et le radier peuvent être réalisées d'emblée lorsque l'on construit un nouveau bâtiment.

Combinaisons de mesures Q et R

Ces combinaisons se distinguent des variantes équivalentes applicables aux constructions existantes par le fait que le renforcement du radier est planifié d'emblée.

Combinaisons de mesures S et T

Les nouveaux bâtiments construits sur des glissements profonds doivent être conçus d'emblée de manière à ce qu'on puisse les redresser le cas échéant. Cette exigence requiert un concept statique adéquat, comprenant des

évidements pouvant accueillir des vérins hydrauliques.

Combinaisons de mesures U et V

Lorsqu'on érige un nouveau bâtiment, il est possible le cas échéant d'échapper au danger d'effondrement en choisissant soigneusement le site. Sinon, il est notamment important de renforcer le radier et de faire en sorte qu'on

puisse rehausser la partie affaissée de la construction.