
Préface de l'éditeur

Les établissements cantonaux d'assurance ont reçu pour légal de couvrir intégralement les dommages immobiliers causés par les dangers naturels assurés. Ils sont également tenus par la loi de favoriser les mesures susceptibles de prévenir des dommages et de diminuer leur ampleur. Relevant de la responsabilité personnelle, la mise en œuvre de ces mesures va dans l'intérêt des propriétaires de bâtiments. Au centre de ces deux pôles – la propriété privée et l'assurance de droit public – se trouve le bâtiment, l'objet, et par conséquent sa protection.

Tout bâtiment construit en Suisse est exposé à ces dangers naturels météorologiques que sont le vent, la grêle, la pluie et la neige. Chacun d'entre eux occasionne quotidiennement des dommages spécifiques:

- le vent endommage les toitures, les éléments de façades, les stores à lamelles et les stores solaires, soit les parties sensibles de l'enveloppe des bâtiments
- la grêle endommage les matériaux vulnérables aux chocs, tels que les d'étanchéité de toiture, crépis appliqués sur des isolations extérieures, tôles, volets roulants, etc.
- la pluie génère rapidement des écoulements incontrôlés d'eaux superficielles qui provoquent des inondations endommageant les matériaux des sols et des parois à l'intérieur et autour des bâtiments
- la neige restant sur les toits puis soumise au vent, au gel et au dégel est de nature à exercer sur eux des pressions dommageables.

Des mesures de prévention et de protection peuvent être prises pour éviter tous ces dommages. Elles consistent par exemple à construire sur un emplacement de topographie appropriée, à conférer une structure porteuse adéquate aux bâtiments, à choisir des matériaux résistants à la grêle, à fixer parfaitement les éléments de construction, à évacuer correctement les eaux des toitures, des balcons et des places ou à construire des écrans sur les parcelles bâties. Les présentes recommandations indiquent aux concepteurs, aux architectes, aux ingénieurs, aux autorités et aux maîtres d'ouvrages intéressés les dommages qui peuvent survenir et les mesures applicables pour protéger les objets. Les valeurs de dimensionnement tiennent compte d'enseignements acquis tout récemment, dans le contexte du changement climatique de ces dernières décennies, en interprétant les informations fournies par les stations de mesure de Météo-Suisse.

Ces recommandations ne peuvent pas se prévaloir d'un caractère obligatoire pour les autorités. Ce qui est déterminant, c'est l'état des connaissances techniques actuelles, qu'elle expose en accord avec les directives pertinentes de la SIA. Leur but est donc de faire accéder les moyens envisageables au statut d'objectif visé, pour que la protection des objets devienne concrète et efficace!

Établissements cantonaux d'assurance

AG

Aargauische Gebäudeversicherung
Bleichemattstrasse 12/14
Postfach, 5001 Aarau
Telefon 0848 836 800
Telefax 062 836 36 26
E-Mail info@agv-ag.ch
www.agv-ag.ch

AR

Assekuranz AR, Gebäudeversicherung
Poststrasse 10, 9102 Herisau
Telefon 071 353 00 53
Telefax 071 353 00 59
E-Mail info@assekuranz.ch
www.assekuranz.ch

BE

Assurance immobilière Berne
Papiermühlestrasse 130
3063 Ittigen-Berne
Téléphone 031 925 11 11
Téléfax 031 925 12 22
E-mail info@gvb.ch, www.aib.ch

BL

Basellandschaftliche Gebäude-
versicherung, Rheinstrasse 33A
4410 Liestal
Telefon 061 927 11 11
Telefax 061 927 12 12
E-Mail bgv@bgv.bl.ch, www.bgv.bl.ch

BS

Gebäudeversicherung des Kantons
Basel-Stadt, Aeschenvorstadt 55
4051 Basel
Telefon 061 205 30 00
Telefax 061 205 30 10
E-Mail gvbs@gvbs.ch, www.gvbs.ch

FR

Établissement cantonal d'assurance des
bâtiments, Maison-de-Montenach 1
Case postale 486
1701 Fribourg/Granges-Paccot
Téléphone 026 305 92 92
Téléfax 026 305 92 91
E-mail ecab@fr.ch, www.ecab.ch

GL

glarnerSach
Zwinglistrasse 6, 8750 Glarus
Telefon 055 645 61 61
Telefax 055 645 61 95
E-Mail info@glarnersach.ch
www.glarnersach.ch

GR

Gebäudeversicherung Graubünden GVG
Ottostrasse 22, 7001 Chur
Telefon 081 257 39 08
Telefax 081 257 39 59
E-Mail info@gvg.gr.ch, www.gvg.gr.ch

JU

Établissement cantonal d'assurance
immobilière et de prévention
Rue de la Gare 14
2350 Saignelégier
Téléphone 032 952 18 40
Téléfax 032 951 23 73
E-mail info@eca-jura.ch, www.eca-jura.ch

LU

Gebäudeversicherung des Kantons
Luzern, Hirschengraben 19
6002 Luzern
Telefon 041 227 22 22
Telefax 041 227 22 23
E-Mail mail@gvl.ch, www.gvl.ch

NE

Établissement cantonal d'assurance
et de prévention, Place de la Gare 4
2002 Neuchâtel
Téléphone 032 889 62 22
Téléfax 032 889 62 33
E-mail ecap@ne.ch, www.ecap-ne.ch

NW

Nidwaldner Sachversicherung
Stansstaderstrasse 54
6370 Stans
Telefon 041 618 50 50
Telefax 041 618 50 60
E-Mail nsv@nsv.ch, www.nsv.ch

SG

Gebäudeversicherungsanstalt des
Kantons St.Gallen, Davidstrasse 37
9001 St.Gallen
Telefon 071 226 70 30
Telefax 071 226 70 29
E-Mail info@gvasg.ch, www.gvasg.ch

SH

Gebäudeversicherung des Kantons
Schaffhausen, Herrenacker 9
8200 Schaffhausen
Telefon 0848 11 00 11
Telefax 052 624 15 14
E-Mail info.gv@ktsh.ch, www.gv.sh.ch

Établissements cantonaux d'assurance

SO

Solothurnische Gebäudeversicherung
Baselstrasse 40
Postfach 448
4500 Solothurn
Telefon 032 627 97 00
Telefax 032 627 97 10
E-Mail info@sgvso.ch, www.sgvso.ch

TG

Gebäudeversicherung Thurgau
Spannerstrasse 8
8510 Frauenfeld
Telefon 052 724 24 87
Telefax 052 724 25 82
E-Mail info@gvtg.ch, www.gvtg.ch

VD

Établissement cantonal d'assurance
Avenue Général-Guisan 56
1009 Pully
Téléphone 021 721 21 21
Téléfax 021 721 21 22
E-mail mail@eca-vaud.ch
www.eca-vaud.ch

ZG

Gebäudeversicherung Zug
Poststrasse 10
Postfach, 6301 Zug
Telefon 041 726 90 90
Telefax 041 726 90 99
E-Mail info@gvzg.zg.ch, www.gvzg.ch

ZH

Gebäudeversicherung Kanton Zürich
Thurgauerstrasse 56
8050 Zürich
Telefon 044 308 21 11
Telefax 044 303 11 20
E-Mail info@gvz.ch, www.gvz.ch

Impressum

Tous droits réservés
© 2007
Association des établissements
cantonaux d'assurance incendie
Bundesgasse 20
CH-3001 Berne
www.vkf.ch



Auteur:
Dr. Thomas Egli
Egli Engineering
Lerchenfeldstrasse 5
9014 St. Gallen
www.naturgefahr.ch



Egli Engineering

Révision:
Commission pour les dommages
des aux éléments naturels
de l'Association des établissements
cantonaux d'assurance incendie:
Werner Gächter, Gebäudeversi-
cherungsanstalt des Kantons St.
Gallen, St. Gallen, président
Dr. Peter Blumer, Gebäudeversi-
cherung des Kantons Basel-Stadt,
Basel
Jean Bourquard, Établissement
cantonal d'assurance immobilière
et de prévention, Saignelégier
Bernhard Fröhlich, Baselland-
schaftliche Gebäudeversicherung,
Liestal
Ueli Winzenried, Assurance immo-
bilière Berne, Berne

Groupe de projet «Recommanda-
tions – Protection des objets
contre les dangers naturels
météorologiques»:
Dörte Aller, Gebäudeversicherung
Kanton Zürich, Zürich
Alfred Baumgartner, Aargauische
Gebäudeversicherung, Aarau
(jusqu'en 2006)
Georges Brandenburg, Aargai-
sche Gebäudeversicherung, Aarau
(dès 2007)

Thierry Berset, Établissement can-
tonal d'assurance des bâtiments,
Fribourg
Renzo Bianchi, Bianchi Beratungen
GmbH, Burgdorf
Dr Olivier Lateltin, Association des
établissements cantonaux d'assu-
rance incendie, Berne (dès 2007)
Jean-Marc Lance, Établissement
cantonal d'assurance, Pully
Dr Gian Reto Bezzola, Office fédé-
ral de l'environnement, Berne

Auteurs de contributions:
Dieter Balkow, Institut suisse du
verre dans le bâtiment, Zurich
Hans Donzé, Gebäudeversicherung
des Kantons Luzern, Luzern
Ruedi Räss, Prüf- und Forschungs-
institut, Sursee
Prof. Dr. Bruno Zimmerli, Hoch-
schule für Technik und Architektur,
Horw

Traduction:
Christian Marro
Haute-Nendaz

Révision de la traduction:
Pierre-Alain Niederhäuser
Malleray

Graphisme:
remo gamper, mehrbild.
visuelles kommunikationsdesign,
st.gallen

Crédit photographique:
Egli Engineering, St. Gallen; Ge-
bäudeversicherung Kanton Zürich;
Aargauische Gebäudeversiche-
rung; Gebäudeversicherungsanstalt
des Kantons St. Gallen; Gebäude-
versicherung des Kantons Luzern;
Établissement cantonal d'assu-
rance des bâtiments, Fribourg;
Assurance immobilière Berne; Nid-
waldner Sachversicherung, Stans;
Aller Risk Management, Zürich;
Institut fédéral pour l'étude de la
neige et des avalanches (SLF), Da-
vos; Laboratoire fédéral d'essai des
matériaux et de recherche (EMPA),
Dübendorf; STO AG, Zürich, Nach-
barschulte GmbH, Bad Rappenau;

Rheinzink AG, Baden-Dättwil;
Cupolux AG, Zürich; Res Bühl-
mann, Merligen.

ISBN 978-3-9523300-3-6
ISBN 978-3-9523300-2-9
(En allemand)

Exclusion de la responsabilité

La présente publication a été élaborée avec le plus grand soin. Elle correspond à l'état actuel de la science et de la technique. Cependant, il est souligné expressément que des dommages peuvent survenir même si les mesures proposées sont respectées. En règle générale, les mesures proposées ne permettent d'empêcher des dommages ou de diminuer leur ampleur que jusqu'à un certain point; elles ne garantissent aucunement qu'aucun dommage ne surviendra. En outre, il est précisé expressément que la présente publication contient des instructions visant à empêcher des dommages matériels prévisibles ordinairement occasionnés par les dangers naturels décrits, ou à diminuer l'ampleur de ces dommages. Les événements soudains ou extrêmes peuvent causer des dommages considérables même si les mesures proposées sont respectées. Dans tous les cas, l'application d'une mesure doit être contrôlée et adaptée en fonction de chaque cas particulier.

Toute responsabilité de l'AEAI pour des dommages matériels ou corporels survenus malgré, par suite, ou en relation avec le respect ou l'application de la présente publication est exclue. Quiconque respecte ou applique cette publication adhère expressément à cette exclusion de responsabilité.



Table des matières

Introduction

1

Vent

2

Grêle

3

Pluie

4

Neige

5

Entretien

6

Annexe

7

Dangers naturels?

Les présentes recommandations traitent des dangers naturels météorologiques suivants:

- Vent
- Grêle
- Pluie
- Neige

Tout bâtiment situé en Suisse est exposé à ce genre de phénomènes. Ils causent parfois d'importants dommages aux bâtiments. Les dégâts au mobilier ne sont pas traités dans ces recommandations.

Protection des objets?

La protection des objets représente une solution efficace pour réduire les risques encourus par les personnes et par les biens. Le bâtiment considéré sera conçu de manière à résister aux phénomènes le menaçant, si bien qu'ils pourront lui infliger tout au plus des dom-

mages mineurs. Dans le cas des nouvelles constructions, la protection des objets permet de prévenir des dommages sans grande restriction d'utilisation ou coût supplémentaire. L'entretien des bâtiments existants permet de préserver leur protection. Les stratégies suivantes sont généralement applicables pour protéger des objets:

Type de danger	Construction	Stratégie de protection des objets
Vent	Existante	· Vérification de l'enveloppe du bâtiment pour détecter les éléments défectueux et les fixations insuffisantes; remplacement de ceux-ci.
	Nouvelle	· Dimensionnement de la structure porteuse et de l'enveloppe du bâtiment en fonction de l'action du vent, selon la norme SIA 261.
Grêle	Existante	· Vérification de l'enveloppe du bâtiment pour détecter les éléments vieillissants et remplacement par des matériaux résistants à la grêle.
	Nouvelle	· Utilisation de matériaux résistants à la grêle, selon le Répertoire suisse de la protection contre la grêle de l'AEAI.
Pluie	Existante	· Vérification de l'évacuation des eaux de toitures, balcons et places pour détecter les défauts d'étanchéité et d'écoulement ainsi que les engorgements. Établissement d'un plan d'entretien et remplacement des évacuations d'eau insuffisantes.
	Nouvelle	· Dimensionnement de l'évacuation des eaux de toitures, balcons, places et pentes selon la norme SN 592'000.
Neige	Existante	· Vérification de la structure porteuse et de la toiture pour détecter les éléments défectueux; remplacement de ceux-ci.
	Nouvelle	· Dimensionnement de la structure porteuse et de la toiture en fonction de l'action de la neige, selon la norme SIA 261.

1 Qui est concerné et quand?

Les présentes recommandations s'adressent en premier lieu aux ingénieurs, architectes, fournisseurs, artisans, autorités en charge de la construction et assurances. Les exposés et les renseignements qu'elles proposent permettent

d'élaborer des solutions sur mesure pour sécuriser les nouvelles constructions, les transformations ou les constructions existantes. Aux maîtres d'ouvrages et aux propriétaires, elles signalent les dangers existants et indiquent des mesures de protection applicables.

Chapitre	Maîtres d'ouvrages / propriétaires	Architectes	Ingénieurs	Fournisseurs	Artisans	Autorités (construction)	Assurances
Introduction	•••	•	•		•	••	••
Vent	•	•	•••	••	•••	•	••
Grêle	•••	•••	•	••	•	•	••
Pluie	•••	•••	•••	••	•••	•	••
Neige	••	•	•••	•	•	•	••
Entretien	•••	•	•	•	••		••
Annexe			••	••	••	••	••

••• : Destinataire prioritaire

•• : Informations importantes

• : Renseignements complémentaires

5

6

7

Dangers naturels en Suisse

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

Classe	Types de dangers
Dangers gravitationnels	Avalanche, crue, glissement de terrain, lave torrentielle, chute de pierres, chute de blocs, éboulement, écroulement, chute de glace
Dangers météorologiques	Vent, grêle, pluie, neige, foudre*
Dangers climatiques	Sécheresse, vague de chaleur, vague de froid
Dangers sismiques	Tremblement de terre

* Les effets de la foudre sur les bâtiments ne sont pas traités dans ce document, car la prévention des incendies est réglementée par les prescriptions incendie de l'AEAI.

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. Ils 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. Les recommandations de l'AEAI «Protection des objets contre les dangers naturels gravitationnels» (Egli, 2005) fournissent des informations sur les mesures applicables pour protéger les bâtiments contre ces dangers.

Les dangers météorologiques, climatiques et sismiques sont présents en tout lieu de Suisse. Chaque bâtiment est donc concerné par leur action.

Les présentes recommandations portent sur les **dangers naturels météorologiques**. Elles traitent donc de dangers résultant directement de phénomènes atmosphériques de courte durée. On ne leur échappe pas en se déplaçant dans l'espace. Leur zone d'effet peut être délimitée diffusément à

grande échelle. Il n'est pas possible de les influencer. Étroitement liés aux saisons, ils ne surviennent pas n'importe quand. Concernant la pluie, les effets du ruissellement superficiel sont traités en premier lieu, car ce phénomène occasionne une grande partie des dommages naturels dus à l'eau en Suisse. Les effets des eaux souterraines ne sont pas détaillés dans ces recommandations. Elles sont notamment traitées dans la norme SIA 272 «Étanchéité des ouvrages enterrés».

Contrairement aux dangers météorologiques, les **dangers climatiques** résultent de phénomènes atmosphériques portant sur le moyen ou le long terme. On ne leur échappe pas non plus en se déplaçant dans l'espace. Leur zone d'effet touche des régions entières de la Suisse. Il n'est pas possible de les influencer. Étroitement liés aux saisons, ils ne surviennent pas n'importe quand.

Les **dangers sismiques** résultent de mouvements à l'intérieur de la croûte terrestre. Toute la Suisse est menacée par des tremblements de terre. Leur zone d'effet peut être limitée diffusément à une échelle moyenne. Il n'est pas possible de les influencer. Des séismes peuvent survenir n'importe quand.

1 Vent

Une tempête est un mouvement de l'air d'une extraordinaire violence, d'origine atmosphérique. Les dommages aux bâtiments sont causés par les rafales, de brève durée (quelques secondes). Leur action est d'autant plus marquée que leur vitesse est élevée et que la fréquence de vibration propre au bâtiment coïncide avec le contenu fréquentiel très énergétique du vent. Ce sont principalement les forces de succion qui occasionnent des dommages aux bâtiments.



Les chocs provoqués par des décombres emportés et par des arbres renversés par le vent constituent également un mode d'action généré par les tempêtes.

3 Grêle

Une chute de grêle est une précipitation de particules de glace d'un diamètre minimal de 5 mm. L'action des impacts est d'autant plus forte que les grêlons ont un grand diamètre et une forme anguleuse. Lorsque la chute de grêle est accompagnée d'une tempête, les façades sont exposées à l'action des grêlons en sus du toit. Lorsque la chute de grêle est accompagnée



d'une pluie intense, l'engorgement des dispositifs d'évacuation des eaux provoque des inondations.

Pluie

Une pluie intense est une précipitation d'une violence extraordinaire. Les toits plats et les balcons peuvent être le siège d'accumulations momentanées d'eau stagnante. Des places sont inondées temporairement par des eaux superficielles s'écoulant de terrains avoisinants et par l'excédent d'eau provenant de toits plats. Lorsque la pluie intense est accompagnée d'une tempête, les feuilles et les



branches cassées provoquent un engorgement des orifices collecteurs des dispositifs d'évacuation des eaux.

Neige

Une chute de neige est une précipitation sous forme solide. L'accumulation de neige sur les toits représente une situation de charge essentielle. Dans ce cas, il faut considérer la charge de neige – et de glace le cas échéant – ainsi que sa répartition sur le toit, qui peut être inégale à cause du vent ou d'une fonte différenciée. Les actions principales résultent du glis-



sement de masses de neige et du reflux d'eau de fonte.

Vent

Exemple de dommages typiques d'une tempête. Les forces de succion sont les plus élevées aux angles du bâtiment, où elles ont arraché des tôles de façades. Les dommages survenant lors des tempêtes revêtent principalement la forme de dégâts à la toiture et aux façades occasionnés par des éléments arrachés.



Grêle

Exemple de dommages typiques d'une chute de grêle. Le volet roulant est cabossé. Les dommages dus à la grêle affectent principalement les matériaux sensibles aux chocs utilisés pour l'enveloppe du bâtiment, notamment les plastiques translucides (coupoles, bandes vitrées), les stores, les volets roulants, les tôles, les crépis appliqués sur des isolations extérieures, ainsi que les étanchéités non protégées posées sur des toits plats.



Pluie

Exemple de dommages typiques d'une pluie intense. Le parquet a été inondé par de l'eau superficielle ayant pénétré dans le bâtiment. Les dommages dus aux pluies intenses affectent principalement les matériaux sensibles à l'eau utilisés pour les sols et les parois, ainsi que les installations des bâtiments vulnérables à l'eau.



Neige

Exemple de dommages typiques de la pression exercée par la neige sur une toiture. En Suisse, les dommages occasionnés par la pression de la neige sont surtout dus à des fautes affectant le dimensionnement et les dispositions constructives de la structure porteuse. Outre l'action de la neige, il faut tenir compte du rôle essentiel joué par le vent et par l'évolution de la température. Le vent génère une répartition inégale des charges sur le toit. Les périodes de dégel sont susceptibles de saturer le manteau neigeux en eau et de provoquer un



engorgement des exutoires, ce qui peut accroître les charges affectant la toiture.

1 Généralités

Les dommages à la construction et les dommages causés par les éléments naturels revêtent souvent un aspect similaire ou identique. Les dommages à la construction sont généralement imputables à une erreur humaine, telle que faute commise lors de la conception ou

de l'exécution d'un ouvrage, utilisation inappropriée ou entretien déficient. Les dommages naturels sont en revanche dus à la violence extraordinaire de forces de la nature imprévisibles se manifestant soudainement.

2 Défauts de construction

Les défauts de construction affectant un ouvrage résident dans le fait que cet ouvrage est dépourvu de propriétés garanties ou convenues à laquelle le maître de l'ouvrage est en droit de s'attendre de bonne foi, sans passer d'accord particulier, en vertu des règles de

l'art de la construction. Il s'agit souvent d'irrégularités tolérables, de petits dégâts, d'inesthétismes ou d'inexactitudes. Les défauts de construction peuvent être à l'origine de dommages à la construction, mais ce n'est pas systématiquement le cas.

3 Dommages à la construction

Les dommages à la construction sont des modifications préjudiciables de caractéristiques techniques requises par des normes ou convenues par contrat. En général, des règles reconnues de l'art de la construction ont été gravement violées. Il s'agit souvent de phénomènes nuisibles consécutifs à

des défauts de construction. Les dommages à la construction sont principalement dus à des fautes commises lors de la conception, de l'exécution ou de la surveillance. Ils peuvent aussi être causés par des vices de matériaux, d'utilisation ou d'entretien.

4 Dommages naturels

Les dommages naturels sont imputables à des forces de la nature se manifestant soudainement avec une violence extraordinaire. La tempête, la chute de grêle, l'inondation, la lave torrentielle, l'avalan-

che, la pression due à la neige, le glissement de neige, le glissement de terrain, la chute de pierres et l'éboulement figurent parmi les événements naturels typiques.

5 Référence aux normes de construction

Dans le domaine de la construction, de nombreuses normes et réglementations traitent des dangers naturels à différents endroits. Cette publication résume et complète les normes pertinentes sous un angle pratique en vue de favoriser la prévention de ces dangers. C'est pourquoi les présentes recommandations comprennent en annexe une liste détaillée des principales normes relatives aux produits de construction qui régissent le dimensionnement contre le vent, la neige, la grêle et la pluie. Ces normes reflètent le niveau technologique actuel et constituent des règles de l'art de la construction. Elles ont également une valeur informative.

Le vent, la neige et la grêle, considérés comme actions dans les normes SIA (Société suisse des ingénieurs et des

architectes) sur les structures porteuses, doivent être pris en compte lors du dimensionnement d'ouvrages et d'installations, ainsi que de parties de ceux-ci (p. ex. volets roulants, stores).

Les présentes recommandations complètent les normes de la SIA et de la SNV/ASN (Association suisse de normalisation) ainsi que les directives des associations professionnelles intéressées (voir annexe) en ce qui concerne l'action des dangers météorologiques sur les bâtiments et la protection de ceux-ci. Elles réunissent les règles de l'art de la construction en vigueur actuellement en se basant sur différentes sources. Leur but consiste notamment à proposer aux planificateurs généraux une compilation axée sur les dangers visant à les sensibiliser et à les seconder dans ce domaine.

© 2007 VKF/AEAI

Le tableau suivant expose la contribution des concepteurs spécialisés à la prévention des dommages dus au vent, à la grêle, à la pluie et à la neige:

Intervenant	Architecte	Ingénieur	Artisan	Fournisseur
Fonction lors d'une nouvelle construction	Auteur du projet Forme du bâtiment Choix des matériaux Concept de protection Directeur des travaux	Dimensionnement	Exécution	Attestation des propriétés des produits
Vent	Auteur du projet: tient compte du vent dans le choix de la forme et de l'orientation du bâtiment. Directeur des travaux: contrôle l'exécution de la construction.	Tient compte du vent au titre d'action extérieure.	Dimensionne les fixations (toiture, façades) en fonction des directives de l'ingénieur ou du fournisseur.	Atteste la conformité du mode de fixation et la résistance des matériaux à l'action du vent déterminante.
Grêle	Auteur du projet: tient compte de la grêle dans le choix des matériaux pour le toit et les façades. Directeur des travaux: contrôle l'exécution de la construction.	Tient compte de la grêle au titre d'action extérieure.	Applique les instructions pertinentes.	Atteste la résistance de son produit à l'action de la grêle déterminante.
Pluie	Auteur du projet: tient compte de la pluie dans l'aménagement du bâtiment et de ses alentours. Directeur des travaux: contrôle l'exécution de la construction.	Dimensionne l'évacuation des eaux de toitures, balcons et places. Lorsque le potentiel de dommages est élevé, l'objectif de protection est fixé conséquence.	Applique les instructions pertinentes.	Atteste les propriétés hydrauliques de son produit pour l'action de la pluie déterminante.
Neige	Auteur du projet: tient compte de la neige dans la conception et le choix des matériaux pour l'enveloppe du bâtiment. Directeur des travaux: contrôle l'exécution de la construction.	Tient compte de la neige au titre d'action extérieure.	Applique les instructions pertinentes.	Atteste la résistance de son produit vis-à-vis des sollicitations attendues du fait de la neige et de la glace ainsi que son aptitude à évacuer les eaux de fonte.

Signalons que l'architecte, l'ingénieur, l'artisan et le fournisseur doivent collaborer depuis l'élaboration du projet jusqu'à son exécution. Le chef de projet déléguera la responsabilité du dimensionnement aux différents intervenants et re-

quera les vérifications pertinentes. De nombreux sinistres sont dus à des négligences dans ces vérifications ou à des carences dans les contacts entre les intervenants.

Le traitement des demandes d'autorisation de construire et le rôle des établissements cantonaux d'assurance des bâtiments diffèrent d'un canton à l'autre.

Étape	Maître de l'ouvrage / propriétaire	Auteur du projet / directeur des travaux / ingénieur / artisan	Autorité en charge de la construction	Assurance des bâtiments
Établissement du projet	Définit sa vision du projet, réfléchit aux objectifs de protection et au degré de protection à atteindre.	Auteur du projet: détermine les conditions locales en ce qui concerne les actions du vent et de la neige, le danger de grêle et l'intensité de la pluie.	Consigne dans le formulaire de demande d'autorisation de construire les vérifications requises vis-à-vis du vent, de la neige, de la grêle et de la pluie.	
	Vérifie que la convention d'utilisation est complète.	Auteur du projet: élabore la convention d'utilisation avec le maître de l'ouvrage.		
		Auteur du projet: choisit le concept de la structure porteuse et définit la base du projet.		
		Ingénieur: procède au dimensionnement en vérifiant la sécurité structurale, contrôle l'aptitude au service, s'informe auprès des fournisseurs de la résistance des matériaux utilisés au vent et à la grêle.		Conseille l'auteur du projet ou le directeur des travaux pour la prévention des dommages causés par les forces de la nature.
Autorisation de construire		Auteur du projet: déclare à l'autorité en charge de la construction et à l'établissement d'assurance des bâtiments le degré de protection atteint contre le vent, la grêle, la neige et la pluie.	Prend connaissance de la déclaration fournie par l'auteur du projet ou vérifie les attestations requises.	Peut signaler une exclusion de l'assurance ou fixer des exigences techniques (diffère selon le canton).
Construction	Suit l'avancement des travaux.	Artisan: bâtit l'ouvrage suivant les plans. Directeur des travaux: contrôle l'exécution des travaux, vérifie les matériaux utilisés et leurs fixations.	Procède aux contrôles de la construction.	Peut contrôler la construction s'il s'agit d'un ouvrage sensible (diffère selon le canton).
Réception des travaux	Prend l'ouvrage en charge.	Auteur du projet: transmet l'ouvrage, y compris la base du projet, consigne les défauts constatés et ordonne à l'artisan d'y remédier. Artisan: remédie aux défauts constatés.	Procède au contrôle final.	Assure l'ouvrage, en prononçant éventuellement des réserves.

Étape	Propriétaire	Auteur du projet / directeur des travaux	Artisan	Assurance des bâtiments
Entretien	Contrôle périodiquement les systèmes d'évacuation des eaux pluviales, la toiture et les façades pour détecter les défauts visibles de l'extérieur ou délègue ce contrôle à un spécialiste, octroie les mandats nécessaires pour remédier aux défauts constatés.		Procède à un examen détaillé, signale les défauts au propriétaire, exécute les mandats visant à remédier aux défauts constatés.	
Rénovation	Mandate un spécialiste pour rénover l'ouvrage.	Auteur du projet: conçoit les travaux de rénovation. Directeur des travaux: contrôle leur exécution.	Exécute les travaux de rénovation.	
Sinistre	Prend des mesures de nature à limiter 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.	Auteur du projet: examine le concept de protection retenu dans la base du projet, l'adapte éventuellement et conçoit les mesures de remise en état et de protection de l'objet. Directeur des travaux: contrôle les travaux de remise en état	Exécute les travaux de remise en état et de protection de l'objet.	Conseille l'auteur du projet pour la prévention des dommages causés par les forces de la nature, indemnise les dommages assurés.

1

2

3

4

5

6

7



1

2

3

4

5

6

7

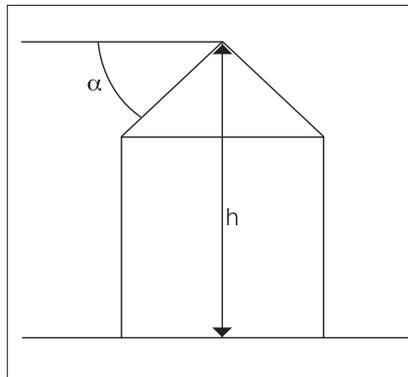
1 Notations

2

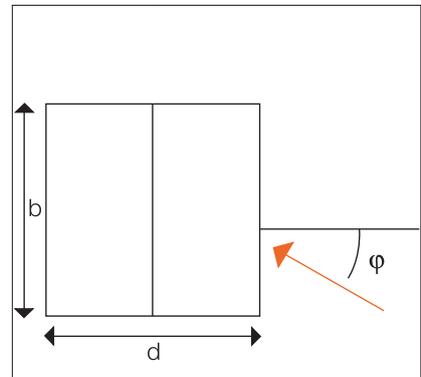
3

4

q_p [kN/m²]: Pression dynamique
 q_{ek} [kN/m²]: Valeur caractéristique de la pression du vent sur une surface extérieure (selon SIA 261)
 q_{ik} [kN/m²]: Valeur caractéristique de la pression du vent sur une surface intérieure (selon SIA 261)
 q_{p0} [kN/m²]: Valeur de référence de la pression dynamique (selon SIA 261)
 v_w [m/s]: Vitesse du vent
 v_t [m/s]: Vitesse du débris
 ρ_l [t/m³]: Densité de l'air
 b [m]: Largeur du bâtiment (selon SIA 261)



d [m]: Longueur du bâtiment (selon SIA 261)
 h [m]: Hauteur du bâtiment (selon SIA 261)
 α [°]: Inclinaison du toit
 φ [°]: Direction du vent dans le plan horizontal
 m [t]: Masse d'un objet percutant le bâtiment
 h_b [m]: Hauteur de chute de l'arbre
 E_{cin} [J]: Énergie cinétique à l'impact d'un débris
 g [m/s²]: Accélération gravitationnelle (10 m/s²)



Caractérisation

5

6

7

Tempêtes hivernales

Les tempêtes hivernales surviennent à la transition entre les zones climatiques subtropicale et polaire, à une latitude de l'ordre de 35 à 70 degrés. Des vagues d'air polaire y rencontrent des masses d'air chaud subtropicales, ce qui provoque la formation de tourbillons dépressionnaires de grande étendue. L'intensité des zones de tempête, proportionnelle à la différence de température entre les deux masses d'air, est donc la plus élevée à la fin de l'automne et en hiver, lorsque les mers sont encore chaudes alors que les masses d'air polaire sont déjà très froides. Les rafales atteignent des pointes de 39 à 56 m/s (140-200 km/h). Dans les cas extrêmes, elles dépassent même 70 m/s (250 km/h) dans les Alpes. Comme les zones de tempête (zones dépressionnaires) peuvent avoir un diamètre de 1000 à 1500 km, ce phénomène est celui qui cause les dommages les plus onéreux par événement en Suisse.

Tempêtes orageuses

La plupart des tempêtes affectant la Suisse revêtent la forme de vents régionaux de forte intensité dus à des tempêtes orageuses. L'occurrence de ces tempêtes nécessite la formation de grands nuages convectifs produits par l'ascension d'air chaud et humide. Ce phénomène est imputable à une instabilité thermique, la présence de montagnes ou l'arrivée d'un front.

On distingue les orages unicellulaires, multicellulaires et supercellulaires. Leur durée et leur violence augmentent de la cellule unique à la supercellule. Le type, l'intensité et la durée des orages dépendent principalement de la valeur et du rapport de deux paramètres: 1. La stratification thermique de l'atmosphère (stable / instable), qui détermine l'énergie ascensionnelle de l'air des nuages. 2. Le renforcement et la rotation du vent en direction verticale (cisaillement), qui déterminent l'énergie cinétique de l'air des nuages. Le rapport

entre ces deux énergies définit le type d'orage.

Les orages unicellulaires se produisent lorsque l'énergie ascensionnelle est forte (stratification instable) et le cisaillement faible. Ils forment les orages de chaleur typiques de l'été, d'une durée d'une demi-heure à une heure.

Les orages multicellulaires se produisent lorsque l'énergie ascensionnelle est forte et le cisaillement très fort. D'une durée d'une à trois heures, ils sont fréquemment accompagnés de rafales de vent et de chutes de grêle. Les orages supercellulaires se produisent lorsque l'énergie ascensionnelle est forte et le cisaillement d'intensité moyenne. Une cellule est en rotation à l'intérieur de ces orages persistants, qui durent une à six heures. Ils sont accompagnés de chutes de grêle, de rafales de vent, de vents violents descendants («downbursts») et occasionnellement de tornades. Ce type d'orage est en recrudescence.

Tempêtes de föhn

Le föhn est un vent chaud et sec, généralement violent, qui souffle sur le versant nord des Alpes. Il se manifeste aussi sur leur versant sud, sous le nom de «föhn du nord», lorsque des masses d'air froid traversent l'arc alpin en provenance du nord ou du nord-ouest. La température élevée et la sécheresse du föhn sont dues au fait que de l'air chaud et humide est forcé de remonter le versant sud des Alpes sous un gradient adiabatique humide (baisse de la température de 0.6° C par 100 m), si bien qu'une partie de l'eau y tombe sous forme de pluie (précipitations de barrage). Ainsi, lorsque le föhn redescend, sous un gradient adiabatique sec (augmentation de la température de 1° C par 100 m), l'air est plus chaud et plus sec qu'à la montée pour une même altitude. Le régime de föhn s'installe fréquemment en hiver. La distance exceptionnelle à laquelle porte la vue, typique du föhn, est due à l'extrême sécheresse de l'air. Les nuages recouvrant le versant exposé au vent débordent quelque peu de

la ligne de crête sous la forme d'une puissante paroi, revêtant l'aspect d'un «mur de föhn» vu du côté sous le vent. La zone sans nuages située sous le vent, qualifiée de «fenêtre de föhn», est nettement reconnaissable sur les photos satellitaires. Les vents soufflant sous un régime de föhn peuvent atteindre l'intensité d'un ouragan, à l'exemple de l'événement du 16.11.2002, avec des pointes de vitesse de 60 m/s (215 km/h) dans les Alpes orientales.

Tornades

Les tornades n'affectent pas seulement le Centre-Ouest des États-Unis. Elles surviennent aux latitudes moyennes dans le monde entier, soit aussi en Suisse. Naissant fréquemment dans des cellules orageuses, le long de fronts d'intempéries, elles peuvent être accompagnées de grêle. Le diamètre moyen de la colonne des tornades, dite «tuba», est de l'ordre de 100 m et la longueur moyenne de leur trajectoire de quelques kilomètres.

On estime que la vitesse maximale en bordure du tuba de tornades extrêmes est supérieure à 139 m/s (500 km/h). Mais les rafales de la plupart des tornades ne dépassent guère 27.8 m/s (100 km/h).

En Suisse, on compte en moyenne une à cinq tornades par an. Elles surviennent principalement dans le Jura et dans le nord de la Suisse, mais pas dans les Alpes. Si la plupart des tornades affectant le territoire helvétique causent tout au plus des dommages de faible ampleur en raison de leur extension modeste, d'importants dommages ne sont toutefois pas à exclure (p. ex. en région urbaine).



Tornade dans le Jura

1

Dommmages infligés par une tornade à un bâtiment situé dans le canton de Fribourg. Les périmètres affectés par les tornades sont très restreints. Mais les objets touchés peuvent être gravement endommagés.



2 Échelle de Beaufort

3

La force du vent est généralement décrite en appliquant l'échelle de l'amiral Beaufort (Beaufort, 1806), qui se base sur des vitesses moyennes (sur dix minutes) et non sur des rafales! Elle est subdivisée en treize degrés selon le tableau suivant. Les vents de vitesse supérieure à 32.7 m/s (118 km/h) sont assignés au degré le plus élevé. Est considéré comme tempête un mouvement d'air imputable aux conditions météorologiques de degré 9 ou plus sur l'échelle de Beau-

fort (vitesse du vent ≥ 20.8 m/s ou 75 km/h).

Les rafales atteignent des vitesses supérieures à 42 m/s (150 km/h) sur le Plateau et dans l'avant-pays alpin, et supérieures à 70 m/s (250 km/h) sur la crête des Alpes. C'est pourquoi l'échelle Torro applicable aux tempêtes d'Europe centrale, qui décrit les dommages possibles dans une plage de 21 à 139 m/s (75-500 km/h), est également fournie en annexe.

4

5

6

7

km/h	m/s	Degré	Appellation	Remarques
0 – 1	0 – 0.2	0	Calme	La fumée s'élève verticalement.
1 – 5	0.3 – 1.5	1	Très légère brise	La direction du vent est révélée seulement par l'entraînement de la fumée.
6 – 11	1.6 – 3.3	2	Légère brise	Le vent est perçu au visage.
12 – 19	3.4 – 5.4	3	Petite brise	Les feuilles frémissent, le vent déploie les drapeaux légers.
20 – 28	5.5 – 7.9	4	Jolie brise	Les petites branches sont agitées, le vent déploie les drapeaux lourds.
29 – 38	8.0 – 10.7	5	Bonne brise	De plus grandes branches sont agitées, le vent dans le visage est assez désagréable.
39 – 49	10.8 – 13.8	6	Vent frais	Les grandes branches sont agitées, le vent siffle dans les fils.
50 – 61	13.9 – 17.1	7	Grand frais	Les arbres frêles sont agités, la marche contre le vent devient pénible.
62 – 74	17.2 – 20.7	8	Coup de vent	Les grands arbres sont agités, des branches se cassent, la marche contre le vent devient presque impossible.
75 – 88	20.8 – 24.4	9	Fort coup de vent	Les objets légers sont déplacés, des tuiles peuvent se relâcher aux endroits exposés.
89 – 102	24.5 – 28.4	10	Tempête	Les meubles de jardin et les objets légers sont renversés, des arbres sont brisés.
103 – 117	28.5 – 32.6	11	Violente tempête	Les tuiles et les tôles subissent des dommages légers, les constructions légères subissent des dommages faibles.
≥ 118	> 32.7	12	Ouragan	Ravages désastreux.

Classes de force du vent selon l'Office fédéral de météorologie et de climatologie (MétéoSuisse)

Le tableau suivant expose les classes de force du vent, telles qu'elles sont appliquées dans les avis d'alerte émis par MétéoSuisse.

Force du vent	Type de vent	km/h	m/s	Échelle de Beaufort
Vent faible	Vitesse moyenne	≤ 14	≤ 3.9	env. 1 – 2
	Pointes de rafales	≤ 26	≤ 7.2	
Vent modéré	Vitesse moyenne	14 – 28	3.9 – 8.1	env. 3 – 4
	Pointes de rafales	26 – 49	7.2 – 13.6	
Vent fort	Vitesse moyenne	29 – 55	8.1 – 15.3	env. 5 – 7
	Pointes de rafales	50 – 89	13.9 – 24.7	
Vent tempétueux	Vitesse moyenne	56 – 96	15.6 – 26.7	env. 8 – 10
	Pointes de rafales	90 – 149	25.0 – 41.4	
Ouragan	Vitesse moyenne	> 96	> 26.7	env. 11 – 12
	Pointes de rafales	> 149	> 41.7	

Vitesse du vent

La vitesse du vent dépend du régime local des vents, de la topographie du site (crête, berge de

lac), des conditions d'urbanisation (pleine nature, agglomération) et de la hauteur de la mesure (au-dessus du sol).

Pression dynamique de référence

Le dimensionnement des bâtiments en fonction du vent se base sur la pression dynamique de référence q_{p0} . Cette valeur peut

être tirée de la norme SIA 261 (carte «Valeur de référence de la pression dynamique» en annexe E).

Direction des vents dominants

Les tempêtes hivernales viennent de l'ouest (nord-ouest à sud-ouest), le föhn souffle selon un axe

nord-sud et la bise vient du nord, du nord-est ou de l'est.

Rafales

Les rafales de quelques secondes soumettent les ouvrages à des contraintes particulières. La pointe

de vitesse brièvement atteinte peut occasionner des vibrations et des sollicitations cycliques.

Paramètres d'intensité pour le dimensionnement

Pour procéder au dimensionnement, il faut disposer de données concernant la **pression dynamique de référence**, la **direction des vents dominants** et les **conditions de vent locales**. La pression dynamique de référence

est tirée de la norme SIA 261. Les données concernant la direction des vents dominants et les conditions de vent locales seront éventuellement complétées par un spécialiste.

1 Situation de danger 1: Bâtiment étanche (pas de pression interne)

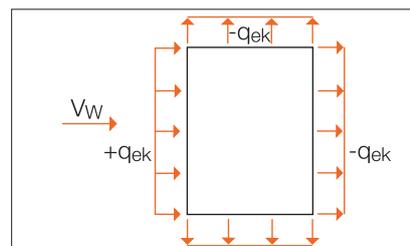
Les situations de danger suivantes exposent sous une forme généralisée l'action du vent sur les bâtiments et les toits étanches au vent. Les forces de pression et de succion auxquelles ils sont soumis

sont déterminées selon la norme SIA 261, en fonction de la direction du vent, la forme du bâtiment et du toit, la hauteur du bâtiment, ainsi que les alentours du bâtiment et du toit.

2

Action du vent sur les parois

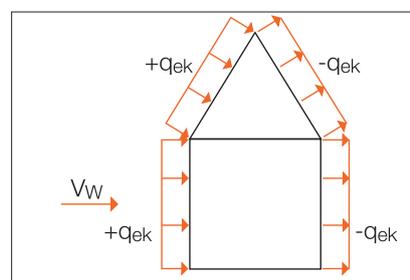
La paroi du bâtiment exposée au vent subit une pression exercée par le vent. Les parois parallèles à la direction du vent et la paroi située sous le vent sont soumises à une succion générée par le vent.



3

Effets du vent sur les toits d'inclinaison $\alpha > 40^\circ$

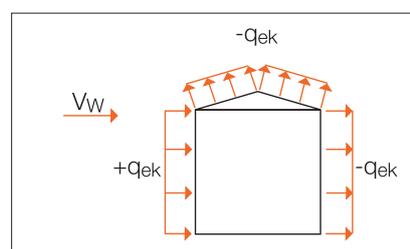
Lorsque l'inclinaison du toit est supérieure à 40° , le côté exposé au vent subit une pression et le côté sous le vent une succion.



4

Effet du vent sur les toits d'inclinaison $\alpha < 25^\circ$

Lorsque l'inclinaison du toit est de 0° à 25° , le côté exposé au vent et le côté sous le vent subissent une succion.



5

Lorsque l'inclinaison du toit est de 25° - 40° , le côté exposé au vent subit soit une pression, soit une succion, et le côté sous le vent subit une succion.

6

Situation de danger 2: Bâtiment non étanche (pression interne)

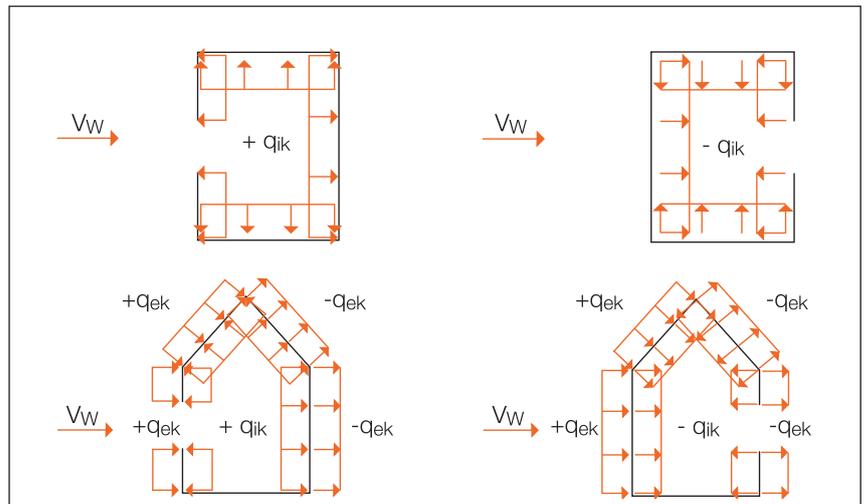
Un bâtiment est considéré comme ouvert lorsque la proportion d'ouvertures selon une vue est supérieure à 5 %. Sont considérés ici comme ouvertures les orifices

d'aération, fentes de ventilation, portes, fenêtres, bandes vitrées et similaires, qui ne sont pas toujours fermés en cas de tempête.

7

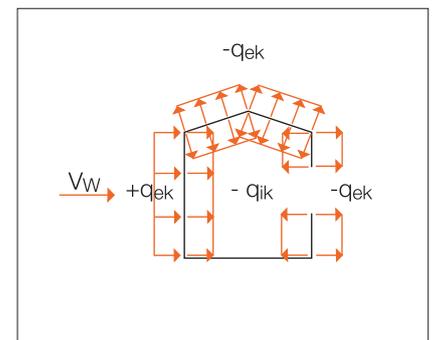
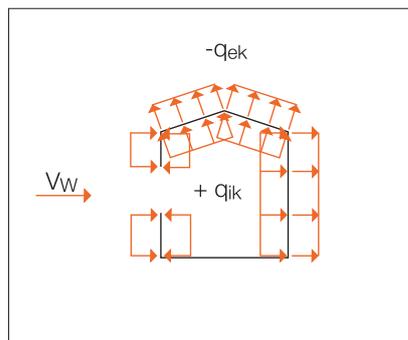
Une fenêtre ou une porte ouverte occasionne soit une pression interne, soit une succion interne, selon que cette ouverture est située

sur le côté du bâtiment exposé au vent ou sous le vent.



Une superposition défavorable des efforts générés par les sollicitations internes et externes affecte le toit et le côté sous le vent lorsqu'il y a

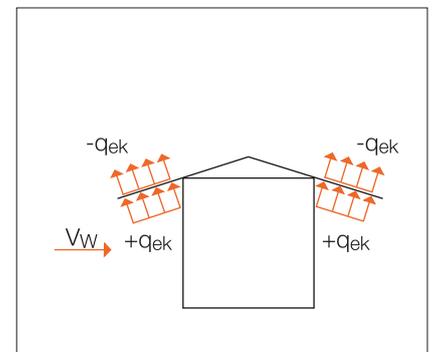
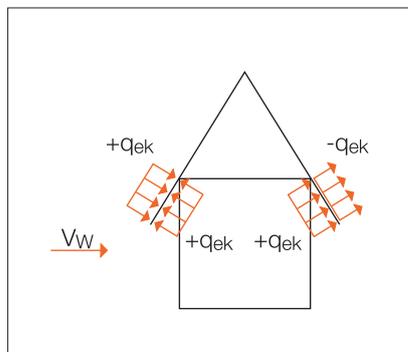
pression interne, et le côté exposé au vent lorsqu'il y a succion.



Situation de danger 3: Toit en saillie

Lorsque le toit est en saillie, une superposition défavorable des forces de pression vers le haut et des forces de succion vers le bas

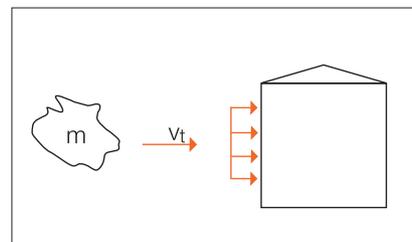
affecte le côté sous le vent lorsque le toit est raide et les deux côtés lorsqu'il est peu incliné.



1 Situation de danger 4: Impact de débris

L'impact de débris emportés par le vent menace principalement la façade exposée au vent, et surtout ses fenêtres non protégées. Il a pour effet qu'un bâtiment étanche perd son étanchéité (situation de danger 2 au lieu de 1). Les personnes encourent un danger élevé. L'énergie cinétique dégagée lors de l'impact d'un débris dépend de sa masse m et de sa vitesse v_t , qui est inférieure à celle du vent. Les débris peuvent être des élé-

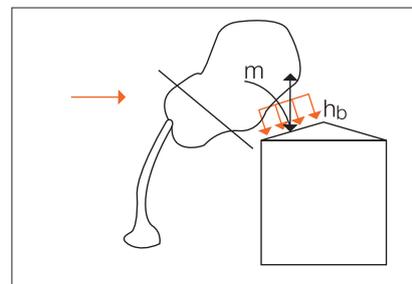
ments de toiture ou de façade arrachés, du gravier emporté sur un toit plat, un chapeau de cheminée, un meuble de jardin, du petit bois, un appareil de jeu ou de jardin, etc.



2

3 Situation de danger 5: Impact d'un arbre

La chute d'un arbre sur un bâtiment menace principalement le toit et les balcons. L'énergie cinétique dégagée lors de l'impact dépend surtout de la hauteur de chute h_b et de la masse déterminante de l'arbre m .



4

5

6

7

Calcul de la charge due au vent

La charge due au vent est calculée comme exposé dans la norme SIA 261. Le calcul selon cette norme tient compte des facteurs suivants: altitude, catégorie de terrain, hauteur du bâtiment, direction

d'incidence du vent, forme du bâtiment, position des ouvertures et des ruptures d'étanchéité, majoration dynamique due à la résonance de la structure porteuse.

Pression dynamique

Selon la norme SIA 261, la pression dynamique dépend de la nature du vent, de la rugosité du sol, de la forme de la surface du terrain et de la hauteur de référence. La pression dynamique q_p et la vitesse du vent v_w sont reliées comme suit:

$$q_p = \frac{\rho_l}{2} \cdot v_w^2 \quad [\text{kN/m}^2]$$

Pression dynamique

avec $\rho_l = 0.00125 \quad [\text{t/m}^3]$
Densité de l'air

Pointes de succion

Les bords et les angles des surfaces subissant une succion imputable au vent sont le siège de pointes de succion dues aux changements de direction marqués, générant des vitesses d'écoulement élevées. Ces pointes peuvent être plusieurs fois supérieures à la succion moyenne

dans les secteurs normaux. Les secteurs concernés du bâtiment doivent être dimensionnés spécifiquement et les fixations contre la succion due au vent doivent satisfaire à des exigences élevées.

Sous-toiture ouverte / fermée

La sous-toiture est considérée comme ouverte lorsque sa perméabilité à l'air est supérieure à celle de la couverture ou de l'étanchéité (p. ex. tôle d'acier trapézoïdale sans dispositif d'étanchéité

aux liaisons et aux raccords). Une sous-toiture est fermée lorsque sa perméabilité à l'air est inférieure ou au maximum égale à celle de la couverture ou de l'étanchéité.



L'ouverture de la sous-toiture a occasionné une superposition de pression interne et de succion externe dues au vent. Le toit n'a pas résisté à ces contraintes.

1 Pression exercée par l'impact de débris

2

Lors des tempêtes, la pression exercée par l'impact des débris emportés par le vent exerce une action déterminante, en sus de la charge due au vent (situation de danger 4). Les bâtiments élevés équipés de façades en verre sont particulièrement vulnérables vis-à-vis de cette action.

Des études récentes montrent comment il est possible d'intégrer cette charge dans le dimensionnement. Les tableaux suivants

dérivent des travaux de Wills et al. (2002). Ils exposent la vitesse des débris et leur énergie cinétique en regard de la vitesse du vent qui les emporte. Les objets surfaciques reçoivent l'énergie destructrice la plus élevée, suivis des objets allongés et des objets sphériques. Signalons en outre que ces débris sont très dangereux pour les personnes se trouvant à l'extérieur.

3



Exemple d'impact d'un débris de plaque profilée en fibres-ciment arraché par le vent.

4

Vitesse et énergie cinétique de débris surfaciques:

Vitesse du vent		Vitesse des débris		Matériau	Épaisseur	Énergie cinétique
[m/s]	[km/h]	[m/s]	[km/h]			
10	36	6.4	23	Bois	3.5	39
10	36	6.4	23	Acier	0.25	39
20	72	12.8	46.1	Bois	15	614
20	72	12.8	46.1	Acier	1	614
40	144	25.6	92.2	Bois	60	9830
40	144	25.6	92.2	Acier	3.8	9830

5

Vitesse et énergie cinétique de débris allongés:

Vitesse du vent		Vitesse des débris		Matériau	Longueur x Ø	Énergie cinétique
[m/s]	[km/h]	[m/s]	[km/h]			
13	46.8	6.5	23.4	Bambou	3.0 x 30	12.5
22	79.2	11	39.6	Bambou	3.0 x 75	250
32	115.2	16	57.6	Bois	2.4 x 80	950

6

Vitesse et énergie cinétique de débris sphériques:

Vitesse du vent		Vitesse des débris		Matériau	Taille	Énergie cinétique
[m/s]	[km/h]	[m/s]	[km/h]			
10	36	3.6	13	Bois	12	0.0065
10	36	3.6	13	Pierre	2	0.0002
20	72	7.2	26	Bois	50	1.55
20	72	7.2	26	Pierre	9	0.05
40	144	14.4	51.8	Bois	200	415
40	144	14.4	51.8	Pierre	37	14

7

L'action dommageable des débris percutant une façade peut être estimée en se référant au chapitre consacré à la grêle pour des énergies jusqu'à environ 50 J. Pour des énergies supérieures à 50 J, aucune valeur concrète ne

peut être indiquée, c'est pourquoi il faut être très prudent lorsqu'on extrapole des données concernant la grêle. Cette situation de danger revêt une importance particulière lorsque la construction des façades est sensible.

Force d'impact d'un arbre qui se renverse

Aucune base de calcul n'est disponible pour déterminer la force d'impact d'un arbre qui tombe. On peut l'estimer en faisant intervenir la hauteur de chute h_b de la masse déterminante de l'arbre et en appliquant la formule de la quantité de mouvement. La vitesse prise

en compte est celle d'un corps en chute libre sans résistance de l'air. En admettant que l'impact dure 0.2 seconde, on obtient les forces d'impact suivantes pour les masses et les hauteurs de chute choisies comme exemples.

Hauteur de chute	Masse de l'arbre	Durée de l'impact	Surface d'impact	Force	Pression
12 m	500 kg	0.2 s	0.5 m ²	38 kN	76 kN/m ²
5 m	200 kg	0.2 s	0.3 m ²	10 kN	33 kN/m ²

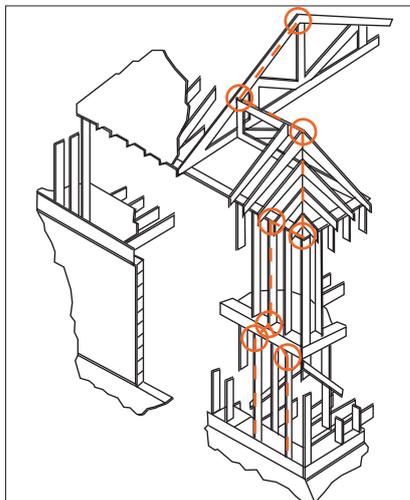


Exemple de dommage dû à la chute d'un arbre.

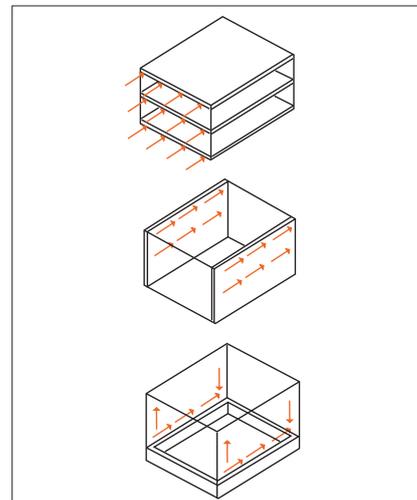
Cheminement des efforts du toit aux fondations (verticalement et horizontalement)

Les forces calculées à l'extérieur et à l'intérieur du bâtiment doivent être transmises du toit aux fondations par l'entremise de l'ensemble de la construction et de ses composants. Des dommages survien-

ent lorsque le cheminement des efforts est discontinu, par exemple lorsqu'il est interrompu entre la couverture du toit et la dalle du bâtiment ou entre un pilier et les fondations.



Cheminement des efforts en direction verticale (dimensionnement contre la succion)



Cheminement des efforts en direction horizontale (rigidité)

1

Les divers volets du dimensionnement sont exposés dans le tableau suivant, au sens d'une check-list:

2

3

Dimensionnement	Éléments du bâtiment
Calcul des forces de pression et de succion déterminantes	<ul style="list-style-type: none"> - Choix du système statique pour maîtriser les forces dues au vent - Détermination des efforts subis par les éléments de l'enveloppe
Vérification du cheminement des efforts en direction horizontale	<ul style="list-style-type: none"> - Pour la toiture et le plancher-dalle - Pour la transmission des charges du plancher-dalle aux parois - Pour la transmission des charges des parois au plancher-dalle (1^{er} étage) - Pour la transmission des charges du plancher-dalle aux parois (rez) - Pour la transmission des charges des parois aux fondations - Pour le frottement le long des parois latérales
Vérification du cheminement des efforts en direction verticale	<ul style="list-style-type: none"> - Pour la transmission des charges de la couverture du toit au lattage - Pour la transmission des charges du lattage à la charpente - Pour la transmission des charges de la charpente à la dalle - Pour la transmission des charges de la dalle aux piliers - Pour la transmission des charges des piliers aux fondations - Pour la transmission des charges des fondations au sous-sol
Vérification des composants	<ul style="list-style-type: none"> - Pour la transmission des charges par les fenêtres et les portes - Pour le dimensionnement des fenêtres et des portes (évt contre les chocs)

4

Protagonistes et responsabilités concernant le dimensionnement

Plusieurs protagonistes assument une responsabilité dans le dimensionnement au vent, notamment:

Le couvreur: sollicitation de la couverture, transmission des charges par le lattage et le sous-toit

Le charpentier: dimensionnement de la charpente (poutres, pannes, chevrons, voire lattage)

L'ingénieur civil: stabilité de l'ensemble du bâtiment (fondation, structure porteuse, planchers, parois)

Le géotechnicien: résistance du sous-sol

Le chef de projet doit déléguer la responsabilité du dimensionnement aux différents protagonistes et requérir les vérifications pertinentes. De nombreux sinistres sont imputables à des négligences dans ces vérifications ou à des lacunes dans la communication.

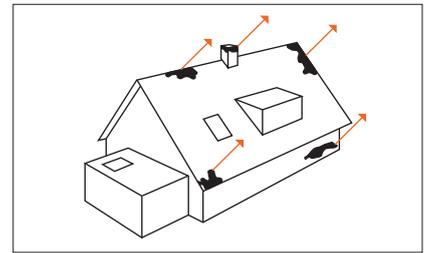
5

6

7

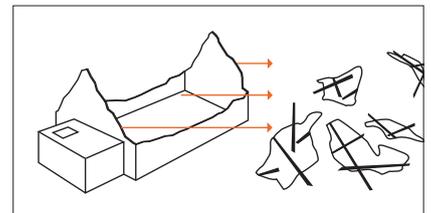
Rupture de l'enveloppe du bâtiment

Des éléments du toit et de la façade n'ont pas résisté aux forces de succion. Ce type de dommages représente la charge principale lors d'événements affectant un vaste périmètre. De nombreux bâtiments subissent de légers dommages sous la forme de rupture de quelques éléments, généralement exposés, de l'enveloppe.



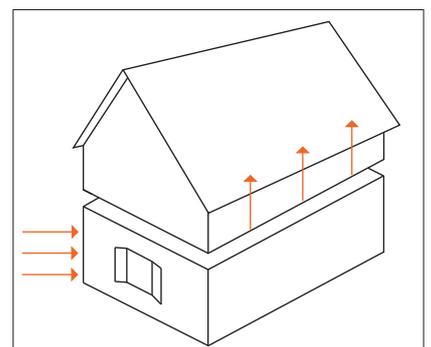
Rupture de la toiture

La rupture de toute la toiture est souvent due à des conditions de vent particulières (une vaste plaine sur la photo). Pour les nouveaux bâtiments, ce type de dommages est très souvent imputable à des fautes de construction.



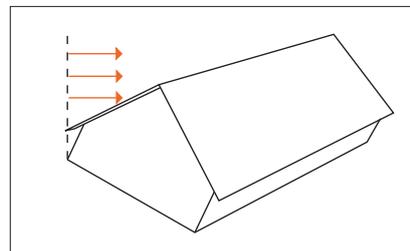
Soulèvement du bâtiment

Le soulèvement de tout le bâtiment ou de parties de celui-ci affecte principalement les constructions légères. Le chalet en bois de la photo a été soulevé au-dessus de la fenêtre lors d'une tempête.



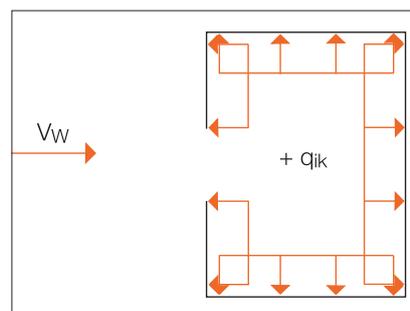
1 Rupture de l'ensemble de la structure porteuse

La rupture de l'ensemble de la structure porteuse est exceptionnelle en Suisse. La construction ouverte en bois de la photo n'a pas résisté aux charges occasionnées par l'ouragan Lothar. La superposition de pression interne et de forces de succion a provoqué l'effondrement de la structure porteuse.



3 Pression interne

Les dommages dus à la pression régnant à l'intérieur de bâtiments sont rares en Suisse. La photo présente un sinistre survenu dans le canton de Fribourg. Une fenêtre n'a pas résisté à la charge occasionnée par la pression du vent de la tornade. Il en a résulté une importante pression interne, qui a arraché les portes de leurs ancrages dans cet espace intérieur.



Fixations insuffisantes

Les dommages observés à la toiture des nouvelles constructions et des transformations sont le plus souvent dus au fait que la transmission des charges dans la construction porteuse n'a pas été vérifiée.

- Fixation insuffisante ou fixation mécanique déficiente de la couverture sur la construction porteuse, spécialement aux angles et aux bords, mais aussi au milieu du toit



- Collage déficient entre la couverture et l'isolation thermique ou entre celle-ci et la construction porteuse
- Raccords ou fermetures de bord insuffisants ou déficients
- Omission de la pression régnant dans le bâtiment



L'utilisation de clous lisses au lieu de vis ou, à défaut, de clous rainurés ou torsadés s'est soldée par un dommage total de ce toit en tôle profilée. Il arrive fréquemment que les liaisons entre la couverture et le voligeage, entre le voligeage et le contre-lattage, ainsi qu'entre

le contre-lattage et les chevrons ne soient pas vérifiées numériquement. Le maître de l'ouvrage ou son représentant est tenu d'exiger explicitement cette vérification du chef de projet ou du spécialiste qui en est chargé.



Ce toit d'une nouvelle construction, dont les fixations entre le contre-lattage et les chevrons étaient insuffisantes, a été soulevé et projeté sur la place de parc (danger pour les personnes!).

Les avant-toits dépourvus de sous-toiture sont incapables de résister aux efforts de succion générés par le vent, même de faible vitesse.

1 Entretien déficient

La négligence dans l'entretien des toits, façades, portes, volets, stores et fenêtres peut se solder par d'importants dommages.

Les principales carences revêtent la forme de tuiles manquantes ou défectueuses, crochets tempête man-

quants, toit perméable, planches de rive ou de virevent pourries, chapeaux de cheminées défectueux ou façades défectueuses.

2



3

Transformation inappropriée

L'équilibre statique est souvent compromis lorsqu'on modifie des parois ou des colonnes porteuses. Si des composants importants du contreventement du bâtiment sont

affaiblis ou ôtés sans être remplacés, les éléments restants subissent des charges additionnelles qui n'avaient pas été considérées lors du dimensionnement.

4



Transformation avec des liaisons sous-dimensionnées.



Structure porteuse affaiblie par la suppression de poutres.

5

6

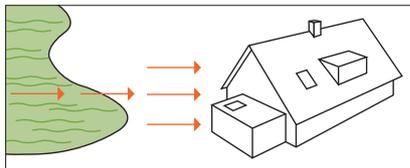
7

Topographie du site

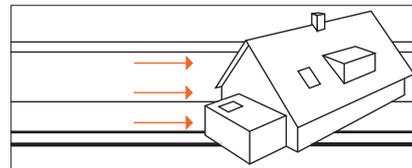
Le choix du site de construction influence les sollicitations dues au vent. Les sites soumis à des sol-

licitations élevées du fait de leur topographie sont (voir SIA 261 et Zimmerli & Hertig, 2006):

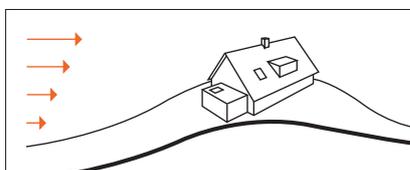
Berge de lac



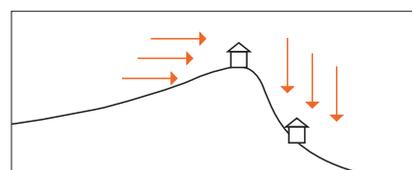
Vaste plaine



Éminence



Crête / versant raide

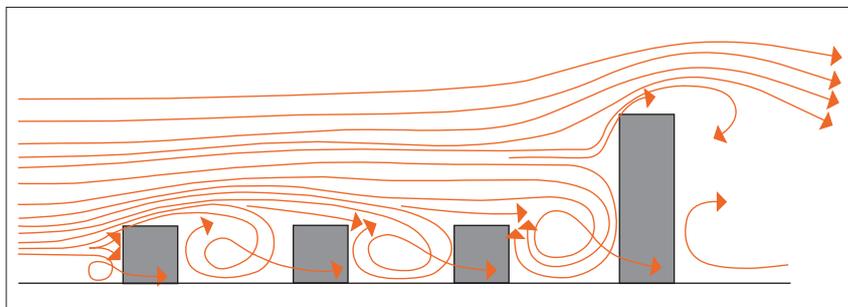


Hauteur du bâtiment et bâti / végétation environnant

Le choix de la hauteur du bâtiment influence directement l'ampleur des sollicitations dues au vent. La hauteur relative, par rapport au bâti environnant, revêt de l'importance en sus de la hauteur absolue. Lorsque le bâtiment a une hauteur compa-

nable à celle des constructions voisines, les sollicitations dues au vent y sont réduites.

Le voisinage des immeubles est le siège de tourbillons qui doivent être pris en compte lors du dimensionnement.



1

2

3

Orientation du bâtiment

4

5

6

7

Recommandations en vue d'éviter des vitesses de vent élevées près du sol

Les recommandations suivantes fournissent des pistes pour éviter l'occurrence indésirable de vitesses de vent élevées près du sol.

1. Il faut éviter de construire des bâtiments plus de deux fois plus hauts que les constructions voisines.
2. Plus un bâtiment s'approche d'une forme circulaire dans le plan horizontal, plus les conditions au sol sont favorables, car les courants descendant le long de la façade frontale s'en trouvent considérablement réduits. Lorsque la forme dans le

plan horizontal est un rectangle allongé, la direction du côté allongé du bâtiment devrait coïncider avec celle du vent dominant.

3. Lorsqu'un grand bâtiment élancé est construit perpendiculairement à la direction du vent dominant, la zone proche du sol peut être abritée par des avant-corps ou des toits de dimensions suffisantes.
4. Les espaces et les passages entre bâtiments ne devraient pas être orientés dans la direction du vent dominant.
5. La vitesse du vent dans les passages peut être réduite en disposant judicieusement des écrans anti-vent ou des arbres.

L'orientation du bâtiment doit être examinée lorsque le site est exposé au vent. La charge due au vent peut être réduite considérablement

en adoptant une orientation favorable par rapport à la direction du vent dominant, en particulier lorsque le toit a un seul pan.



Exemple de bâtiment érigé parallèlement à la direction du vent dominant (face pignon). Le côté exposé au vent (photo de gauche) est surmonté d'un court avant-toit et ses fenêtres sont équipées d'un

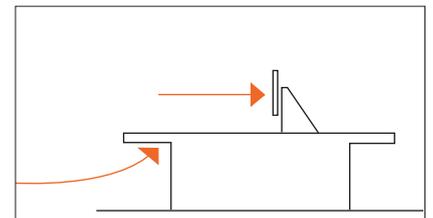
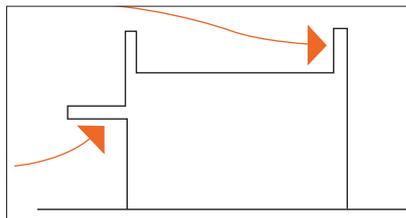
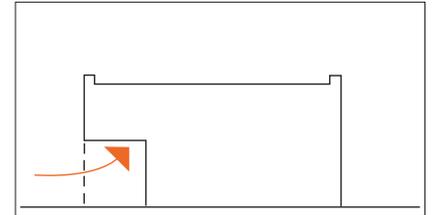
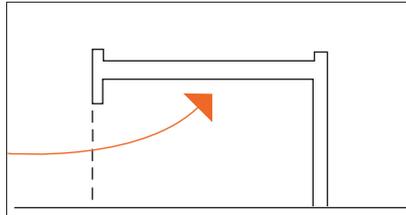


avant-corps, tandis que le côté sous le vent (photo de droite) est surmonté d'un avant-toit plus long et bordé par une prolongation des parois latérales.

Forme du bâtiment

Plus un bâtiment s'approche d'une forme sphérique, plus les efforts qu'il subit du fait du vent sont faibles. Les esquisses suivantes pré-

sentent des formes défavorables, qui nécessitent un dimensionnement particulier.



Forme du toit

Le choix de la forme du toit influence considérablement les forces de pression et de succion générées par le vent. Les forces

locales et globales peuvent être calculées pour différentes formes de toit en appliquant la norme SIA 261.

1 Toit incliné

2

3

4

5

6

7

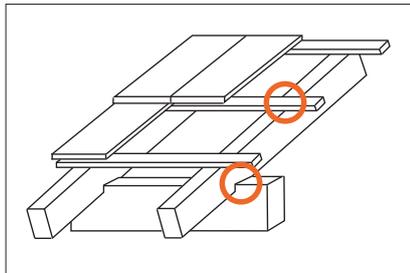
Transmission des charges de la couverture à la structure porteuse

(selon Schunck et al., 2002)

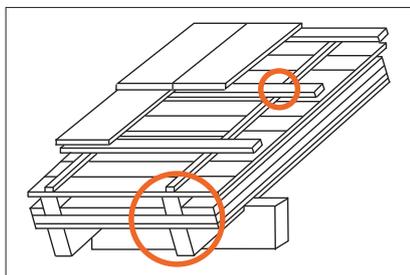
Les charges agissant à la surface du toit doivent être transmises à la structure porteuse principale, puis dans le sol, par l'entremise des différents composants de la construction. On distinguera les éléments porteurs et les éléments

Couverture d'un toit ouvert

Les diverses plaques reprennent les charges réparties sur leur surface et les transmettent aux lattes sous la forme de charges linéaires.

**Toiture à plaques avec une isolation thermique ventilée sur la structure porteuse**

Les différentes plaques reprennent les charges réparties sur leur surface et les transmettent aux lattes de toiture sous la forme de charges linéaires. Les lattes de toi-

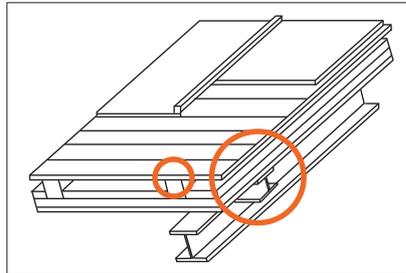


non porteurs. Des charges réparties sur des surfaces sont converties en charges linéaires ou concentrées. La direction des contraintes peut varier d'un élément à l'autre. La transmission des charges peut être uniaxiale ou biaxiale. La perméabilité de la couverture détermine la sous-ventilation, et par conséquent le lieu et la grandeur des actions.

Passant sur plusieurs chevrons, les lattes sont l'équivalent statique d'une poutre continue. Les chevrons reprennent les charges concentrées provenant des lattes et les transmettent aux pannes sur une certaine portée. Chaque élément a un rôle porteur! Les liaisons mises en œuvre doivent garantir la transmission des charges jusqu'à la structure porteuse principale.

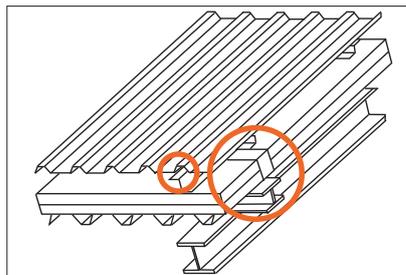
ture transmettent les charges aux chevrons de ventilation par l'entremise des lattes de ventilation et du voligeage. Ces derniers reposent directement et en continu sur les chevrons de ventilation. Ils doivent être reliés entre eux de manière à ce que toutes les charges puissent être reprises. Les chevrons de ventilation, reposant à courts intervalles sur les pannes, doivent surmonter une portée correspondante. Les pannes transmettent les charges aux chevrons porteurs par l'entremise du voligeage inférieur. Elles ne doivent surmonter aucune portée. Dans ce cas, les voligeages supérieur et inférieur ne sont pas porteurs.

Bandes métalliques sur une précoverture et voligeage avec une isolation thermique ventilée



La couverture métallique repose à plat sur le voligeage, qui est porteur dans ce cas. Il supporte les charges externes et constitue un système continu passant d'un chevron de ventilation à l'autre. Ces derniers reposent sur les traverses, posées en continu sur les pannes. Ainsi, les chevrons de ventilation, surmontant la portée entre les pannes, sont les éléments porteurs. Le panneau d'aggloméré sous-jacent n'est pas porteur.

Plaques métalliques avec une couverture sous-ventilée et une sous-couverture reposant sur une isolation thermique



La tôle trapézoïdale de couverture supporte les charges externes. Disposée parallèlement à la pente du toit, elle repose sur des tôles porteuses horizontales peu espacées. Ces dernières reposent sur les profilés passant d'un bois d'appui à l'autre. Les bois d'appui répartissent les charges sur la tôle trapézoïdale inférieure, qui est porteuse. Ainsi, cette dernière, surmontant la portée d'une panne à l'autre, est l'élément porteur.

Toitures

Il est nécessaire de renforcer le toit aux bords, angles et pignons. Les fournisseurs et les associations



On peut protéger les secteurs menacés par les forces de succion en appliquant des crochets tempête, en les vissant, en les enrobant de mortier, en y appliquant des tuiles

professionnelles donnent certaines indications sur les fixations requises (voir en annexe).



de rive ou en coffrant leurs bords. Cette énumération n'est pas exhaustive. Des solutions innovantes sont aussi imaginables pour gérer les forces de succion.

1

Fixation des constructions en bois contre la succion

Les forces de succion agissant sur

l'avant-toit sont transmises dans les fondations au moyen de câbles en acier.



2

3

4

Façades

5

6

7

Ancrage des revêtements de parois extérieures

Les façades sont soumises à des forces de succion élevées au voi-

sinage des angles du bâtiment. La norme SIA 261 propose un mode de dimensionnement concret pour cette partie des bâtiments.



Domages aux angles d'un bâtiment dus à des forces de succion générées par des vents tempétueux.

Fenêtres et surfaces vitrées en général

Les portes et les fenêtres doivent être conçues en fonction des forces de pression ou de succion auxquelles elles seront soumises. Les portes seront fixées à l'extérieur. La charge appliquée sur les fenêtres doit pouvoir être transmise de la vitre au cadre et du cadre à la construction qui l'entoure. L'utilisation de verre partiellement précontraint permet de réaliser

des constructions élancées même lorsque la pression due au vent est élevée. Si l'on s'attend à des impacts de débris emportés par le vent, il faut utiliser du verre de sécurité feuilleté pour protéger les personnes. Les volets battants et les stores à lamelles résistant aux tempêtes offrent une protection efficace contre les impacts de débris.

Cheminées, antennes

Les pylônes et les cheminées de grande hauteur sont généralement sensibles aux vibrations en raison de leur forme élancée, c'est pourquoi ils doivent être fixés solidement, par exemple par des haubans. Ces superstructures génèrent en outre des succions élevées à leur voisinage.

Les haubans sont très importants pour la stabilité des installations. Aussi faut-il:

- Assurer une protection efficace et durable contre la corrosion
- Contrôler régulièrement les haubans et leurs ancrages



Chapeau de cheminée arraché



Antenne satellitaire arrachée

Avant-toits et abris

Les avant-toits et les abris subissent fréquemment un dommage total dû à la superposition d'une force de succion s'exerçant par le haut et d'une force de pression

s'exerçant par le bas. La norme SIA 261 énumère les coefficients de pression applicables à différents rapports entre hauteurs et porte-à-faux d'avant-toits.



1 Garages

Les garages et leurs portes doivent être conçus, comme les bâtiments, pour résister aux sollicitations dues au vent. On veillera particulièrement

à fixer les constructions légères de manière à ce qu'elles ne soient pas soulevées lorsque la porte est ouverte.

Cellules solaires

La charge subie par les cellules solaires doit être étudiée spécifi-

quement en fonction de leur disposition sur le toit ou sur la façade.

2 Études spéciales pour les formes de bâtiments particulières

Il est recommandé d'étudier spécialement les bâtiments très élevés, les constructions ouvertes, les constructions souples et les formes aérodynamiques inhabituelles, voire de les tester en soufflerie.



3

Coffrage du toit

Les charges extrêmes régnant aux endroits exposés (collines, sommets) peuvent être réduites en

coffrant les avant-toits comme sur les photos.

4



5



6

Protection des ouvertures

Situation de danger «Vent»

Les coupoles peuvent être soumises à une pression interne en sus des forces de succion externes.

Leurs fixations seront dimensionnées en tenant compte de cette superposition de forces, dans les positions ouverte et fermée.

7

Situation de danger «Vent et pluie»

Les fenêtres exposées devraient être protégées contre les intempéries par un aménagement intégré dans la construction.



Constructions gonflables

Les tempêtes infligent régulièrement d'importants dommages aux constructions gonflables lorsque la pression intérieure n'est pas augmentée à temps. C'est pourquoi les règles suivantes permettent de prévenir des dommages à ce type de constructions:

- Il faut installer au moins deux souffleries pour pouvoir augmenter rapidement la pression intérieure en cas de tempête et la maintenir si un appareil tombe en panne.

- Il est judicieux de coupler la commande des souffleries avec un anémomètre, afin que la pression intérieure soit augmentée automatiquement lorsque le vent atteint une vitesse critique.
- Il faut prévoir des génératrices de secours pour alimenter les souffleries, car l'électricité est fréquemment coupée lors des fortes tempêtes.

Tentes

Les attaches des tentes et leurs ancrages au sol, qui doivent être aptes à résister aux efforts de traction, seront contrôlés régulièrement et réparés immédiatement si des déficiences sont constatées. Sinon, les attaches peuvent céder lorsque le vent exerce une forte pression, ce qui risque de provoquer la destruction de l'ensemble de la tente.



Échafaudages, toits provisoires

Pour éviter des dommages, il faut prendre les précautions suivantes:

- Fixer les éléments porteurs des ouvrages au moyen d'ancrages résistant aux efforts de traction et de compression.
- Prendre des mesures de sécurité rigoureuses lorsque des écrans de protection sont mis en œuvre.

La liste de contrôle SUVA «Échafaudages de façade» (voir la liste des directives techniques en annexe) fournit des informations supplémentaires à ce sujet.



Grues

Les mesures suivantes doivent être prises pour garantir la stabilité des grues exposées à des tempêtes:

- Vérifier la résistance du sous-sol, en tenant notamment compte du fait que la charge exercée par le vent s'applique principalement sur un seul côté des grues; les fixer si nécessaire au moyen de haubans.
- Mettre la plate-forme au point mort lorsque la grue n'est pas utilisée, afin que la flèche n'offre aucune résistance au vent.

- Contrôler régulièrement l'état de corrosion, usure ou autre défaut des parties mécaniques.
 - Procéder à un entretien périodique et remédier aux défauts.
- La liste de contrôle SUVA «Grues de chantier» (voir la liste des directives techniques en annexe) fournit des informations supplémentaires à ce sujet.

1 Constructions légères

Lorsqu'une tempête est annoncée, il faut consolider les constructions légères dans la mesure du possible et en fermer toutes les ouvertures.



2

Mesures particulières pendant la construction

Les parois isolées en chantier doivent être étayées. Les matériaux légers entreposés temporairement seront fixés par des sangles, pour éviter qu'ils ne deviennent des projectiles en cas de tempête. Différents services d'alerte dispensent des prévisions relatives aux tempêtes sur abonnement.

Paroi isolée en maçonnerie renversée lors d'une tempête.



3

Stores solaires

Les stores solaires, inaptes à résister aux tempêtes, doivent être relevés avant que le vent ne se lève. Ce processus peut être commandé à l'aide d'un anémomètre (mesure de la vitesse du vent; à l'angle au-dessus des stores sur la photo) combiné avec un détecteur de soleil ou au moyen d'un système d'alarme.



4

5

6

7

Combinaison de mesures

Cette section présente des combinaisons de mesures envisageables dans chaque situation de danger, pour les constructions existantes et pour les nouvelles. Seule la combinaison des mesures exposées – qui ont trait à la conception, au renforcement et à l’effet d’écran –

permet de réduire efficacement le risque. Les mesures décrites portent uniquement sur l’objet menacé. On peut aussi mettre en œuvre dans ses environs des mesures visant à réduire le danger (arrimer et/ou ôter les arbres et les projectiles potentiels).

		Mesures										
		Conception					Renforcement			Écran		
Combinaison de mesures	Situation de danger	Emplacement du bâtiment	Hauteur du bâtiment	Orientation du bâtiment	Forme du bâtiment	Forme du toit	Toit / avant-toit	Structure porteuse	Façades	Ouvertures	Coffrage	Ouvertures
		Bâtiment existant										
A	1						•	•	•			
B	1										•	
C	2						•	•		•		
D	3						•					
E	4								•			•
F	5						•	•				
Nouvelle construction												
G	1	•	•	•	•	•	•	•				
H	2	•	•	•	•	•	•	•		•		
I	3			•			•					
J	4								•			•
K	5						•	•				

- | | | | |
|---|--|---|--|
| 1 | Combinaison de mesures A «Renforcement» | L'enveloppe du bâtiment – ainsi que la structure porteuse si nécessaire – est renforcée dans le cadre d'une transformation. | |
| 2 | Combinaison de mesures B «Coffrage» | Les avant-toits exposés sont coffrés pour éviter toute superposition de forces de pression vers le haut et de forces de succion vers le bas. | |
| 3 | Combinaison de mesures C «Renforcement vis-à-vis des pressions internes» | L'enveloppe du bâtiment – ainsi que la structure porteuse et les ouvertures si nécessaire – est renforcée dans le cadre d'une transformation. Dans ce cas, la pression interne susceptible d'apparaître | représente une nouvelle situation de danger, qui doit être prise en compte dans le dimensionnement. |
| 4 | Combinaisons de mesures D et I «Renforcement des toits en saillie» | La conception des avant-toits est renforcée, car ils sont soumis, dans le cas le plus défavorable, à des forces de pression vers le haut et à des forces de succion vers le bas. | En ce qui concerne les nouveaux bâtiments, on remédie également à cette situation de danger en orientant judicieusement la construction. |
| 5 | Combinaisons de mesures E et J «Renforcement et écran contre l'impact de débris» | L'enveloppe du bâtiment est renforcée et les ouvertures sont protégées par un écran contre les impacts de débris. | |
| 6 | Combinaisons de mesures F et K «Renforcement contre la chute d'arbres» | La conception de la structure porteuse et de la toiture est renforcée afin qu'elles offrent une résistance importante à une éventuelle chute d'arbre. | |
| 7 | Combinaisons de mesures G et H «Nouvelle construction» | Lorsqu'une nouvelle construction est projetée, les plans tiennent compte des critères de conception (emplacement, hauteur et orientation du bâtiment ainsi que forme du bâtiment et du toit). L'enveloppe et la structure | porteuse sont dimensionnées en respectant les exigences avec ou sans pression interne. |

Exemple d'analyse coût-utilité

Coût

L'exemple suivant illustre l'importance pour les toits de la succion due au vent, en tenant compte des dégâts qu'elle occasionne.

Une industrie située sur le Plateau construit une halle de montage avec un toit en tôle. Si elle utilise des clous lisses pour relier le contre-lattage et les chevrons, elle ne protège pas l'objet (variante A). Si elle opte pour des vis au lieu de ces clous lisses, conformément aux prescriptions (variante B), cette

La méthode appliquée est exposée en détail à l'annexe E des présentes recommandations.

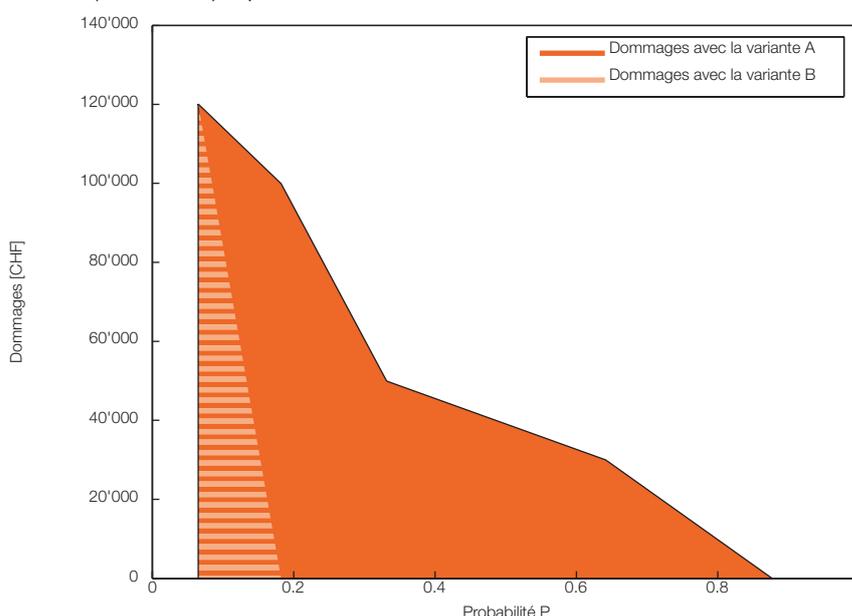
mesure de protection occasionne un surcoût de 3'000 CHF pour les travaux et les matériaux.

Calcul:
Surcoût $k = 3'000$ CHF, taux d'intérêt $z = 3\%$, longévité $n = 20$ ans
Surcoût compte tenu des intérêts $K = 3000 \times (1.03^{20}) = 5'418$ CHF

Utilité

L'utilité tient compte des dégâts directs évités (tôle déchirée) et des dommages indirects dus à la détérioration des alentours et à l'interruption de l'exploitation. On admet que des dommages apparaissent en l'absence de mesures de protection (variante A) à partir de l'évé-

nement qui se produit en moyenne une fois tous les 10 ans et en présence de mesures de protection à partir de l'événement qui se produit en moyenne une fois tous les 100 ans. L'utilité est calculée pour un horizon de 20 ans. Elle se monte à 33'066 CHF selon l'annexe E.



Comparaison coût-utilité

La comparaison entre le coût et l'utilité des mesures considérées consiste à confronter le surcoût qu'elles occasionnent et leur utilité.
Coût / utilité = $5'418$ CHF / $33'066$ CHF = 0.164

Cela signifie que le surcoût occasionné par les mesures de protection de l'objet est très judicieux en termes économiques.

Comme un vent de période de retour égale à 20 ans est susceptible d'occasionner de premiers dommages en l'absence de mesures

de protection, la valeur attendue des dommages, de 40'115 CHF, est très élevée.

Si le dimensionnement est conforme à la norme SIA 261, on peut admettre que même un vent de période de retour égale à 100 ans ne causera aucun dommage au bâtiment dans le cas de la variante B. Ainsi, le surcoût de 5'418 CHF est très nettement inférieur au montant des dommages attendus prévenus, de 33'066 CHF.

1

2



3

4

5

6

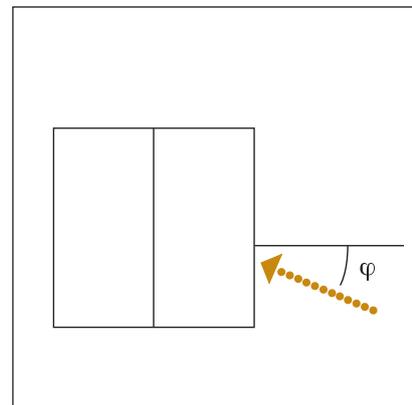
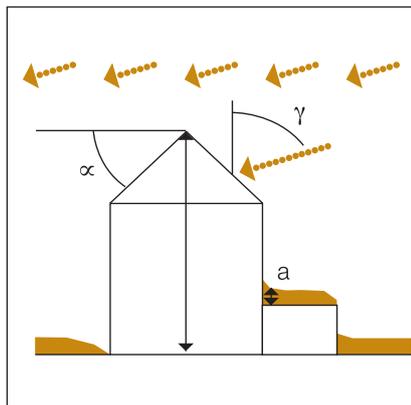
7

1 Notations

k [mm]: Diamètre du grêlon
 γ [°]: Angle d'incidence (dans le plan vertical)
 φ [°]: Direction d'incidence (dans le plan horizontal)
 α [°]: Inclinaison du toit
 ρ_h [kg/m³]: Densité de la glace composant le grêlon
 ρ_l [kg/m³]: Densité de l'air
 c_d [-]: Coefficient de résistance de l'air
 v_f [m/s]: Vitesse de chute verticale du grêlon (sans influence du vent)
 v_h [m/s]: Vitesse horizontale du grêlon sous l'influence du vent
 v_w [m/s]: Vitesse du vent (rafales)
 v_{fw} [m/s]: Vitesse de chute du grêlon avec influence du vent

v_{AS} [m/s]: Vitesse minimale approximative d'endommagement (laboratoire)
 T [h]: Durée de la chute de grêle
 a [m]: Épaisseur accumulée
 q_a [N/m²]: Charge due au dépôt de grêle
 m [kg]: Masse d'une charge concentrée
 E_c [J]: Énergie cinétique d'un grêlon
 E_T [J/m²]: Énergie cinétique totale de la grêle, par élément de surface et par événement
 W_{AS} [J]: Travail minimal approximatif d'endommagement (laboratoire)
 g [m/s²]: Accélération gravitationnelle (10 m/s²)

3



4

5 Caractérisation

La forme et la taille des grêlons, ainsi que la nature et l'intensité des effets de la grêle, sont influencés par le climat, la topographie et les conditions de vent. L'action de la grêle est aussi déterminée par la forme de l'ouvrage, son emplacement, la nature de ses surfaces et l'inclinaison de sa toiture.

Orage de grêle

Sans orage, pas de grêle. Inversement, de nombreux orages ne sont pas accompagnés de grêle, lorsque les conditions atmosphériques ne sont pas réunies pour en produire ou lorsque les grains de grêle ou de grésil ont une petite taille et fondent rapidement pour atteindre le sol sous forme d'averse. Une règle empirique grossière veut que la fréquence de la grêle soit approximativement égale au dixième de celle des orages. Le danger de chute

de grêle est le plus élevé dans les régions où des masses d'air froid et sec et des masses d'air chaud et humide se rencontrent, ainsi qu'en région montagneuse, où la convection de l'air est accentuée par le relief.

Les mouvements verticaux, soudains et intenses d'air atmosphérique qui sont à l'origine des orages se développent soit lorsque des surfaces très chaudes sont soumises à un rayonnement solaire intense, soit lorsque deux masses d'air différentes se heurtent, ce qui se produit principalement quand un front froid de grande ampleur fait irruption à la fin des chaleurs estivales. La stratification de l'atmosphère doit être instable pour que ces mouvements verticaux puissent se développer. La formation de gros grêlons requiert de puissants courants ascendants dans le nuage d'orage. Tant

6

7

qu'ils restent en suspension, ils peuvent retirer des gouttelettes d'eau et des cristaux de glace de l'air ambiant des nuages, et poursuivre ainsi leur croissance. Les courants ascendants sont généralement concentrés dans des cheminées étroites situées à l'intérieur des orages. Lorsque l'ascendance cesse subitement dans une cheminée,

la masse de gouttes et de grêlons jusqu'alors en suspension s'abat brusquement. Le même orage peut produire plusieurs chutes de grêle distinctes spatialement. Une colonne de grêle, ainsi qu'on nomme une zone de grêle d'un seul tenant, s'étend habituellement sur une longueur de quelques kilomètres et une largeur inférieure à un kilomètre.

Échelle des dommages occasionnés par la grêle

Le tableau suivant, basé sur les échelles Torro (voir Risk Frontiers Australia) et adapté à la Suisse,

illustre les dommages occasionnés par des grêlons de différentes tailles.

Classe d'intensité	Diamètre des grêlons k	Description des dommages
H0	[5 mm]	Chute de grêle, grêlons de la taille d'un pois. Pas de dommages.
H1	[5 - 15 mm]	Feuilles perforées, pétales arrachés.
H2	[10 - 20 mm]	Feuilles d'arbres et de plantes arrachées; légumes, fruits et céréales marqués et meurtris; feuilles de légumes déchiquetées.
H3	[20 - 30 mm]	Quelques vitres de serres, cloches de verre et/ou impostes brisées. Clôtures en bois entaillées. Peinture de rebords de fenêtres arrachée. Mobile homes bosselés. Toits en plexiglas perforés. Toiles (p. ex. tentes) déchirées. Tiges de céréales brisées et semences broyées; fruits éclatés/détruits.
H4	[25 - 40 mm]	Quelques vitres de fenêtres de maisons et/ou pare-brise de véhicules éclatés et/ou fortement fissurés; serres largement endommagées. Quelques toits recouverts de carton bitumé perforés. Peinture des murs et des véhicules les endommagée. Traces d'impact (bosses) visibles sur les carrosseries fines. Petites branches d'arbres cassées. Oiseaux et volaille sans protection tués. Impacts marqués sur les sols durs.
H5	[30 - 50 mm]	Certaines plaques en ardoise et tuiles en terre cuite cassées. Nombreuses fenêtres fracassées; toits en tuiles de verre et vitres de fenêtres en verre renforcé brisés. Bosses visibles sur les véhicules se trouvant à l'extérieur. Enveloppe extérieure des petits avions bosselée. Risque de blessures graves ou mortelles pour les petits animaux. Écorce des arbres arrachée par bandes. Éléments en bois bosselés et écaillés. Grosses branches d'arbres cassées.
H6	[40 - 60 mm]	Nombreuses plaques d'ardoise et tuiles en terre cuite (sauf les tuiles en béton) cassées. Toits de bardeaux et de chaume défoncés; toits de tôle ondulée et quelques toits métalliques profondément entaillés et parfois perforés. Maçonnerie apparente légèrement endommagée. Cadres de fenêtres en bois cassés.
H7	[50 - 75 mm]	Toits d'ardoise et de bardeaux ainsi que nombreux toits de tuiles détruits, charpente mise à nu; toits métalliques perforés. Éclatements dans la maçonnerie apparente et de parpaings. Cadres de fenêtres métalliques cassés. Carrosserie de voitures et de petits avions gravement, voire irrémédiablement endommagée.
H8	[60 - 90 mm]	Tuiles en béton fissurées. Toits de métal, ardoise et bardeaux et autres toits de tuiles détruits. Trottoirs bosselés. Enveloppe extérieure des grands avions gravement endommagée. Petits troncs d'arbre arrachés. Danger de blessures graves pour les personnes surprises à l'extérieur.
H9	[> 80 mm]	Éclatements dans les parois en béton. Nombreuses tuiles en béton cassées. Parois des maisons en bois complètement perforées. Grands arbres cassés. Danger mortel pour les personnes surprises à l'extérieur.
H10	[>100 mm]	Maisons en bois détruites. Maisons en briques très gravement endommagées. Danger mortel pour les personnes non protégées.

1 Durée de la grêle

La durée d'une chute de grêle influence la grandeur de l'énergie cinétique totale de la grêle et l'épaisseur de grêle accumulée. Lorsqu'elle se prolonge, il est possible que la surface du bâtiment

touchée se refroidisse brusquement. Le comportement des matériaux dans ces conditions doit être étudié (diminution de la résistance, rupture fragile).

2 Direction et angle d'incidence

La direction d'incidence détermine les façades du bâtiment qui seront touchées, tandis que l'angle d'incidence détermine l'intensité de l'action. C'est lorsque l'impact est perpendiculaire à la surface que la charge subie par l'élément consi-

déré est la plus grande. La direction et l'angle d'incidence peuvent varier au cours d'une chute de grêle. Dans les cas extrêmes, il est possible que les façades et les toits soient atteints par des grêlons provenant de tous les côtés.

3 Forme des grêlons

La forme des grêlons est très variable. L'une des plus fréquentes est quasi sphérique, avec un rapport de 0.8 entre le diamètre minimal et le diamètre maximal. Mais des formes présentant des excroissances oblongues, arrondies ou anguleuses sont aussi possibles. Du fait de leur configuration, ces formes spéciales peuvent occasionner une charge particulière lorsqu'elles percutent l'enveloppe du bâtiment. Elles sont susceptibles de perforer des constructions à enveloppe élastique tendue, alors que ce ne serait pas le cas pour des chutes de grêlons ronds de même énergie.

Le critère déterminant pour assigner ces formes à une classe de grêlons est leur poids.



Grêlon à protubérances anguleuses tombé à Zurich lors de la tempête du 24.06.2002.

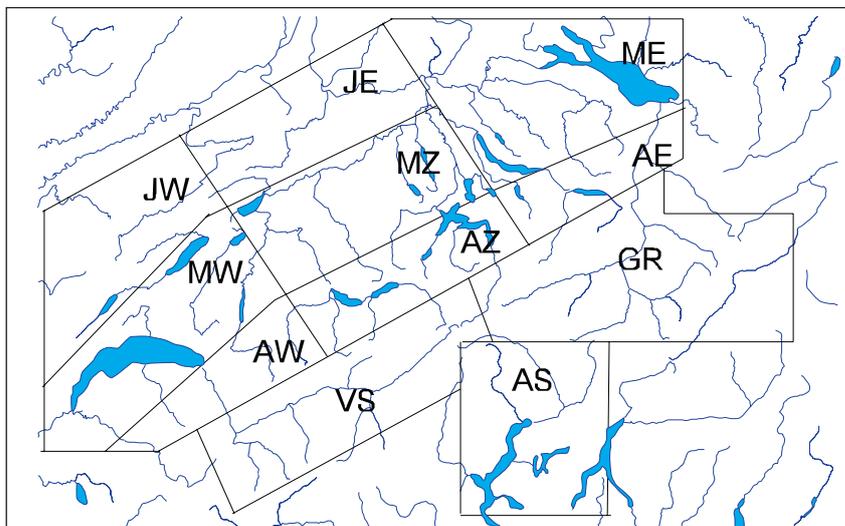
5 Taille des grêlons et période de retour

Le tableau suivant présente, en [mm], la taille minimale des grêlons pour différentes périodes de retour (PR) et zones climatiques de Suisse (Schuesser, 2006). Il en ressort qu'il faut s'attendre à la chute de grêlons de 30-40 mm au moins pour une période de retour de 100

ans. La taille attendue est limitée à 10-20 mm dans les seuls cantons du Valais et des Grisons. Les cartes d'intensité pertinentes figurent en annexe.

PR [ans]	Jura		Plateau			Alpes			Tessin	VS ¹	GR ¹
	Ouest	Est	Ouest	Centre	Est	Ouest	Centre	Est			
1	10	10	-	10	10	-	10	10	10	-	-
5	10	20	10	20	20	10	20	10	10	-	-
10	20	20	20	20	20	20	20	20	20	-	10
20	20	30	20	30	30	20	20	20	20	10	10
30	20	30	20	30	30	20	30	20	20	10	10
50	20	30	20	30	30	20	30	20	20	10	10
100	30	40	30	40	40	30	40	30	30	20	10
250	40	40	40	40	40	40	40	30	40	20	20
300	40	40	40	40	40	40	40	40	40	20	20

¹VS, GR: seules des valeurs estimatives sont disponibles pour les cantons du Valais et des Grisons.



Les zones climatiques correspondant au tableau des intensités de la grêle: JW (ouest du Jura), JE (est du Jura), MW (ouest du Plateau),

MZ (centre du Plateau), ME (est du Plateau), AW (ouest des Alpes), AZ (centre des Alpes), AE (est des Alpes), AS (sud des Alpes, Tessin).

Épaisseur accumulée

L'épaisseur du dépôt de grêle, ainsi que l'accumulation et le glissement de grêle sur les toits (voir situations de danger du chapitre sur la neige) doivent être pris en compte. L'accumulation de grêle sur les toits entrave l'évacuation de l'eau, ce qui peut provoquer un engorgement des toits peu inclinés.



Une couche de plus de 0.2 m d'épaisseur a été observée en ville de Lucerne lors de la chute de grêle du 21.07.1998.

Paramètres d'intensité pour le dimensionnement

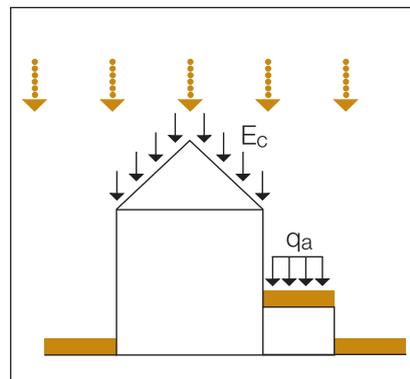
Pour procéder au dimensionnement, il faut disposer de données concernant la **taille des grêlons**.

Celle-ci peut être tirée de la carte d'intensité de la grêle (figurant en annexe).

1 Situation de danger 1: Grêle sans vent

2

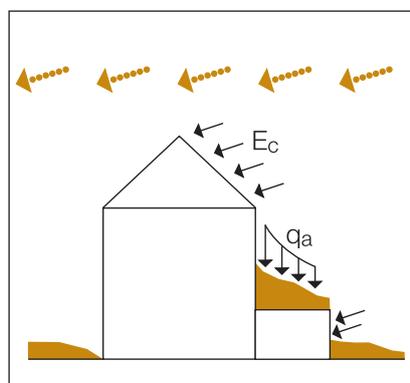
On admet que l'angle d'incidence γ dans le plan vertical est de $0^\circ - 20^\circ$. La vitesse d'un grêlon, équivalant à sa vitesse en chute libre, dépend du diamètre k du grêlon, du coefficient de résistance de l'air C_d et de la densité de la glace composant le grêlon ρ_h . Les surfaces des toitures sont principalement soumises à l'impact direct de la grêle E_c et à l'accumulation uniforme de grêlons q_a .



3 Situation de danger 2: Grêle avec vent

3

On admet que l'angle d'incidence γ dans le plan vertical est de $30^\circ - 50^\circ$. La vitesse d'un grêlon équivaut à une combinaison de vitesse en chute libre et de vitesse horizontale imputable au vent. Les surfaces des toitures et les façades sont soumises à l'impact direct de la grêle E_c et à l'accumulation inégale de grêlons q_a .

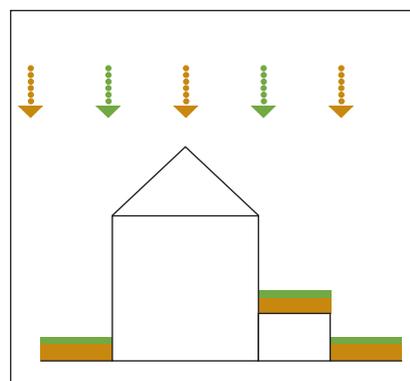


4

5 Situation de danger 3: Grêle avec pluie

5

Dans ce cas de figure, l'action de la grêle est la même que dans la situation de danger 1. Mais la chute de grêle est accompagnée de pluie. Il faut donc s'attendre à des inondations. Elles surviennent à l'intérieur des bâtiments lorsque leur enveloppe est endommagée et à l'extérieur lorsque des collecteurs sont obstrués par des grêlons et des feuilles arrachées.



6

7

Énergie cinétique d'un grêlon

L'énergie d'un grêlon en chute libre se calcule en appliquant la formule de l'énergie cinétique: $E_c = 0.5 \cdot m \cdot v_f^2$ [J]

Vitesse de chute verticale d'un grêlon sans influence du vent

La vitesse de chute v_f du grêlon peut être estimée en appliquant la formule:

$$v_f = \left[\frac{4 \cdot \rho_h \cdot k \cdot g}{3 \cdot \rho_l \cdot C_d} \right]^{\frac{1}{2}}, \text{ où } k \text{ doit être introduit en [m] dans la formule ci-contre.}$$

La vitesse finale et l'énergie cinétique des grêlons peuvent être tirées du tableau ci-dessous.

Diamètre k [mm]	Masse m [kg]	Vitesse finale v		Énergie cinétique E [Joules]
		[m/s]	[km/h]	
10	0.0005	13.8	49.7	0.04
15	0.0015	16.9	60.8	0.22
20	0.0036	19.5	70.2	0.69
25	0.0071	21.8	78.5	1.69
30	0.0123	23.9	86.0	3.5
40	0.0292	27.5	99.0	11.1
50	0.0569	30.8	110.9	27.0
60	0.0984	33.7	121.3	56.0
70	0.1562	36.4	131.0	103.7
80	0.2332	39.0	140.4	176.9

Le tableau présente les masses, vitesses finales et énergies auxquelles il faut s'attendre pour des grêlons de différents diamètres, moyennant certaines hypothèses

concernant la densité de l'air et son coefficient de résistance. (Résistance à l'écoulement de l'air: $C_d = 0.50$, densité de l'air $\rho_l = 1.2$ kg/m³, densité du grêlon $\rho_h = 870$ kg/m³)

Vitesse horizontale d'un grêlon sous l'influence du vent

Des analyses de la vitesse de chute réelle ont révélé que la vitesse horizontale des grêlons est égale en moyenne à un tiers de la vitesse de chute verticale. Des vitesses horizontales plus élevées sont possibles, selon la force des

rafales de vent. Il ressort des explications figurant au chapitre sur les tempêtes que les débris sphériques emportés par le vent peuvent atteindre une vitesse égale au tiers de la vitesse du vent (rafales).

Charge due au dépôt de grêle

La charge due au dépôt de grêle sur les bâtiments vaut:

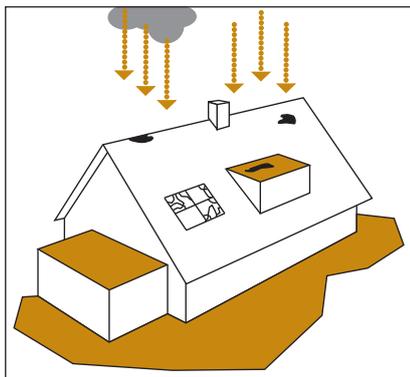
$$q_a = a \cdot \rho_h \cdot g \quad [\text{N/m}^2]$$

Énergie totale de la grêle

L'énergie totale de la grêle par surface unitaire, exprimée en [J/m²], qui cumule tous les grêlons tombant sur cette surface au cours d'un événement, est un autre pa-

ramètre très souvent utilisé pour décrire l'intensité de la grêle. Cette énergie totale peut être estimée au moyen de données obtenues par radar.

1 Grêle sans vent

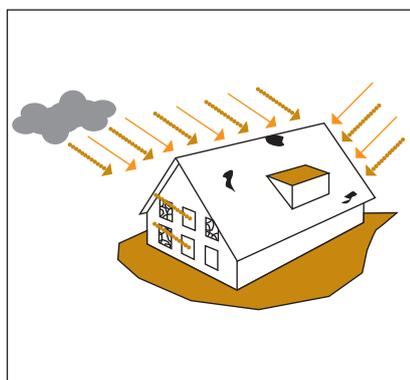


Lorsqu'une chute de grêle tombe sans vent, ce sont les toits qui sont

le plus affectés et les façades sont peu endommagées.

2

3 Grêle avec vent

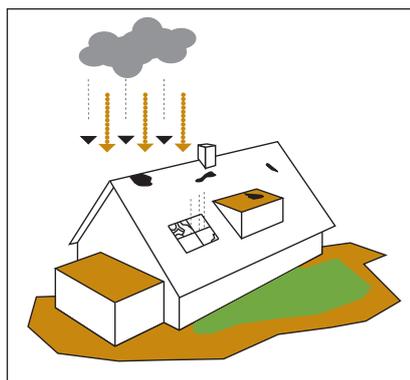


Lorsqu'une chute de grêle est accompagnée de vent, l'impact peut être oblique à horizontal (angle d'incidence jusqu'à 90°) et la di-

rection d'incidence peut varier. Il en résulte des dommages à la toiture et aux façades.

4

5 Grêle avec pluie



Lorsqu'une chute de grêle est accompagnée de pluie, des dommages indirects importants peuvent survenir après l'événement si l'enveloppe du bâtiment n'est pas

étanche. Les grêlons obstruant les collecteurs provoquent un engorgement des toitures et des places, éventuellement suivi d'une inondation du bâtiment.

6

7

Classes de dommages

Une chute de grêle est susceptible de porter atteinte aux matériaux constituant l'enveloppe du bâtiment en endommageant leur sur-

face, leur forme ou leur structure. Ces trois classes de dommages peuvent se subdiviser comme suit:

Classe de dommages	Définition	Type	Manifestation
Dommages à la surface	Détérioration de la surface des matériaux sous la forme de rugosification, arrachement ou écaillage	O 1	Altération réversible
		O 2	Rugosification
		O 3	Arrachement
		O 4	Écaillage
Dommages à la forme	Dommages aux matériaux sous la forme de déformations	F 1	Bossellement
		F 2	Voilement
Dommages à la structure	Dommages aux matériaux sous la forme de fissures, ruptures, éclatements ou perforations	S 1	Fissuration
		S 2	Rupture
		S 3	Éclatement
		S 4	Perforation

Dommages à la surface



Altération réversible de la couleur



Arrachement de la peinture

Dommages à la forme



Bossellement



Voilement

Dommages à la structure



Rupture interne



Perforation

1 Constitution de la façade

La constitution de la façade doit tenir compte de l'action de la grêle dans la zone climatique concernée. On choisira notamment des matériaux et des combinaisons de matériaux invulnérables à la

grêle. Il faut aussi que les différents éléments puissent être réparés ou remplacés sans devoir remplacer toute la façade.

2 Évacuation des eaux

Lorsqu'on dimensionne l'évacuation des eaux de toitures, de balcons et de places, il faut tenir compte de la situation qui présente un danger d'obstruction suite à l'accumulation de grêlons ou de feuilles et de branches arrachées par la grêle. Le reflux d'eau dû à l'obstruction des exutoires peut occasionner d'importants dommages. Les orifices de grand diamè-

tre et pourvus d'un filtre surélevé sont favorables à l'écoulement de l'eau. Même sur les toits de petite superficie, il faut installer au moins deux naissances d'eaux pluviales. Des mesures constructives seront mises en œuvre pour prévenir toute obstruction des orifices d'évacuation des eaux, principalement lorsque le potentiel de dommages est important.

3



Exemple de dispositif d'évacuation des eaux de toiture engorgé par une importante accumulation de grêlons.



Exemple de dispositif d'évacuation des eaux de place engorgé par l'afflux de feuilles et de branches arrachées par la grêle.

4

5

Orientation du bâtiment

Lorsqu'on oriente le bâtiment, il faut tenir dûment compte de l'action principale de la grêle accompagnée de vent et de pluie. Les

façades, parties du bâtiment les plus exposées, feront l'objet d'un concept de maîtrise des agents météorologiques.

6

7

Choix des matériaux: Répertoire de la protec- tion contre la grêle de l'AEAI

Le choix de matériaux appropriés prévient les dommages à l'enveloppe du bâtiment causés par l'impact de la grêle. Le Répertoire de la protection contre la grêle de l'AEAI (Stucki, Egli, 2007) indique la résistance à la grêle des matériaux composant l'enveloppe du bâtiment, à la manière du Répertoire de la protection incendie. Ce nou-

veau répertoire est en cours d'élaboration. Les établissements cantonaux d'assurance des bâtiments renseignent sur son état d'avancement et indiquent dans quelle mesure il est obligatoire. La graduation suivante expose les classes de résistance à la grêle qu'il proposera vraisemblablement.

Classes de résistance à la grêle

Les classes de résistance à la grêle retenues sont délimitées par les mêmes tailles de grêlons que celles qui ont été appliquées pour l'analyse météo-climatologique relative à la grêle. Ces limites de classes ont fait leurs preuves pour exposer le danger de grêle régnant en Suisse selon différentes périodes de retour. En outre, elles conviennent parfai-

tement pour classer la résistance à la grêle des divers matériaux de construction. À titre d'exemple, un produit de construction correspondant à la classe de résistance à la grêle RG 3 résistera sans dommages à l'impact d'un grêlon de 30 mm de diamètre.

Résistance à la grêle		Diamètre [mm]	Masse [g]	Vitesse [m/s]	Limite de classe [J]
RG 1	Très faible	10 mm	0.5	13.8	0.04
RG 2	Faible	20 mm	3.6	19.5	0.7
RG 3	Moyenne	30 mm	12.3	23.9	3.5
RG 4	Élevée	40 mm	29.2	27.5	11.1
RG 5	Très élevée	50 mm	56.9	30.8	27.0

Fonctions des éléments de construction

Un élément de construction peut assurer une ou plusieurs fonctions. Les plus fréquentes sont l'étanchéité, l'aspect, l'assombrissement, la translucidité, la mécanique et l'alimentation en électricité. Elles sont

sensibles à des grêlons d'énergies différentes, si bien qu'un élément de construction peut être assigné à différentes classes de résistance à la grêle selon la fonction considérée.

Valeurs caractéristiques de la résistance à la grêle

Des valeurs caractéristiques de la résistance à la grêle offerte par certains produits typiquement utilisés pour l'enveloppe des bâtiments, déterminées en projetant artificiellement des grêlons en laboratoire

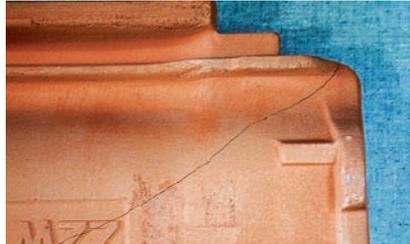
(Flüeler, Stucki 2007), figurent en annexe. Elles fournissent un tableau comparatif sommaire. On s'adressera aux fournisseurs pour obtenir les valeurs attestées de la résistance à la grêle de leurs produits.

1 Types de dommages

L'impact de la grêle cause des dommages à la structure des tuiles et des bardeaux. On peut observer les dégâts suivants aux tuiles en terre cuite, pour des grêlons

de taille croissante: fissuration (microfissures et microfissures), éclatements sur la face supérieure, éclatements sur la face inférieure, perforation et rupture.

Essais en laboratoire



Macrofissure



Éclatement



Perforation

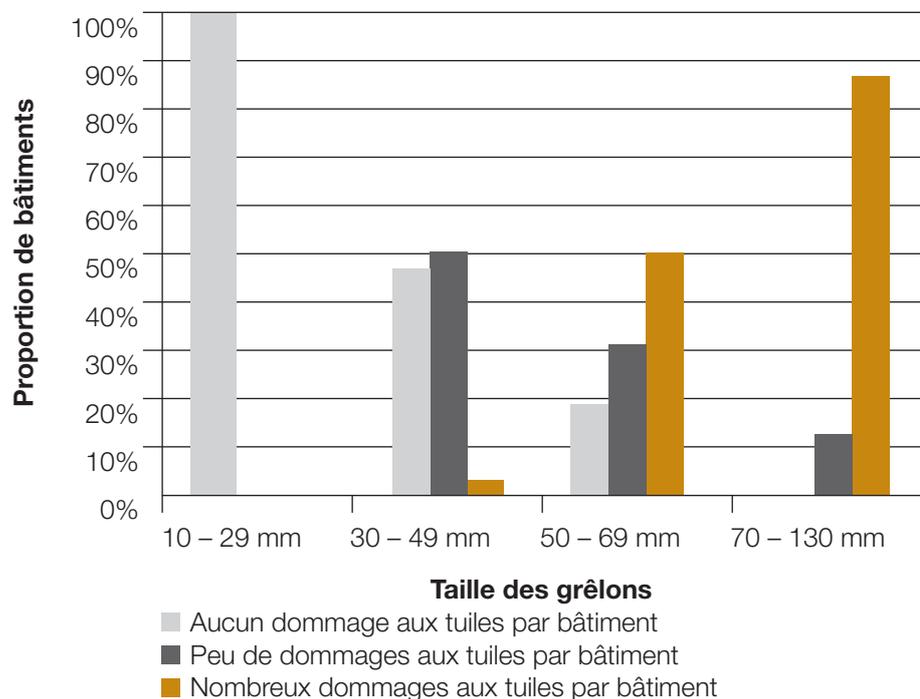


Rupture

Des essais exhaustifs réalisés par l'EMPA (2006) sur des produits neufs ont révélé que les tuiles en terre cuite atteignent une résistance à la grêle RG de 4. Ce résultat coïncide avec l'analyse détaillée

des dommages subis par les tuiles en terre cuite lors de la tempête de grêle qui a touché Sydney en 1999. Le graphique suivant expose ces résultats.

Tempête de grêle de Sydney



2

3

4

5

6

7

Dommmages dus à la grêle



Éclatements sur la face supérieure des tuiles.



Dommmages structurels aux bardeaux.

Réparation

Les tuiles et les bardeaux ayant subi un impact de grêle ne peuvent pas être réparés. Il faut principalement remplacer les éléments endommagés.

Protection des objets

La résistance à l'impact de la grêle croît avec l'épaisseur des tuiles et des bardeaux.

1 Types de dommages

L'impact de la grêle cause des dommages à la structure des plaques en fibres-ciment. On peut observer les dégâts suivants pour des

grêlons de taille croissante: bossellement de la face antérieure, fissuration de la face postérieure, écaillage de la face postérieure, perforation.

Essais en laboratoire



Bosse



Fissure



Écaillage



Perforation (en entonnoir)

2

3

4

Dommages dus à la grêle



Perforation de plaques profilées en fibres-ciment.



Éclatement de plaques en fibres-ciment.

5

6



Perforation de plaques en fibres-ciment.



Éclatement de plaques en fibres-ciment.

7

Réparation

Les plaques en fibres-ciment ayant subi un impact de grêle ne peuvent pas être réparées. Il faut princi-

palement remplacer les éléments endommagés.

Protection des objets

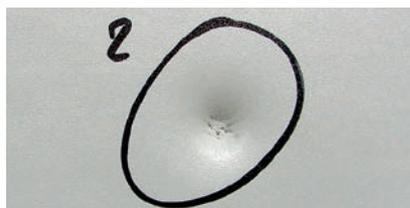
La résistance à l'impact de la grêle croît avec l'épaisseur des plaques en fibres-ciment.

Types de dommages

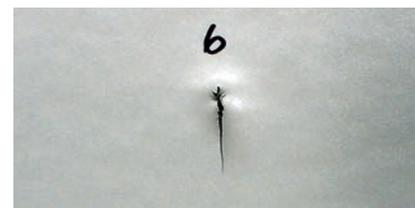
L'impact de la grêle cause des dommages à la structure des lés d'étanchéité en matière synthétique apparents. On peut observer les

dégâts suivants pour des grêlons de taille croissante: perforation, fissuration.

Essais en laboratoire



Perforation



Fissure

Relâchement de la couverture

Les toits plats recouverts de gravier présentent souvent des raccords et des fermetures de bord où la couverture collée constituée de lés d'étanchéité en matière synthétique

s'est détachée et plus ou moins retirée du raccordement à la surface du toit, ou a été même arrachée sous la bande de dilatation.

Cause du relâchement:

Les lés d'étanchéité en matière synthétique deviennent cassants et leur coefficient de dilatation augmente à mesure qu'ils vieillissent. C'est pourquoi les vieux lés se contractent sensiblement lorsque la température est basse. Ils se

détachent alors de leurs fermetures de bord et des relâchements bien visibles apparaissent. Des plis, bourrelets ou autres cavités se forment aux angles des bâtiments et le long des superstructures et des lanterneaux.

Effets du relâchement:

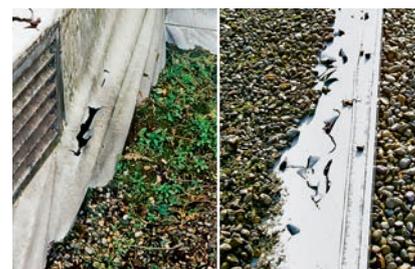
En sus de l'impact purement visuel dû au relâchement des matériaux, la disparition du plastifiant provoque un vieillissement prématuré des lés d'étanchéité en matière synthétique. Ils deviennent cassants et leurs caractéristiques mécaniques se dégradent. Leurs résistance à l'allongement, résistance à la déchirure et souplesse

à basse température diminuent, si bien qu'ils résistent moins bien aux actions mécaniques, notamment aux impacts de la grêle. Il est alors temps de remplacer l'étanchéité. Des contrôles annuels des toits plats donnent des informations concernant cette échéance (cf. check-list au chapitre Entretien).

Dommages dus à la grêle



Fermetures apparentes en lés de matière synthétique perforées par la grêle.



Le relâchement dû au vieillissement est visible sur la photo du milieu.

1 Réparation

On peut réparer les petites fissures par rapiéçage, en collant des morceaux du même matériau, si le vieillissement le permet. Lorsque des relâchements sont assainis, le matériau manquant en bordure sous l'effet de la contraction due au froid doit être remplacé par de nouvelles bandes. Pour éviter de nouveaux relâchements, il est recommandé de fixer les bords par un moyen mécanique.



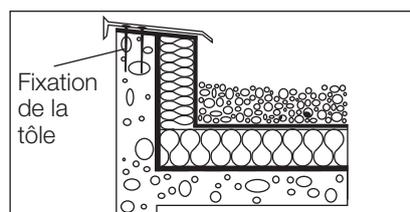
3 Protection des objets

Résistance des lés d'étanchéité à l'impact de la grêle: La résistance des lés d'étanchéité à l'impact de la grêle peut être déterminée au moyen d'un essai standardisé selon les normes SIA 280 (Lés d'étanchéité en matière synthétique),

SIA 281 (Lés d'étanchéité à base de bitume ou de bitume-poly-mère) et SN EN 13583 (Feuilles bitumineuses, plastiques et élastomériques d'étanchéité de toiture – Détermination de la résistance à l'impact de la grêle).

Raccords et fermetures de bord horizontaux: Les surfaces horizontales liées aux relevés, parapets, etc., doivent être protégées par une couverture en tôle. Pour les objets d'usage secondaire (p. ex. remises ou abris à un niveau sans isolation thermique), une couverture monocouche composée de matériaux d'épaisseur au moins égale à 1.5 mm est tolérée sur les toits équipés de lés d'étanchéité en matière plastique, pour autant qu'elle soit collée entièrement, sans

aucune cavité, sur un substrat plat et que les matériaux offrent une protection efficace contre l'humidité au sens de la norme SIA 280.

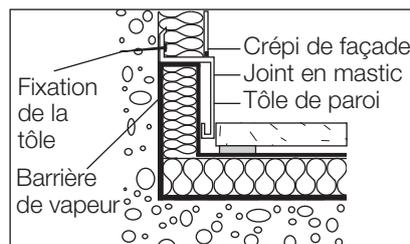


5

6

Raccords et fermetures de bord verticaux: Les surfaces d'étanchéité verticales liées aux toits praticables et aux toits pourvus d'un revêtement praticable doivent être équipées d'une protection mécanique. Sur les toits non praticables ou partiellement praticables, la protection mécanique (p. ex. couverture en tôle) est requise lorsque la hauteur du relevé est supérieure ou égale à 50 cm. Il faut alors empêcher le

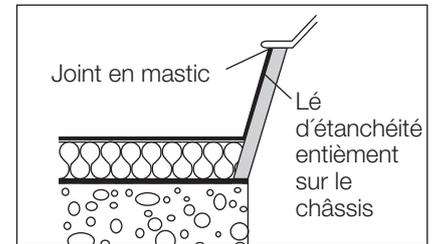
décollement des surfaces verticales en appliquant des fixations de bordure appropriées.



7

Raccords et fermetures de bord obliques: Les raccords obliques dénués de protection mécanique (couche de protection ou couverture) doivent être protégés contre l'écaillage et la formation de cavités en prenant des mesures appropriées. Ils seront composés de matériaux d'épaisseur au moins égale

à 1.5 mm offrant une protection efficace contre l'humidité.



Types de matériaux

Les matériaux suivants sont proposés pour confectionner des produits translucides en matière plastique: verre acrylique (PMMA),

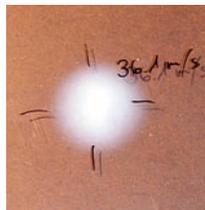
polycarbonate (PC), chlorure de polyvinyle (PVC) et polyester renforcé de fibres de verre (GF-UP).

Types de dommages

L'impact de la grêle cause des dommages à la structure des produits translucides en matière plastique. On peut observer les dégâts suivants pour des grêlons de taille croissante: microétiirements (seule-

ment pour le PMMA résistant aux chocs), délamination (séparation des couches), fissures en étoile, perforations. Les photos suivantes illustrent des dommages subis par différents matériaux et applications.

Essais en laboratoire



Microétiirement



Délamination



Fissure en étoile



Perforation

Dommages dus à la grêle



1 **Évolution temporelle de la résistance à la grêle (vieillesissement)**

Le vieillissement des produits en matière plastique sous l'effet des intempéries en altère rapidement et considérablement la résistance à l'impact de la grêle. La mise en œuvre d'essais systématiques – comprenant une exposition à des

intempéries naturelles suivie d'un test d'impact avec une sphère de polyamide de 40 mm de diamètre – a permis d'établir l'évolution suivante de la résistance à la grêle (Löwe, 1998):

2

Matériau	À l'état de neuf, endommagé à partir de	Après 2.5 ans d'intempéries, endommagé à partir de	Après 5 ans d'intempéries, endommagé à partir de	Baisse de la vitesse d'endommagement après 5 ans d'intempéries	Baisse de l'énergie d'endommagement après 5 ans d'intempéries
Polyméthacrylate de méthyle (PMMA)	3.5 m/s	3.5 m/s	2 m/s	43 %	67 %
Chlorure de polyvinyle (PVC)	16 m/s	8 m/s	3 m/s	81 %	96 %
Polycarbonate (PC)	65 m/s	18 m/s	13 m/s	80 %	96 %
Résine polyester insaturée renforcée de fibres de verre (GF-UP)	23 m/s	21 m/s	21 m/s	9 %	17 %

3

4 **Réparation**

Les plaques perforées peuvent être rapiécées en collant des morceaux du même matériau.

5 **Protection des objets**

Il est recommandé de vérifier volontairement la résistance des bandes vitrées à l'impact de la grêle, se-

lon la norme SN EN 1013-1. En principe, celle-ci augmente avec l'épaisseur des matériaux.

6

7

Types de matériaux

Les types de verre suivants sont fréquemment utilisés: en monocouche, verre flotté, verre armé et

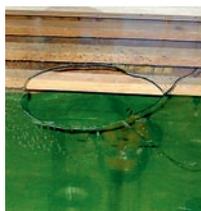
verre de sécurité trempé (VST); en multicouche, verre isolant et verre de sécurité feuilleté (VSF).

Types de dommages

Les dommages diffèrent selon la nature du verre. Les photos suivantes présentent les résultats

d'essais en laboratoire pratiqués sur différents types de verre:

Essais en laboratoire



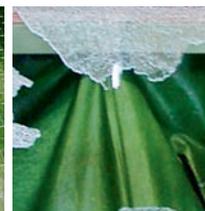
Verre flotté



Verre armé (première rupture)



Verre armé (perforation)



VST

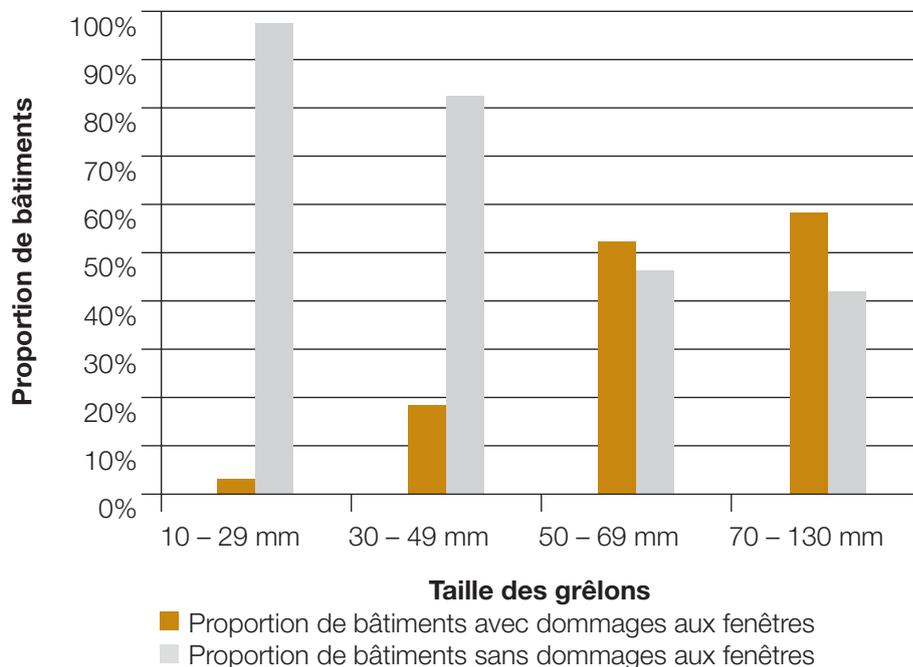


VSF fissuré de différentes manières

Des essais exhaustifs réalisés par l'EMPA (2006) sur des produits neufs ont révélé que les verres (sauf le verre armé) atteignent une résistance à la grêle RG de 5. Ce résultat coïncide avec l'analyse

détaillée des dommages subis par les vitres lors de la tempête de grêle qui a touché Sydney en 1999. Le graphique suivant expose ces résultats.

Tempête de grêle de Sydney



1 Réparation

Dommmages dus à la grêle



Les vitres touchées doivent être remplacées intégralement.



2

3 Protection des objets

3

Les expériences tirées de chutes de grêle survenues en Europe au cours des dernières décennies révèlent que l'application d'une vitre extérieure en verre de sécurité trempé (VST) procure une sécurité élevée contre le bris de vitres dû à l'impact de la grêle. Il s'agit d'un verre dont la surface est mise sous tension. La valeur admissible calculée de sa résistance à la rupture par flexion se monte à 50 N/mm². On ne dispose pas de mesures portant sur la distribution de la quantité de mouvement lors d'un impact de grêlon, ni sur la résistance du verre qui en résulte.

La détermination de l'épaisseur des vitres devrait suivre les approches suivantes:

- Charge: selon les normes SIA 261 et 261/1 pour le vent et la neige, en tenant compte d'une éventuelle position inclinée
- Tension à la rupture par flexion (vitres inclinées): 15 N/mm² pour le verre flotté
- Protection contre l'impact de la grêle: vitre extérieure en verre de sécurité trempé (VST) d'épaisseur

déterminée comme indiqué ci-dessus (pour le verre flotté) et vitre intérieure en verre de sécurité feuilleté (VSF).

Lors de l'établissement des plans, il faut en principe ménager des possibilités de remplacer les vitres brisées de manière relativement simple et peu onéreuse. Les vitres de dimensions excessives, qui ne peuvent plus passer par l'intérieur du bâtiment ni être montées de l'extérieur sans travaux de grande ampleur après la construction, devraient être évitées. La mise en œuvre de mesures d'aménagement doit permettre un remplacement aisé des vitres brisées.

Les avant-toits en verre doivent être en verre de sécurité feuilleté (VSF) lorsque les vitres s'appuient sur un cadre et en verre partiellement précontraint (VPP) lorsque les appuis sont ponctuels.

5

6

7

Types de dommages

L'impact de la grêle cause des dommages à la peinture et à la structure des revêtements en bois. On peut observer les dégâts suivants pour des grêlons de taille

croissante: arrachement du grisé naturel ou de la peinture, bossellement, fissuration, perforation.

Essais en laboratoire



*Bossellement
Arrachement de la peinture*

Dommages dus à la grêle



Altération de la couleur de revêtements en bois non traité



et en bois peint



Dommages structurels par arrachement d'angles exposés

Réparation

Les façades en bois non traité sont moins vulnérables à la grêle que les surfaces peintes. En principe, l'altération de la couleur et les petites bosses affectant les façades en bois non traité ne sont pas des dommages. Une surface non traitée se régénère habituellement d'elle-même sous l'effet des intempéries, mais on peut lui redonner un aspect homogène en la bros-

sant. La peinture arrachée ou polie en surface doit être remplacée. Les petits dommages structurels (angles arrachés, bosses) peuvent être réparés en ponçant le bois, s'il présente une épaisseur suffisante. Quant aux éléments fissurés ou perforés, il faut prévoir de les remplacer.

Protection des objets

Les angles des revêtements disposés verticalement sont moins vulnérables que ceux des revêtements disposés horizontalement. En ce qui concerne les éléments horizontaux, les revêtements à clin sont

notamment insensibles aux dommages aux angles. Il est en outre recommandé d'installer des avant-toits, qui protègent les façades des impacts directs de la grêle.

1 Types de dommages

L'impact de la grêle cause des dommages à la couleur et à la forme des tôles. On peut observer

les dommages suivants pour des grêlons de taille croissante: altération de la couleur, bossellement.

Essais en laboratoire



Bossellement

Dommmages dus à la grêle
Les deux photos suivantes présentent des altérations de la couleur dues à des impacts de grêle. Ce phénomène, nommé «farinage», se produit lorsque des pigments de la

peinture sont arrachés en surface. L'apparence uniforme de la tôle peut être restaurée en nettoyant sa surface.

3



La taille des bosses affectant la tôle dépend de la nature et de l'épaisseur



des matériaux.

4

5



Les photos suivantes présentent des dégâts subis par des tuiles en tôle. Elles révèlent des bosses, ain-



si que des voilements susceptibles de réduire l'étanchéité du toit.

6

Réparation

On peut remédier à l'altération de la couleur par farinage en nettoyant la surface des tôles. Il ne s'agit pas d'un dommage à proprement parler. L'application d'une méthode sous

vide permet d'éliminer les bosses. Mais la solution la moins onéreuse dans ce cas consiste à remplacer les éléments endommagés.

7

Protection des objets

La résistance des tôles à l'impact de la grêle augmente avec la résistance des matériaux les composant (module d'élasticité) et avec leur épaisseur. Les angles des revêtements disposés verticalement

sont moins vulnérables que ceux des revêtements disposés horizontalement.

Les façades en tôle seront éventuellement protégées de surcroît par un avant-toit d'avancée suffisante.

© 2007 VKF/AEAI

Types de dommages

L'impact de la grêle cause des dommages à la couleur et à la structure du crépi. On peut observer les dommages suivants pour des grêlons de taille croissante:

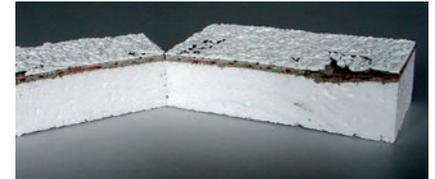
Essais en laboratoire



Bosse avec fissure



Bosse et arrachement du crépi



Coupe transversale

Dommages dus à la grêle
L'arrachement de la peinture, ici ponctuel à surfacique, ne porte



pas atteinte à l'imperméabilité de l'enveloppe du bâtiment.



L'arrachement du crépi cause ici un dommage structurel compro-



mettant l'imperméabilité de la façade.



Aspect de façades gravement endommagées par des chutes

de grêle.



Réparation

Si les dommages sont très étendus et que l'étanchéité n'est plus assurée, il faut remplacer le crépi. Si les dommages sont peu étendus et

que l'étanchéité n'est plus assurée et si seule la couleur est altérée, il faut principalement réparer le crépi existant.

Protection des objets

La résistance du crépi à l'impact de la grêle doit notamment être at-

testée par le fournisseur lorsqu'une isolation extérieure est appliquée.

1 Types de dommages

L'impact de la grêle cause des dommages à la structure des plaques opaques en matière plastique. On peut observer les dom-

mages suivants pour des grêlons de taille croissante: bossellement, fissuration, perforation.

Essais en laboratoire



Bosse



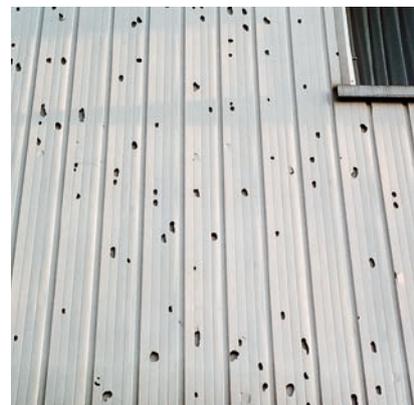
Fissure



Perforation

2

Dommages dus à la grêle



3

4

Réparation

5

Les dommages peuvent être réparés par rapiéçage, en collant des morceaux du même matériau. Mais, pour des raisons esthétiques et économiques, cette méthode

n'est appliquée que pour réparer des dommages structuraux isolés dans une façade.

Protection des objets

6

La résistance à l'impact de la grêle augmente avec l'épaisseur des matériaux utilisés. La résistance à l'impact de la grêle et le comportement sur le long terme doivent être

attestés par les fournisseurs. Les angles des revêtements disposés verticalement sont moins vulnérables que ceux des revêtements disposés horizontalement.

7

Types de dommages

L'impact de la grêle cause des dommages à la forme des fermetures. On peut observer les dommages suivants pour des grêlons

de taille croissante: bossellement, déformation, perforation (seulement des produits en matière plastique).

Essais en laboratoire



Stores à lamelles bosselés



Volets roulants bosselés



Lamelles voilées

Dommages dus à la grêle

L'aspect bosselé des stores à lamelles porte atteinte à l'esthétique de ces éléments de façade. Mais

leur fonctionnement ne doit pas en être entravé.



Lorsque des stores à lamelles sont déformés, leur fonctionnement

n'est plus assuré.



Réparation

Il faut principalement remplacer l'ensemble de la fermeture.

Protection des objets

La résistance à l'impact de la grêle augmente avec l'épaisseur des matériaux utilisés. Une mesure de protection temporaire consiste à relever les stores et les volets roulants avant la chute de grêle. Le

couplage de stores automatiques avec un dispositif d'alarme grêle est cours de développement. Une mesure de protection permanente consiste à placer les stores et les volets roulants derrière les vitres.

1 Types de dommages

L'impact de la grêle cause des dommages à la forme et à la structure des membranes. On peut observer les dommages suivants pour des grêlons de taille croissante:

bossellement, perforation. Les membranes sont particulièrement vulnérables aux grêlons anguleux. Ils laissent des marques et perforent les matériaux.



2

3

Réparation

Les membranes perforées peuvent être rapiécées en collant des mor-

ceaux du même matériau, sinon elles doivent être remplacées.

Protection des objets

La construction porteuse doit être telle que la couche externe offre une résistance suffisante à la grêle ou qu'une membrane extérieure supplémentaire serve de couche d'usure vis-à-vis des impacts de

grêle. Une autre solution consiste à protéger au moyen de grillages pare-grêle les parties de toitures les plus menacées revêtant la forme de membranes.

4

Capteurs solaires

Les capteurs solaires doivent satisfaire aux exigences minimales concernant la résistance à l'impact

de la grêle stipulées par la norme EN 12975-2.

5

6

7

Toit en saillie / avant-toit

Les toits en saillie offrent une excellente protection contre les dom-



mages aux façades dus à la grêle tombant sans vent.

Grillage pare-grêle

Les grillages pare-grêle installés au-dessus des matériaux vulnéra-



Grillages pare-grêle au-dessus de coupoles.

bles à la grêle les protègent efficacement et durablement.



Grillage pare-grêle au-dessus d'une place d'entreposage de voitures neuves (diamètre des trous: 10 mm).

Filet de protection

L'installation de filets de protection au-dessus des serres pendant la saison de la grêle offre une protection temporaire à bon marché.

1 Combinaison de mesures

Cette section présente des combinaisons de mesures envisageables dans chaque situation de danger, pour les constructions existantes et pour les nouvelles. Seule la combinaison des mesures exposées – qui ont trait à la conception, au renforcement et à l’effet d’écran – permet de réduire efficacement le risque.

2

3

4

5

		Mesures									
		Conception			Renforcement				Écran		
Combinaison de mesures	Situation de danger	Constitution de la façade	Évacuation des eaux	Orientation du bâtiment	Matériaux de toiture	Matériaux de façades	Matériaux des ouvertures dans le toit	Matériaux des ouvertures dans les façades	Toit en saillie	Filet / grillage	Élément d’usure
		Bâtiment existant									
A	1/2/3									●	
B	1/2/3										●
C	1/2/3				●	●	●	●			
Nouvelle construction											
D	1/3		●		●		●				
E	2/3	●	●	●	●	●	●	●			
F	2/3		●		●		●		●		

Combinaison de mesures A «Protection par un filet ou par un grillage»

Les éléments de l’enveloppe du bâtiment vulnérables à la grêle sont protégés contre les impacts directs par un filet ou par un grillage.

6

Combinaison de mesures B «Protection par des éléments d’usure»

Les éléments de l’enveloppe du bâtiment vulnérables à la grêle sont protégés par des éléments d’usure constitués du même matériau, qui jouent le rôle d’une couche de protection supplémentaire. On applique notamment cette méthode aux membranes, en appliquant une membrane extérieure sur la membrane intérieure pour la protéger contre les impacts directs de la grêle.

7

Combinaison de mesures C «Transformation avec des matériaux résistants à la grêle»

Lors d’une transformation, on utilise uniquement des matériaux résistants à la grêle pour le toit, les façades et les ouvertures.

Combinaison de mesures D «Nouvelle construction avec des matériaux de toiture résistants à la grêle»

Pour une nouvelle construction située sur un emplacement abrité du vent, on utilise uniquement des matériaux de toiture résistants à la grêle.

Combinaison de mesures E «Nouvelle construction avec des matériaux de toiture et de façades résistants à la grêle»

L'orientation du bâtiment, la constitution de la façade et les installations d'évacuation des eaux tiennent compte de l'action de la grêle combinée avec du vent et de la pluie. On utilise uniquement des matériaux de toiture et de façades résistants à la grêle.

Combinaison de mesures F «Nouvelle construction avec un toit en saillie»

L'impact direct de grêlons contre la façade est empêché par des toits faisant une saillie relativement marquée. On utilise des matériaux résistants à la grêle pour la toiture et pour ses ouvertures.

1

2

3

4

5

6

7

1 Exemple d'analyse coût-utilité

L'exemple suivant illustre l'importance pour les coupoles de la résistance à la grêle, en tenant compte des dégâts qu'elle occasionne. La méthode appliquée est exposée en détail à

l'annexe E des présentes recommandations.

2 Coût

Une entreprise située au centre du Plateau évalue différents types de coupoles pour équiper un nouvel atelier. Elle a le choix entre deux types:

ce type devraient donc être remplacées après 10 ans pour offrir une résistance à la grêle suffisante, tandis que le produit en verre sur cadre métallique a une longévité de 30 ans.

Coupole en matière synthétique de 80 x 80 cm, en verre acrylique (PMMA) sur un anneau en polyester stratifié, de résistance à la grêle RG 2: coût 1'000 CHF

Si l'horizon considéré est de 20 ans, la coupole en matière synthétique doit être remplacée à deux reprises. La coupole en verre coûte donc 6'000 CHF - 2'000 CHF = 4'000 CHF de plus. Compte tenu d'un taux d'intérêt de 3 %, le surcoût final K vaut (en simplifiant) 7'224 CHF.

Coupole en verre de 80 x 80 cm, en VST / VSF sur un cadre métallique, de résistance à la grêle RG 5: coût 6'000 CHF

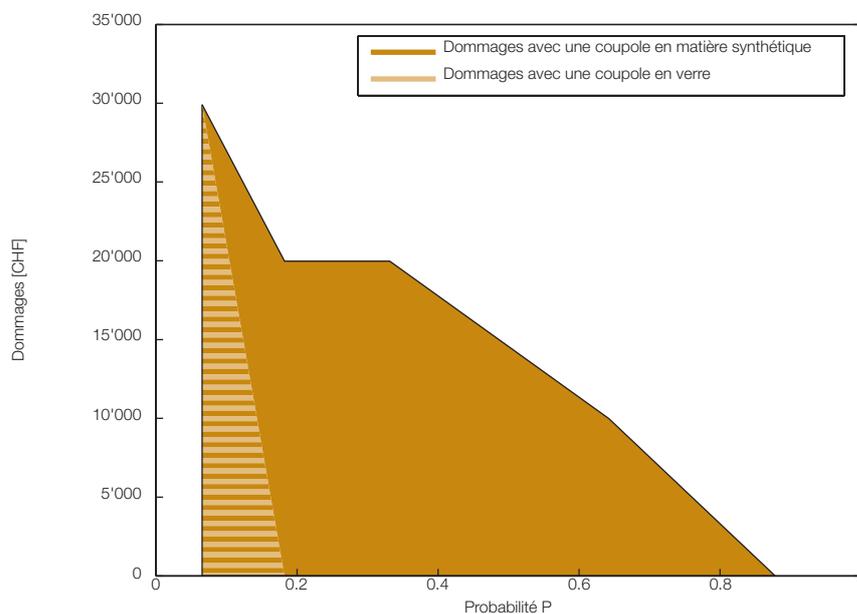
La rubrique «Produits translucides en matière plastique» de ce chapitre indique que le verre acrylique perd environ 40 % de sa résistance à la grêle en 5 ans d'exposition aux intempéries. Les coupoles de

3 Utilité

L'utilité tient compte des dégâts directs évités (coupole cassée) et des dommages indirects dus aux dégâts d'eau. Les dommages à la coupole en matière synthétique apparaissent à partir de la chute de grêle qui se produit en moyenne une fois tous les 10 ans, tandis que la coupole en verre subit sans dommage l'événement centennal. L'utilité est calculée pour un horizon de 20 ans. La probabilité qu'un événement de période de retour égale à 10 ans survienne au cours

d'un intervalle de 20 ans est de 87.8 % ($P = 0.878$), tandis qu'elle est de 18.2 % ($P = 0.182$) pour un événement centennal.

D'après la figure suivante, les dommages attendus se montent à 11'765 CHF pour la coupole en matière synthétique et à 1'762 CHF pour celle en verre (méthode décrite en annexe). L'utilité de cette dernière, égale à la différence entre les montants des dommages attendus, vaut 10'003 CHF.



Comparaison coût-utilité

Le surcoût occasionné par la coupole en verre, de 7'224 CHF, est mis en regard de son utilité, égale à 10'003 CHF. Le rapport coût / utilité vaut donc $7'224 \text{ CHF} / 10'003$

$\text{CHF} = 0.72$. L'application du produit le plus cher en verre se justifie donc en termes économiques.

1

2

3



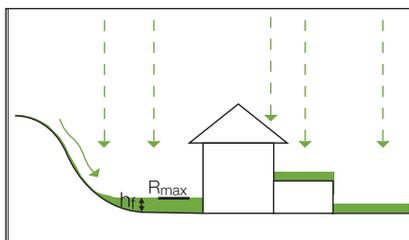
4

5

6

7

1 Notations



Q_R [l/s]: Débit d'eau pluviale
 r [l/sm²]: Intensité pluviométrique
 A [m²]: Surface réceptrice de pluie (projection horizontale)
 C [-]: Coefficient de ruissellement
 h_f [m]: Hauteur d'inondation

R_{max} [m s. m.]: Niveau maximum possible de refoulement (cote)

v [m/s]: Vitesse d'écoulement (vitesse d'inondation)

a [mm/h]: Vitesse de montée de l'eau

T_N [h]: Durée de la précipitation

V [mm]: Volume de la précipitation, par événement

T_V [h]: Délai de préalerte (intervalle entre la prise de conscience de l'inondation et son occurrence)

S_F [-]: Facteur de sécurité

3 Caractérisation

Distinction par rapport aux remontées de nappes et au débordement de cours d'eau

Ce chapitre décrit les effets des pluies intenses, qui peuvent provoquer l'inondation de terrains et l'intrusion d'eau dans des bâtiments.

Une telle inondation n'est donc due ni à la remontée d'une nappe phréatique, ni au débordement d'un cours d'eau ou d'un lac, mais à l'afflux et à l'accumulation d'eau de pluie à la surface du sol (eaux superficielles).

4

Intensité pluviométrique

Lorsqu'une précipitation intense s'abat sur un sol compacté ou gelé, la capacité d'infiltration ainsi restreinte provoque un ruissellement superficiel. Sur les routes et sur les places, la capacité d'infiltration du sol est réduite artificiellement. En Suisse, on considère l'intensité de la pluie dont la période de retour est de 5 à 10 ans pour dimensionner l'évacuation des eaux pluviales de telles places. Cela implique que les événements plus rares, générant aussi un ruissellement superficiel, risquent de surcharger le système d'évacuation des eaux.



5

6

7

Caractérisation

Durée de la précipitation

Outre l'intensité pluviométrique, la durée de la précipitation et la situation antérieure (précipitations des jours précédant l'événement) jouent un rôle important dans l'établissement d'un ruissellement superficiel. Dans le cas des sols naturels, il s'installe lorsque la couche supérieure est saturée. Cela se produit très rapidement, notamment, lorsque la couche de terre est peu épaisse ou déjà humide et

que sa capacité d'emmagasinement est donc faible. Lorsqu'elle a une épaisseur moyenne, la saturation n'est atteinte qu'après une longue durée de précipitation.



L'écoulement d'eau à partir de sols saturés peut être diffus ou former



des sources localisées.



Délai de préalerte

Le délai de préalerte est très court: les précipitations intenses ne peuvent être prévues que peu de temps à l'avance et un écoulement se forme très rapidement lorsqu'elles se produisent. **Cela implique qu'il faut prévoir uniquement des mesures permanentes pour protéger un objet contre le ruissellement superficiel.**

Durée de l'inondation

La durée de l'inondation se compte entre le moment où un site est mouillé et celui où il est à nouveau sec. Elle oscille généralement entre quelques minutes et quelques heures pour les inondations provoquées par des eaux superficielles.

Vitesse d'écoulement

Lorsqu'un terrain de forte déclivité (5-10 %) est inondé, la vitesse d'écoulement dépasse les 2 m/s (7.2 km/h). De telles vitesses apparaissent également sur les tronçons canalisés (rues). En terrain peu incliné (< 2 %), la vitesse tombe généralement sous les 2 m/s (7.2 km/h).

Niveau de refoulement / hauteur d'inondation

Le niveau de refoulement est le niveau le plus élevé que l'eau puisse atteindre dans une installation d'évacuation des eaux pluviales. On fait une distinction entre a/ le niveau de refoulement calculé selon le plan général d'évacuation des eaux (PGEE) et b/ le niveau maximum possible de refoulement. La hauteur d'inondation consécutive à de fortes précipitations correspond au niveau maximal possible de refoulement.

Vitesse de montée

La vitesse de montée décrit la rapidité avec laquelle les eaux montent lors d'une inondation.

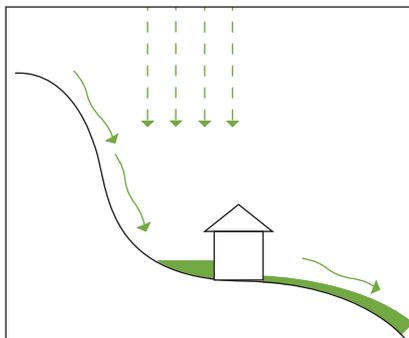
Paramètres d'intensité pour le dimensionnement

Pour procéder au dimensionnement, il faut disposer de données concernant l'**intensité pluviométrique**, les **surfaces impliquées** et leurs **coefficients de ruissellement**. L'intensité pluviométrique peut être tirée

de la norme SN 592'000. Lorsque le potentiel de dommages est élevé, il faut éventuellement majorer les objectifs de protection. La démarche est facilitée par les renseignements fournis au chapitre «Détermination des actions» (ci-après).

1 Situation de danger 1:
Construction dans une
pente

Les eaux de ruissellement coulant
vers le bien-fonds à partir de la



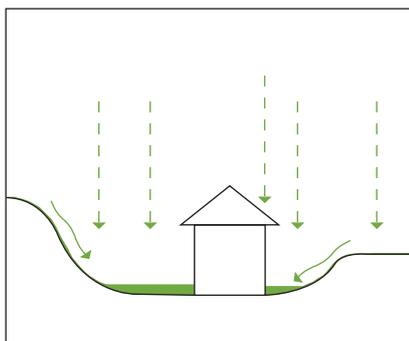
pente située en amont peuvent
s'accumuler contre le bâtiment.



2

3 Situation de danger 2:
Construction dans une
dépression

Les eaux de ruissellement
s'accumulent dans la dépression



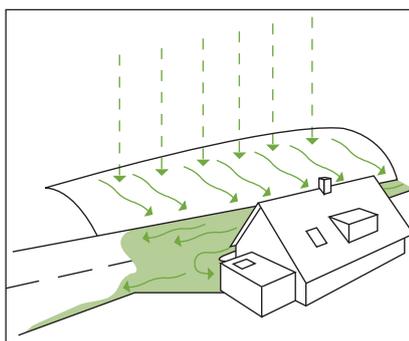
où se trouve le bien-fonds et l'eau
pénètre dans le bâtiment par ses
ouvertures.



4

5 Situation de danger 3:
Afflux d'eau de routes

Les eaux ruisselant sur les talus
adjacents et les eaux refluant de
la canalisation de la route s'accu-



mulent sur la route et atteignent
le bien-fonds en empruntant son
accès routier.



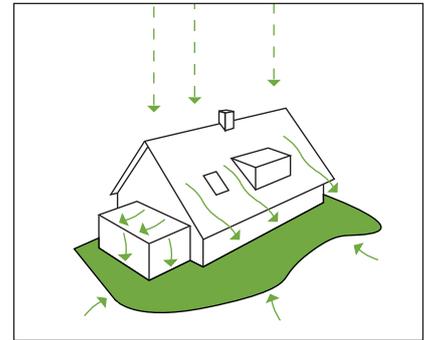
5

6

7

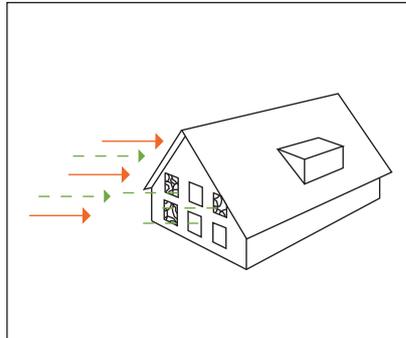
Situation de danger 4: Afflux d'eau de toitures et de places

Les installations d'évacuation des eaux provenant des toits et des places ne parviennent pas à évacuer toute l'eau qui afflue. Les toits et les places sont le siège d'un engorgement momentané, qui peut provoquer une intrusion d'eau dans le bâtiment.



Situation de danger 5: Pluie avec vent (pluie battante)

La pluie est accompagnée d'une tempête, si bien que de l'eau chassée par le vent peut pénétrer dans le bâtiment au travers des façades.



1 Calcul du débit des eaux pluviales

En vertu de la norme SN 592'000 consacrée à l'évacuation des eaux des biens-fonds, le débit des eaux pluviales Q_R se calcule comme suit:

$$Q_R = r \cdot S_F \cdot A \cdot C \quad [l/s]$$

où Q_R est le débit d'eau pluviale pour la surface A . S_F est un facteur de sécurité à choisir en fonction de la vulnérabilité du bâtiment et C est un coefficient de ruissellement sans dimension qui dépend de la nature de la surface réceptrice. Si

des surfaces partielles présentent des coefficients de ruissellement différents, le débit des eaux pluviales Q_R est déterminé pour chaque surface. Puis on cumule tous les débits

2

3 Facteur de sécurité

Le facteur de sécurité est choisi comme suit, indépendamment de l'intensité pluviométrique:

Type de bâtiment	Facteur de sécurité
Bâtiments dans lesquels une pénétration des eaux pluviales pourrait provoquer des dégâts importants. Exemples: - Halles de fabrication et de stockage - Laboratoires - Centres d'achat - ...	1.5
Bâtiments pour lesquels une mesure de protection exceptionnelle est nécessaire. Exemples: - Hôpitaux / centres médicaux - Théâtres / salles de concert - Musées ou bâtiments dans lesquels des biens culturels de valeur sont conservés - Centres informatiques ou studios de TV - Fabriques / halles de stockage de l'industrie chimique - ...	2.0

4

5

6 Intensité pluviométrique

D'après la norme SN 592'000, il faut compter, dans les conditions suisses, avec une intensité pluviométrique de $r = 0.03 \text{ l/sm}^2$. Elle doit être majorée de 25-50% selon la région. Le tableau suivant indique les intensités pluviométriques mesurées durant un laps de temps de dix minutes, pour différentes pério-

des de retour, dans certaines villes suisses (meilleure estimation sur la base du réseau de stations ANETZ de MétéoSuisse). Le tableau complet, avec les chiffres concernant les 43 stations, est fourni en annexe.

6

7

Localité	Tous les 5 ans	Tous les 10 ans	Tous les 30 ans	Tous les 50 ans	Tous les 100 ans
Zurich-(MétéoSuisse)	0.027	0.033	0.042	0.046	0.053
Berne/Zollikofen	0.023	0.027	0.034	0.037	0.041
Basel-Binningen	0.021	0.025	0.030	0.033	0.037
St-Gall	0.025	0.031	0.040	0.044	0.050
Neuchâtel	0.024	0.030	0.040	0.045	0.053
Pully	0.020	0.023	0.029	0.033	0.037
Locarno-Monti	0.034	0.040	0.051	0.057	0.065

Source: Office fédéral de météorologie et climatologie (MétéoSuisse, 2007) Ces chiffres récemment établis indiquent clairement que l'intensité pluviométrique utilisée jusqu'ici à

l'échelle de la Suisse, de 0.030 l/sm², peut être dépassée largement dans certaines régions. Aussi est-il recommandé de baser les calculs sur les valeurs figurant dans le tableau.

Coefficient de ruissellement

Le coefficient de ruissellement (ou coefficient de retardement) C tient compte de la nature de la surface réceptrice, de la diminution de débit qui en résulte et du retardement de l'écoulement. Comme ces valeurs C se rapportent exclusivement à des objets individuels, elles sont plus élevées que les coefficients de ruissellement appliqués dans le plan général d'évacuation des eaux.

Les jardins, les prés et les terrains cultivés jouent aussi un rôle essentiel dans l'écoulement des eaux pluviales. C'est pourquoi le tableau ci-dessous comprend des données concernant **les jardins, les prés, les terrains cultivés et les forêts** en sus de coefficients de ruissellement selon la norme SN 592'000. **Les aires contiguës doivent être incluses dans les calculs, selon la situation de danger considérée (cf. plus haut)!**

Surface réceptrice de pluie	C
Toits inclinés et toits plats	1.0
Places et chemins	
– avec revêtement en dur	1.0
– avec revêtement de gravier	0.6
– avec système écologique (interstices en gravillon)	0.6
– avec revêtement perméable	0.6
– avec pavés filtrants	0.2
– avec grilles-gazon	0.2
Toitures-jardins plates*	
– épaisseur de la couche végétale > 50 cm	0.1
– épaisseur de la couche végétale > 25 – 50 cm	0.2
– épaisseur de la couche végétale > 10 – 25 cm	0.4
– épaisseur de la couche végétale ≤ 10 cm	0.7
Jardins, prés et terrains cultivés	
– sol ni détrempe ni compacté	0.1 – 0.25
– sol détrempe et compacté	0.35 – 0.55
Forêt	
– sol ni détrempe, ni compacté	0.05 – 0.15
– sol détrempe et compacté	0.25 – 0.45

* valable jusqu'à une déclivité de la toiture de 15° (majorer C de 0.1 pour une déclivité supérieure)

1 Exemple d'estimation du ruissellement superficiel

La première étape consiste à déterminer le débit des eaux pluviales comme expliqué ci-dessus.

Une villa est construite à Herisau, en contrebas d'un pré en pente

Calcul:

Surface de pré alimentant le ruissellement: 1000 m², coefficient de ruissellement: 0.35

Surface en gravier: 100 m², coefficient de ruissellement: 0.6

Intensité pluviométrique: 0.050

Évaluation:

D'après ce calcul, il faut s'attendre à un ruissellement superficiel de 27 l/s sur ce terrain. Le choix de la période de retour applicable à l'intensité pluviométrique devrait être adapté au potentiel de dommages. Comme le montre l'exemple d'analyse coût-utilité présenté en fin de chapitre, le choix d'une période de retour de 100 ans, voire davantage, peut se justifier en termes économiques.

moyenne. L'afflux d'eau à partir de cette surface ainsi que du terrain bâti est estimé comme suit:

l/sm² (valeur à la station de St-Gall pour une période de retour de 100 ans)

Facteur de sécurité: 1.3

Débit des eaux pluviales: $Q_R = 0.050 \cdot 1.3 \cdot (1000 \cdot 0.35 + 100 \cdot 0.6) = 26.7$ l/s

La surface alimentant le ruissellement varie selon la nature du sol, sa déclivité et les conditions hydrologiques antérieures (précipitation antécédente, sol gelé). Le coefficient de ruissellement peut être tiré du tableau à la page 87 selon les conditions locales. Le facteur de sécurité correspondra au potentiel de dommages.

2

3

4

5

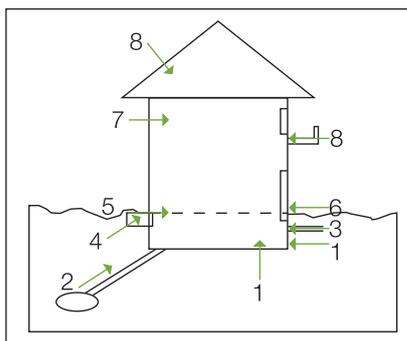
6

7

Pénétration d'eau dans un bâtiment

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

- 1) La nappe phréatique traverse les parois ou le sol 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) La nappe phréatique et les eaux superficielles s'écoulent par les soupiraux et les fenêtres de la cave
- 5) Les eaux superficielles percolent à travers les parois extérieures
- 6) Les eaux superficielles pénètrent par les ouvertures des portes et des fenêtres
- 7) Les eaux pluviales traversent la façade lors d'une pluie intense combinée avec une tempête
- 8) L'eau tombée sur le toit ou sur un balcon pénètre dans le bâtiment



L'eau peut pénétrer dans les pièces lorsqu'elle s'accumule, même brièvement, sur des toits plats ou



sur des balcons lors d'une pluie intense (photo: passage par des prises).

1 Emplacement du bâtiment

Il faut tenir compte des conditions locales déterminant les apports d'eau superficielles et leur ruissellement lorsqu'on choisit le site où le bâtiment sera construit. On évitera

surtout les emplacements où de l'eau peut s'accumuler (cuvettes, fossés).

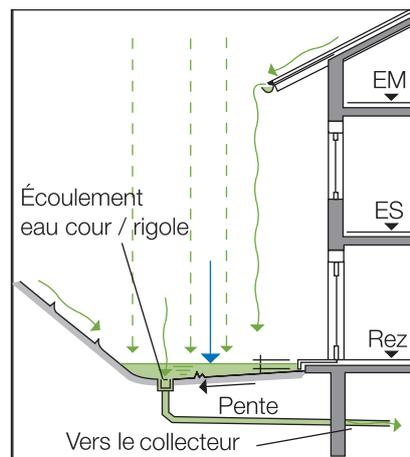
2 Aménagement du terrain

L'aménagement du terrain détermine le cheminement des eaux de ruissellement. La planification systématique des écoulements

permet d'éviter que l'eau atteigne l'enveloppe du bâtiment et y pénètre ensuite.

3 Évacuation des eaux provenant de pentes et de places

L'afflux d'eaux superficielles à partir de prés contigus doit faire l'objet d'une attention particulière lors de la conception du drainage des biens-fonds.



3

4

Afflux d'eaux superficielles à partir d'un talus raide après une précipitation de longue durée.



5

Aménagement d'une tranchée drainante équipée d'un regard au pied d'un pré en pente ascendante.



6

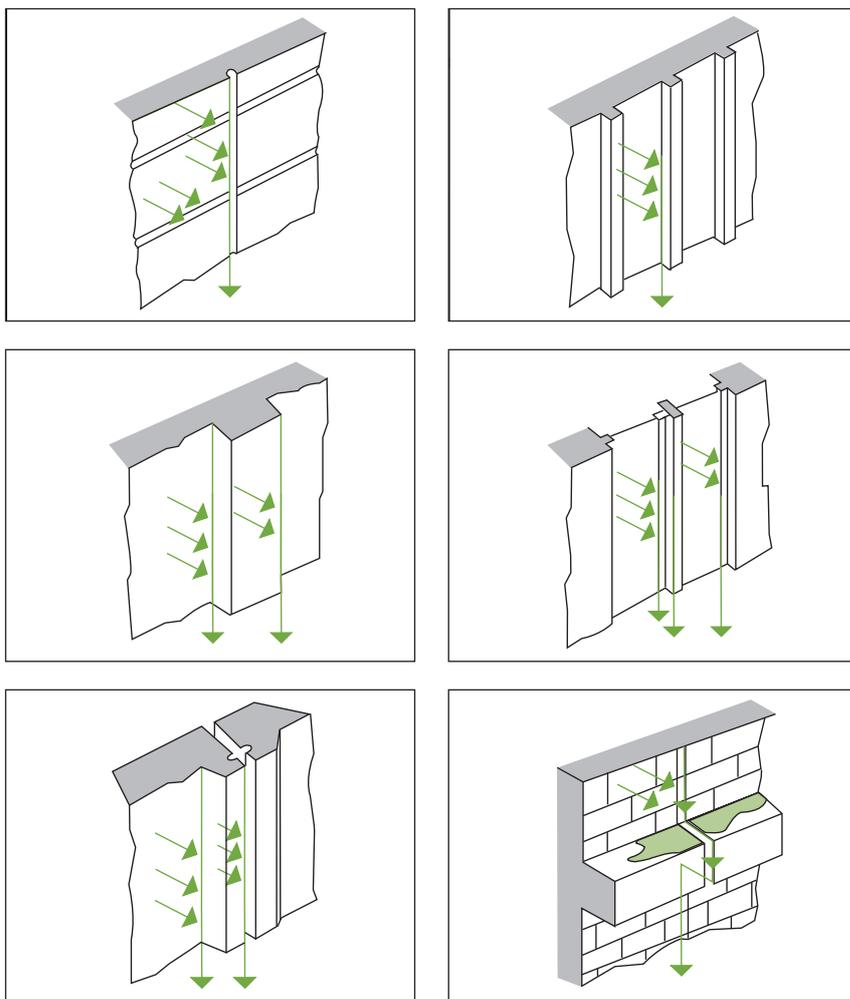
7

Orientation du bâtiment et conception des façades

L'orientation du bâtiment et la conception des façades doivent être adaptées à la direction du vent dominant (pluie intense et tempête) et à l'ensoleillement (séchage des façades). La structure et les matériaux utilisés pour les façades

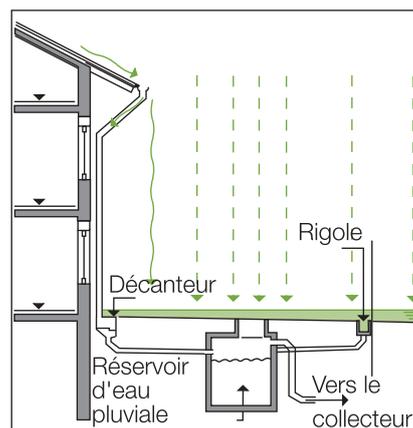
exposées déterminent leur capacité de drainage. Plus une façade sèche rapidement, plus le risque de dommages causés directement ou indirectement par l'eau (champignons, altération de la couleur, éclatements dus au gel, dissolution de calcaire, etc.) est faible.

Modes de drainage des façades:



Évacuation des eaux provenant de toits raides

Selon les normes, les systèmes d'évacuation des eaux de toitures doivent être dimensionnés en fonction de l'événement dont la période de retour est en moyenne de 5 à 10 ans. C'est pourquoi les conséquences du cas de surcharge doivent impérativement être prises en compte et intégrées dans l'aménagement des alentours (topographie, soupiraux, etc.).



1 Évacuation des eaux provenant de toits plats

Les eaux des toits plats sont évacuées conformément à la norme SIA 271 «Étanchéités pour bâtiments» (édition 2007) et à la directive «Dachentwässerung» (suissetec,

2004). Les fermetures de bord et les raccords sont exécutés conformément à la norme SIA 271 «Étanchéités pour bâtiments».



Faux:
La coupole est montée au niveau du sol.



Juste:
La coupole est montée en tenant compte du niveau d'accumulation d'eau admissible

Avant-toit

Un avant-toit, protégeant les façades et les fenêtres du bâtiment contre les intempéries, retarde leur vieillissement et les préserve de certains dommages. Tout avant-toit influence favorablement les écoulements sur la façade située au-dessous de lui. Mais il ne peut pas offrir à lui seul une protection

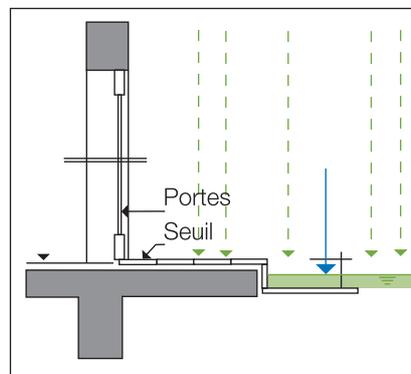
absolue contre les tempêtes et les pluies intenses. L'important est de réduire la fréquence à laquelle les façades sont mouillées. La pérennité de leur fonction dépend étroitement du temps qu'elles mettent pour sécher.

Position du rez-de-chaussée et des ouvertures

Les ouvertures du bâtiment doivent être positionnées si possible au-dessus du niveau de refoulement des eaux superficielles. On accordera une attention particulière aux

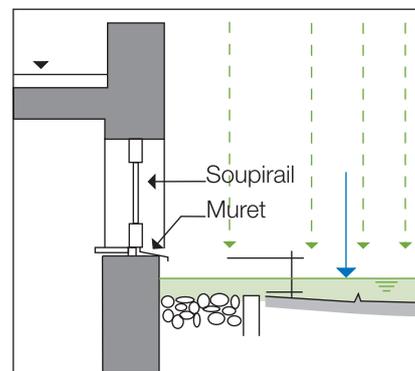
soupiraux, ouvertures de fenêtres, descentes d'escaliers extérieures, portes extérieures, conduits de ventilation et passages de conduites.

Position des portes:
Le niveau de refoulement (flèche bleue) ne doit pas atteindre le point bas de l'ouverture des portes. Le sol devrait être incliné en direction opposée au bâtiment.



Position des fenêtres:

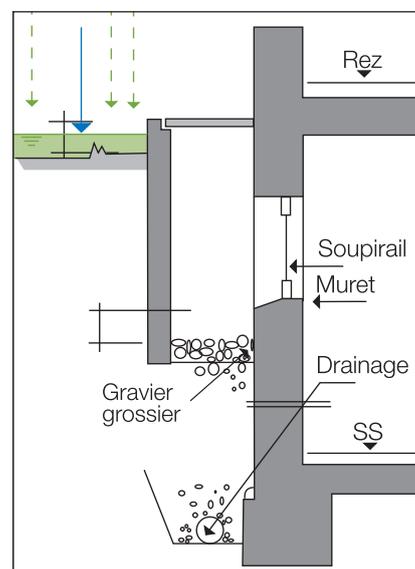
Le niveau de refoulement (flèche bleue) ne doit pas atteindre celui des soupiraux.



Position des soupiraux:

Le niveau de refoulement (flèche bleue) ne doit pas atteindre celui des soupiraux.

Si le système d'évacuation des eaux souterraines est suffisant, le soupirail peut être ouvert à sa base. Si les eaux souterraines peuvent exercer une pression sur le soupirail, il doit revêtir la forme d'un bassin fermé accolé au bâtiment et fixé de manière à résister à la poussée d'Archimède.



1 Solutions applicables aux soupiraux

2

Le bord supérieur du soupirail est plus haut que le niveau



Soupirail en position surélevée, éventuellement inséré dans l'aménagement local (banc).

3

Le bord supérieur du soupirail est plus bas que le niveau



4



5



6

7

Surélévation des ouvertures de ventilation

On oublie souvent que des eaux superficielles peuvent pénétrer dans les bâtiments en empruntant des ouvertures de ventilation. Or les citernes à mazout, les locaux de la protection civile, les

de refoulement



de refoulement

Variante A: Soupirail muni d'un couvercle étanche pouvant être vissé (état normal: vissé).

Variante B: Isolement, au moyen de murets latéraux montant jusqu'au niveau de refoulement, de l'ouverture du soupirail située à une hauteur inférieure.

Variante C: Soupirail fermé en permanence, sous la forme de briques de verre.

installations de climatisation des bâtiments, etc., doivent être ventilés. On accordera une attention particulière aux prises d'air pour les abris de protection privés qui passent dans les embrasures de fenêtres.

Surélévation de la prise d'air d'un abri.



Surélévation de la prise d'air d'un abri.



Pose de relevés autour de l'évacuation d'air de sous-sols.

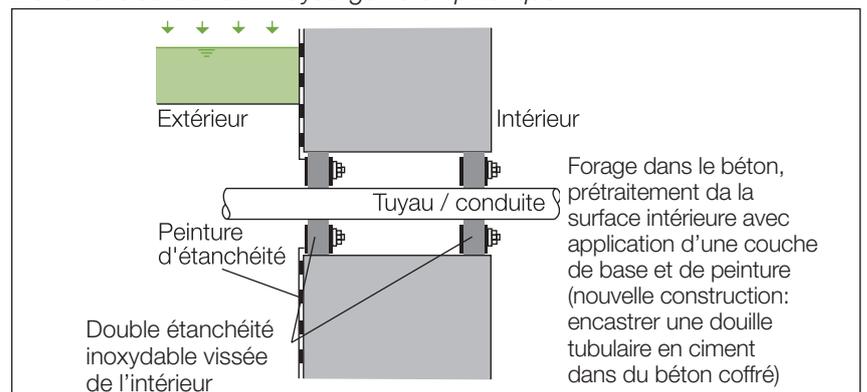


Introduction des conduites

On ne peut pas éviter de traverser l'enveloppe étanche du bâtiment. Il faut notamment faire passer des conduites d'alimentation en eau ou en gaz, des tuyaux d'évacuation des eaux, des câbles électriques, téléphoniques ou de télévision, ainsi que des tuyaux destinés à la ventilation, au chauffage et au

chauffage à distance à travers des parois ou des radiers étanches. Ces passages doivent être étanches. S'ils ont été percés ou revêtent la forme de tuyaux gainés, l'espace vide est obturé avec du matériau d'étanchéité. S'il s'agit de tuyaux à brides, le tuyau est bridé de manière à assurer l'étanchéité.

Étanchéité autour d'un tuyau gainé en plastique.



1 Protection contre le reflux, dispositif de relevage

2

3

4

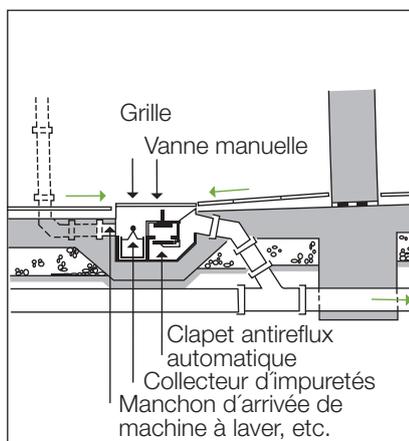
Pompe

5

6

7

Dans les canalisations, la mesure principale consiste à empêcher tout reflux. Tous les dispositifs d'évacuation et installations sanitaires situés sous le niveau de refoulement sont menacés. On peut éviter que l'intérieur d'un bâtiment soit inondé par de l'eau refluant dans le réseau de canalisations en appliquant un clapet ou une vanne ou en installant un dispositif de



relevage

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 et équipé d'un dispositif de relevage en parallèle au réseau usuel.

S'il subsiste un risque résiduel de percolation, celui-ci peut être réduit efficacement en plaçant au sous-sol une pompe immergée, éventuellement complétée par une alimentation de secours. L'eau

pompée est acheminée dans le réseau de canalisations par la conduite de refoulement de la pompe, en passant au-dessus du niveau de refoulement.

Plan de mesures pour maîtriser les eaux superficielles

L'étude de l'aménagement du terrain doit tenir compte des eaux superficielles. Le sol doit toujours être incliné en direction opposée au bâtiment. La première étape de l'analyse consiste à estimer à partir de quelles parcelles voisines et en quelles quantités de l'eau superficielle peut affluer lors de pluies intenses. L'obligation de recevoir des eaux s'écoulant en surface est stipulée dans le Code civil suisse (CC):

Art. 689 CC:

«¹Le propriétaire est tenu de recevoir sur son fonds les eaux qui s'écoulent naturellement du fonds supérieur, notamment celles de pluie, de neige ou de sources non captées.

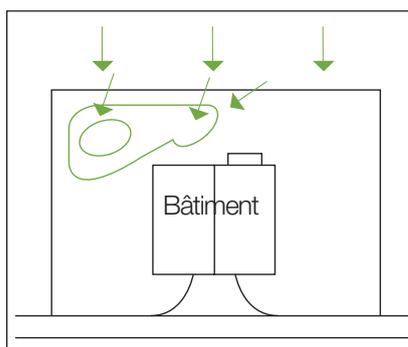
²Aucun des voisins ne peut modifier cet écoulement au détriment de l'autre.

³...»

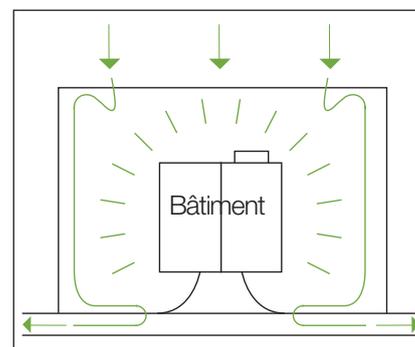
Les mesures suivantes entrent en ligne de compte:

- Rétention (cuvette de rétention)
- Infiltration (cuvette ou puits d'infiltration dans le sous-sol)
- Acheminement (rigoles traversant le terrain)
- Collecte et évacuation (rigoles et chambres collectrices ainsi que canalisations pour eau propre)
- Édification d'un écran (digue ou barrage érigé le long de la limite du terrain)

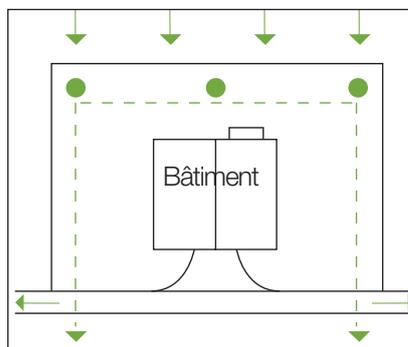
Dans la pratique, ces mesures sont très souvent combinées. Le dimensionnement des dispositifs de rétention et d'infiltration peut se référer à la Directive sur l'infiltration, la rétention et l'évacuation des eaux pluviales dans les agglomérations (VSA, 2002).



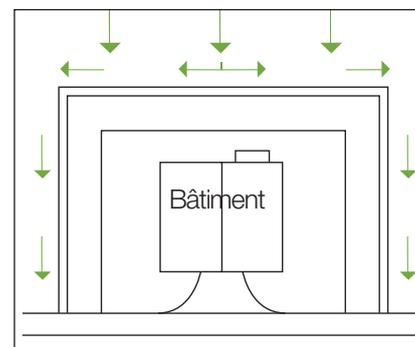
Rétention / infiltration



Acheminement



Collecte / évacuation



Écran

La deuxième étape de l'analyse consiste à déterminer la quantité d'eaux superficielles produite sur la parcelle considérée, en tenant aussi compte de l'engorgement éventuel du dispositif d'évacuation des

eaux de toiture. Puis le plan de mesures visant à maîtriser l'ensemble des eaux superficielles est élaboré dans une troisième étape. Reste à considérer le cas de surcharge de l'ensemble du système.

1 Dignes et rampes

La construction de digues en terre permet de protéger les bâtiments existants contre les eaux superficielles. Ce mode de protection représente très souvent une bonne solution sur le plan environnemental. L'eau est acheminée dans la mesure du possible le long des limites de la parcelle, tout en évitant d'accroître le danger encouru par des tiers.



Digue en terre aménagée en limite de parcelle et bien intégrée dans le paysage.

2

3



Si l'eau ne peut pas être acheminée, mais seulement retenue par la digue, elle doit être évacuée par un système de récupération pourvu de chambres collectrices.



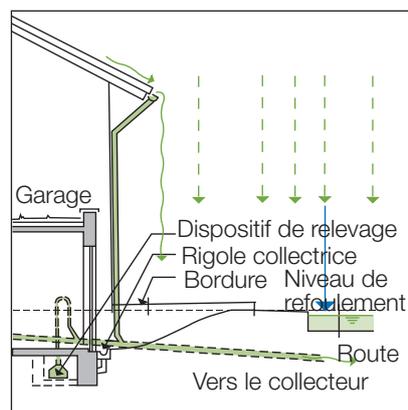
Rampe pour franchir une digue périphérique en terre.

4

5 Accès à des garages et places situés en position basse

Il est aussi très important de respecter le niveau de refoulement lorsque l'on considère l'accès à des garages et à des places situés à un niveau inférieur.

L'aménagement de rampes permet d'éviter un débordement dans leur direction. L'eau tombant au sol et celle qui déborde des toits seront évacuées le cas échéant au moyen de dispositifs de relevage.



6

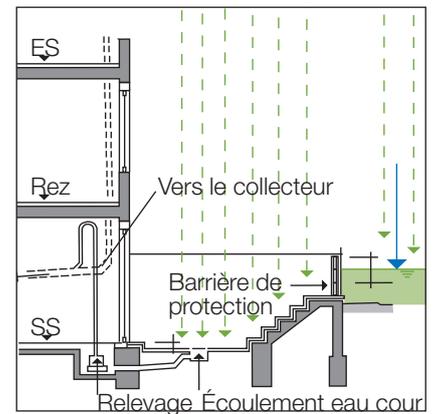


Aménagement de rampes pour accéder à un niveau inférieur.

7

Accès aux sous-sols

Si l'accès aux sous-sols emprunte un escalier extérieur, le niveau de refoulement doit être pris en compte dans les plans lorsque l'on détermine le niveau de la marche supérieure. Les sous-sols peuvent être protégés en aménageant des écrans de protection amovibles, mais seulement si le délai de pré-alerte est suffisant. En principe, on doit toujours mettre en œuvre des mesures permanentes pour protéger les objets contre les eaux superficielles.



Bordures et murs

Les bordures et les murs sont des solutions permettant de détourner les eaux superficielles lorsque la place est restreinte. Ils agissent de la même manière que les digues en terre.

Cette bordure protège le terrain contre les eaux provenant de la route.



Ce mur protège la cour vitrée située à un niveau inférieur contre l'afflux d'eaux superficielles par l'accès au bâtiment.



Cette rampe prévient l'afflux d'eau de la route par les escaliers.



Position surélevée

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 eaux superficielles (exception: accès au bâtiment en position basse).



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, à l'évacuation des eaux et à l'effet d'écran – permet de réduire efficacement le risque.

1 Combinaison de mesures

2

3

4

5

6

7

Combinaison de mesures		Mesures											
		Conception					Étanchéité		Évacuation		Écran		
Situation de danger		Emplacement du bâtiment	Aménagement du terrain	Hauteur du rez-de-chaussée	Hauteur des ouvertures	Dispositif antireflux dans les canalisations	Enveloppe du bâtiment	Ouvertures	Rigoles et chambres collectrices, drains	Rétention / infiltration	Cuvette en plein air	Position surélevée	Digue / rampe / bordure / mur
Bâtiment existant													
A	1						•	•					
B	1												•
C	1										•		
D	1									•			
E	1								•				
F	2						•	•					
G	2												•
H	3												•
I	4						•	•					
J	4								•				
K	4									•			
L	5						•	•					
Nouvelle construction													
M	1	•	•	•	•								
N	1						•	•					
O	1								•				
P	1									•			
Q	1										•		
R	1											•	
S	1												•
T	2	•		•	•	•							
U	2	•					•	•					
V	2					•						•	
W	2					•							•
X	3												•
Y	4						•	•					
Z	5						•	•					

Combinaison de mesures A «Étanchéité dans un terrain en pente»

Les ouvertures du bâtiment concernées sont verrouillées en permanence ou surélevées (souterrains) de manière à ce que les eaux superficielles ne puissent pas pénétrer.

Combinaisons de mesures B et S «Digue / mur dans un terrain en pente»

L'aménagement de petites digues, de bordures ou de murs le long de la parcelle empêche l'afflux d'eaux superficielles vers le bâtiment.

Combinaisons de mesures C et Q «Évacuation par des cuvettes en plein air»

Les eaux superficielles sont acheminées le long du bâtiment en passant par des cuvettes en plein air. Le sol doit être incliné en direction opposée au bâtiment.

Combinaisons de mesures D, P et K «Rétention / infiltration»

Les eaux superficielles sont recueillies dans des rigoles et acheminées dans le réseau d'eaux claires en passant par des chambres collectrices et des conduites.

Combinaisons de mesures E et O «Évacuation par des rigoles et des chambres collectrices»

Les eaux superficielles sont recueillies dans des rigoles et acheminées dans le réseau d'eaux claires en passant par des chambres collectrices et des conduites.

Combinaison de mesures F «Étanchéité dans une dépression»

Les ouvertures du bâtiment concernées sont verrouillées en permanence ou surélevées (souterrains) de manière à ce que les eaux superficielles ne puissent pas pénétrer. L'enveloppe du bâtiment sera rendue étanche si nécessaire.

Combinaisons de mesures G et W «Digue / mur dans une dépression»

L'aménagement de petites digues ou de murs le long de la parcelle empêche l'afflux d'eaux superficielles vers le bâtiment. Des mesures visant à étancher le sous-sol peuvent aussi s'avérer nécessaires.

Combinaisons de mesures H et X «Rampe en cas d'afflux d'eau de routes»

L'aménagement de rampes empêche les eaux superficielles s'écoulant le long des routes d'atteindre le bâtiment

- 1 Combinaisons de mesures I et Y «Étanchéité en cas d'afflux d'eau de toitures et de places»
Les ouvertures du bâtiment concernées sont verrouillées en permanence ou surélevées (souboraux) de manière à ce que les eaux superficielles ne puissent pas pénétrer.
- 2 Combinaison de mesures J «Évacuation en cas d'afflux d'eau de toitures et de places»
Les eaux superficielles sont collectées dans des rigoles et acheminées dans le réseau d'eaux claires en passant par des chambres collectrices et des conduites.
- 3 Combinaisons de mesures L et Z «Étanchéité vis-à-vis de la pluie battante»
Seuls des produits d'étanchéité avérée vis-à-vis de la pluie battante sont utilisés pour l'enveloppe du bâtiment et pour les fenêtres.
- 4 Combinaison de mesures M «Conception du bâtiment dans un terrain en pente»
Dans le cas d'une nouvelle construction, la mise en œuvre de mesures portant sur la conception (emplacement du bâtiment, aménagement du terrain, hauteur du rez-de-chaussée et des ouvertures) empêche les eaux superficielles de pénétrer dans le bâtiment.
- 5 Combinaisons de mesures N et U «Étanchéité d'une nouvelle construction»
Une enveloppe étanche et des ouvertures placées suffisamment haut protègent le bâtiment contre les eaux superficielles.
- 6 Combinaison de mesures R «Position surélevée»
La nouvelle construction est édifée en position surélevée, si bien que les eaux superficielles n'atteignent pas l'enveloppe du bâtiment.
- 7 Combinaison de mesures T «Conception du bâtiment dans une cuvette»
Dans le cas d'une nouvelle construction, la mise en œuvre de mesures portant sur la conception (emplacement du bâtiment, hauteur du rez-de-chaussée et des ouvertures, dispositif antireflux) empêche l'eau de pénétrer dans le bâtiment.
- Combinaison de mesures V «Position surélevée dans une dépression»
La nouvelle construction est édifée en position surélevée (y compris dispositif antireflux), si bien que les eaux ne peuvent pas pénétrer dans le bâtiment.

Exemple d'analyse coût-utilité

L'exemple suivant illustre l'importance des eaux superficielles, en tenant compte des dégâts qu'elles occasionnent. La méthode appliquée est exposée en détail à

l'annexe E des présentes recommandations.

Coût

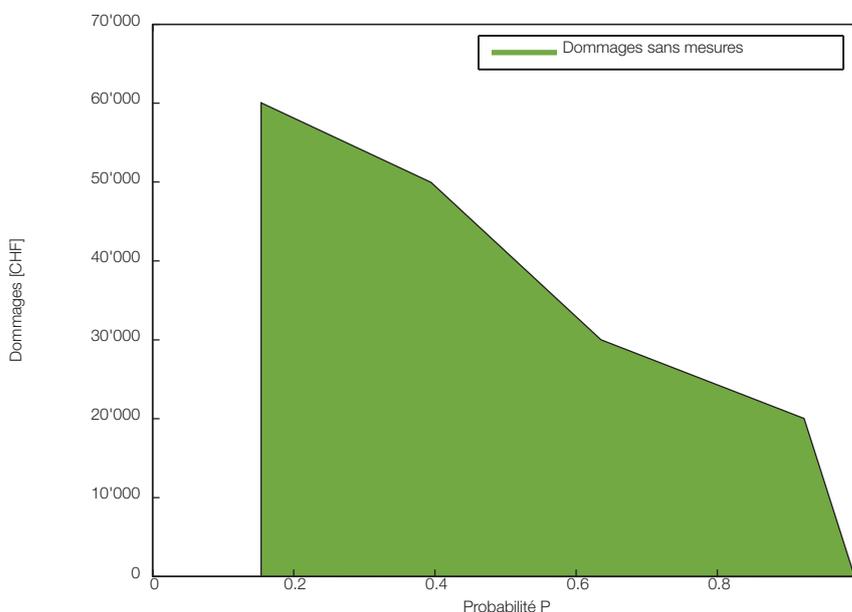
Un logement collectif est construit en contrebas d'un pré en pente moyenne. De petites digues et des chambres collectrices viennent compléter le réseau d'eaux claires pour recueillir et évacuer les eaux superficielles. Le système est dimensionné pour l'événement de période de retour égale à 300 ans.

Le coût de cet investissement est de 7'000 CHF. Pour une longévité de 50 ans, le surcoût par rapport à la variante sans mesures de protection se monte à 30'687 CHF en tenant compte des intérêts (3 %).

Utilité

L'utilité tient compte des dégâts évités (inondation des caves et de l'installation de chauffage). On admet que les premiers dommages surviennent à partir de la pluie qui se produit en moyenne une fois tous les 10 ans. L'utilité est calculée pour un horizon de 50 ans. La probabilité qu'un événement de période de retour égale à 10

ans survienne au cours d'un intervalle de 50 ans est de 99.5 % ($P = 0.995$). D'après la figure suivante, les dommages attendus se montent à 30'800 CHF pour la variante sans digue (méthode décrite en annexe). Ce chiffre correspond à l'utilité des mesures prévues, car les dommages attendus se montent à 0 CHF pour la variante avec digue.



Comparaison coût-utilité

La comparaison entre le coût et l'utilité des mesures considérées consiste à confronter le surcoût qu'elles occasionnent et leur utilité. Le rapport coût / utilité vaut ici $30'687 \text{ CHF} / 30'800 \text{ CHF} = 0.996$, ce qui signifie que les mesures de protection sont judicieuses

en termes économiques. Il faut cependant que le système d'évacuation des eaux soit dimensionné pour maîtriser un événement de période de retour égale à 300 ans. Alors seulement, l'utilité des mesures est légèrement supérieure à leur coût.

1

2

3

4



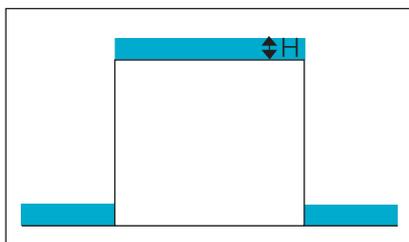
5

6

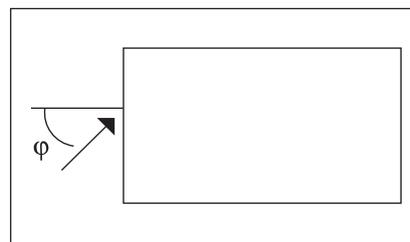
7

1 Notations

I [mm/h]: Intensité de la précipitation
 T_N [h]: Durée de la précipitation
 s_k [kN/m²]: Charge de neige caractéristique sur un terrain horizontal (selon SIA 261)
 q_k [kN/m²]: Charge de neige caractéristique sur les toits (selon SIA 261)
 $q_{k,r}$ [kN/m]: Charge linéaire pour les éléments en porte-à-faux (saillies de corniche selon SIA 261)
 H [m]: Épaisseur totale de la neige



h [m]: Épaisseur de neige par événement
 q_s [kN/m³]: Masse volumique de la neige
 VEN [mm]: Valeur en eau de la neige
 ϕ [°]: Direction du vent dans le plan horizontal
 T_v [h]: Délai de préalerte (intervalle entre la prise de conscience du danger et son occurrence)



2

3

Caractérisation

4

5

6

7

L'**intensité de la chute de neige** détermine l'augmentation d'épaisseur de la neige sur le toit. Plus cette intensité est élevée, moins il reste de temps avant de devoir débayer éventuellement la neige du toit.

La **durée de la chute de neige** détermine l'augmentation totale d'épaisseur de la neige par événement.

La **masse volumique de la neige** varie à l'intérieur du manteau neigeux. Augmentant généralement avec l'ancienneté de la neige, elle dépend de l'endroit considéré.

La **valeur en eau de la neige** correspond à la quantité d'eau contenue dans l'ensemble du manteau neigeux, qui résulte de l'accumulation des différentes chutes de neige tombées durant un hiver. La valeur en eau de la neige, exprimée en [mm], correspond à la hauteur d'eau fictive qui résulterait de la fonte de l'ensemble du manteau neigeux. Elle doit être déterminée spécifiquement pour les toits régulièrement débayerés.

Les **conditions de vent** déterminent l'homogénéité des dépôts de neige. La norme SIA 261 prévoit aussi, dans le modèle de charge 2, le cas de l'amoncellement irrégulier dû au transport par le vent. Lorsque les conditions de vent sont exceptionnelles, il faut procéder à une étude spécifique aux objets concernés.

Le nombre et la durée des **périodes d'alternance gel/dégel** concourent à déterminer l'épaisseur totale du manteau neigeux, ainsi que le degré de gel et d'humidité de la neige se trouvant sur les toits. Il faut veiller particulièrement à ce que l'eau des toitures puisse être évacuée sans entrave en période de dégel. La fonte de la neige peut se trouver accélérée lorsque la transmission de chaleur à la surface du toit est importante.

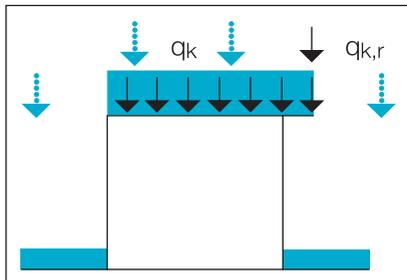
Le **délai de préalerte** revêt une grande importance lorsque la charge de neige effective approche de la charge retenue pour le dimensionnement et que de nouvelles chutes de neige sont attendues.

Paramètres d'intensité pour le dimensionnement

Pour procéder au dimensionnement, il faut disposer de données concernant la **charge de neige** et l'**exposition locale au vent**. La charge de neige peut être tirée de la norme SIA 261. L'exposition locale au vent

sera déterminée le cas échéant par un spécialiste. Lorsque le potentiel de dommages est élevé, il faut éventuellement majorer les objectifs de protection.

Situation de danger 1: Chute de neige sans vent

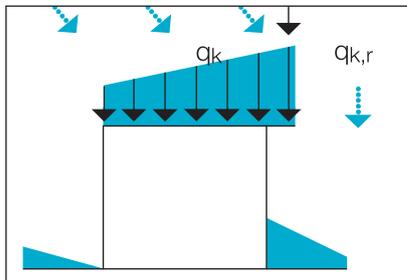


L'amoncellement de neige est régulier. Pour les toits inclinés, on applique la disposition des charges préconisée par la norme SIA 261. Si des



éléments de toiture sont en porte-à-faux, il faut considérer une saillie de corniche comme une charge linéaire au sens de la norme SIA 261.

Situation de danger 2: Chute de neige avec vent

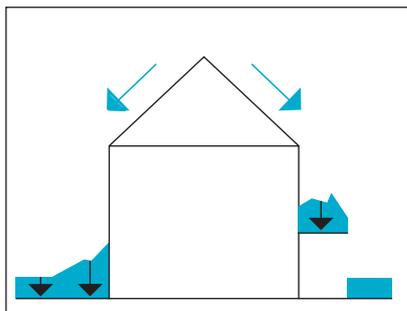


L'amoncellement de la neige est irrégulier. La disposition des charges déterminante est établie en appliquant le modèle de charge 2 selon la norme SIA 261. Si des éléments de toiture sont en porte-à-faux, il faut



considérer une saillie de corniche comme une charge linéaire au sens de la norme SIA 261. Les conditions de vent exceptionnelles requièrent des études spécifiques aux objets concernés.

Situation de danger 3: Glissement de neige

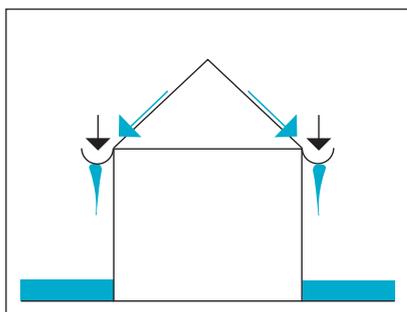


Cette situation de danger se présente lorsque le toit est raide (en règle générale: inclinaison $> 25^\circ$) et dans le cas des constructions gonflables sur lesquelles la neige peut glisser sans entrave. On accordera



une attention particulière aux charges élevées occasionnées par la neige qui a glissé sur les toitures situées en contrebas et au pied des constructions gonflables.

Situation de danger 4: Charge de glace



Des alternances gel/dégel défavorables soumettent les toits inclinés à des charges importantes dans le secteur des gouttières. Ces charges exercent des contraintes sur les gouttières et causent des dommages aux personnes et aux biens lorsqu'elles tombent.

1 Charge de neige

La grandeur et la forme de la charge de neige sont influencées par le climat, la topographie, le site et la forme de l'ouvrage, ainsi que par l'action du vent, les caractéristiques de la toiture et les échanges de chaleur à la surface du toit. La valeur caractéristique de la charge de neige sur les toits q_k sera déterminée conformément au **chapitre 5 «Neige» de la norme SIA 261**.

La norme SIA 261 n'est applicable ni aux ouvrages situés à une altitude supérieure à 2000 m, ni à ceux qui sont soumis à des conditions de neige et de vent exceptionnelles. Dans de tels cas, il faut procéder à une étude spécifique aux objets, portant sur l'épaisseur et les conditions de dépôt du manteau neigeux, pour déterminer la charge de neige.

2

3 Poids volumique des différents types de neige

Les valeurs indicatives de la charge volumique moyenne de la neige sur un terrain horizontal selon la norme SIA 261 et leurs dispersions sont:

Type de neige	Valeur indicative [kN/m ³]	Dispersion [kN/m ³]
Neige fraîche	1.0	0.5 - 2.5
Neige tassée (quelques heures à quelques jours après sa chute)	2.0	1.0 - 3.0
Ancienne neige (quelques semaines à quelques mois après sa chute)	3.5	2.0 - 5.0
Neige mouillée	4.0	2.0 - 7.0

4

5 Charge de neige sur un terrain horizontal en fonction de la hauteur de neige

La valeur caractéristique de la charge de neige sur un terrain horizontal vaut, selon la norme SIA 261:

$$s_k = \left[1 + \left(\frac{h_0}{350} \right)^2 \right] * 0.4 \geq 0.9 \text{ kN/m}^2$$

L'altitude de référence h_0 (en m) peut être déterminée selon l'annexe D. L'altitude corrigée déterminante découle de l'altitude du site et d'un facteur correctif tenant compte du climat régional.

Le tableau suivant indique la charge de neige sur un terrain horizontal s_k , à l'altitude de référence h_0 , pour différentes masses volumiques et hauteurs de neige.

5

6

7

Type de neige		Neige fraîche	Neige tassée	Ancienne neige	Neige mouillée
Valeur indicative de la charge volumique		1.0 kN/m ³	2.0 kN/m ³	3.5 kN/m ³	4.0 kN/m ³
Altitude déterminante corrigée en [m]	Charge de neige en [kN/m ²]	Hauteur de neige en [m]			
400	0.92	0.92	0.46	0.26	0.23
500	1.22	1.22	0.61	0.35	0.30
600	1.58	1.58	0.79	0.45	0.39
700	2.00	2.00	1.00	0.57	0.50
800	2.49	2.49	1.24	0.71	0.62
900	3.04	3.04	1.52	0.87	0.76
1000	3.67	3.67	1.83	1.05	0.92
1100	4.35		2.18	1.24	1.09
1200	5.10		2.55	1.46	1.28
1300	5.92		2.96	1.69	1.48
1400	6.80		3.40	1.94	1.70
1500	7.75		3.87	2.21	1.94
1600	8.76			2.50	2.19
1700	9.84			2.81	2.46
1800	10.98			3.14	2.74
1900	12.19			3.48	3.05
2000	13.46			3.85	3.37

En rouge: domaine de valeurs irréalistes.

Dimensionnement des dispositifs antiglisement de neige

Les grilles et autres arrête-neige sont dimensionnés selon les instructions de leur constructeur.

Des indications relatives à de telles directives figurent en annexe.

1 Rupture de la structure
porteuse

La plupart des sinistres survenus récemment sont dus à des fautes affectant le dimensionnement et

les dispositions constructives de la structure porteuse.



Exemples d'effondrements de toits de halles reposant sur des poutres en bois et en acier.

3 Glissement de neige

Lorsque les dispositifs prévenant le glissement de la neige sur les toits manquent ou sont endommagés, les personnes se trouvant en plein

air sont menacées, tandis que les éléments de toiture en saillie et les parties de bâtiments situées en contrebas sont endommagés.



Exemple d'avant-toit cassé par de la neige ayant glissé du toit.

Exemple d'élément en saillie (caisson de store) endommagé sous l'action d'un glissement de neige.



Exemple de toit intermédiaire endommagé par de la neige ayant glissé du toit principal.

Emplacement du bâtiment

L'emplacement d'un bâtiment détermine notamment son exposition au vent. Ce point est important, car la répartition de la neige sur le toit est influencée par les conditions aérologiques. Il faut tenir compte

des conditions de vent locales et, si nécessaire, les étudier spécifiquement pour l'objet concerné. L'emplacement du bâtiment détermine également la fréquence des alternances gel/dégel.

Altitude

La charge de neige est tributaire de l'altitude. La correction de l'altitude de référence selon l'annexe D de

la norme SIA 261 tient compte du climat régional.

Forme du toit

Les coefficients de forme de toiture selon la norme SIA 261 sont déterminants pour les toits exposés à des conditions de vent normales. Une étude spécifique au site est nécessaire pour les constructions situées dans des endroits soumis

à des conditions de vent extraordinaires. Les expériences tirées jusqu'ici révèlent qu'il faut faire preuve de prudence vis-à-vis des toitures étendues revêtant un petit coefficient de forme (p. ex. toits plats).

Orientation du bâtiment

L'orientation du bâtiment détermine le dépôt de la neige en cas de vent. Lorsque la toiture a deux pans, une orientation des pignons parallèle à la direction du vent dominant est

favorable. Lorsque la toiture a un seul pan, il vaut mieux que le côté gouttière – le plus bas – soit exposé au vent dominant et disposé perpendiculairement à sa direction.

Transmission de chaleur à la surface du toit

La fonte de la neige sur les toits est accélérée lorsque la transmission de chaleur à leur surface est importante. D'après la norme SIA 261, ce processus peut être pris en compte à l'aide d'un coefficient thermique. L'influence d'une dé-

faillance des installations techniques sur la transmission de chaleur admise devra être examinée au préalable, par exemple dans le cas de toitures vitrées recouvrant des locaux chauffés.

1 Structure porteuse / fondation

La valeur caractéristique de la charge de neige sur le toit est déterminée selon la norme SIA 261. Cette charge doit être transmise dans les

fondations en passant par l'enveloppe et la structure porteuse. Leur réalisation constructive fera l'objet d'une attention particulière.

2 Gouttière

Dans les régions soumises à des alternances gel-dégel fréquentes, il faut éventuellement renforcer les gouttières, qui doivent supporter des charges de glace importantes. Mais il est recommandé de

déblayer la neige à temps pour éviter toute atteinte aux personnes ou aux biens due à une chute de glace. Une autre solution consiste à chauffer les gouttières électriquement.

3

4

5

6

7

Dispositifs antiglissement de neige

Les grilles à neige, les poutres transversales et les crochets arrête-neige entrent en ligne de compte comme dispositifs de protection contre le glissement de la neige.



Exemple de crochets arrête-neige.

Les fournisseurs indiquent comment les dimensionner de manière appropriée. Ces mesures sont généralement recommandées sur les toits d'inclinaison supérieure à 25°.



Exemple de grille à neige.

Mesures d'urgence

Les mesures à prendre d'urgence en cas de chute de neige susceptible d'atteindre l'épaisseur prise en compte pour le dimensionnement s'articulent comme suit:

1. Détermination de la charge de neige admissible pour la structure porteuse existante (par une étude du dossier de construction ou une évaluation statique)
2. Mesure ou estimation de la charge de neige momentanée
3. Comparaison entre la charge retenue pour le dimensionnement et la charge momentanée
4. Recherche de prévisions concernant les prochaines chutes de neige (www.météosuisse.ch, www.slf.ch)
5. Si nécessaire: faire déblayer la neige / ôter la glace par un personnel formé
6. Si nécessaire: faire évacuer les locaux concernés du bâtiment

1 Combinaison 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 combi-

naison des mesures exposées – qui ont trait à la conception, au renforcement et à la stabilisation – permet de réduire efficacement le risque.

		Mesures							
		Conception					Transmission des charges / renforcement		Stabilisation
Combinaison de mesures	Situation de danger	Emplacement du bâtiment / exposition générale	Altitude	Forme du toit	Orientation du bâtiment (microclimat / alentours)	Transmission de chaleur à la surface du toit	Structure porteuse / fondations	Gouttière	Dispositif antiglisement
		Bâtiment existant							
A	1						•		
B	2	•					•		
C	3								•
D	4							•	
Nouvelle construction									
E	1	•	•	•		•	•		
F	2	•	•	•	•	•	•		
G	3								•
H	4							•	

2

3

4

5

6

7

Combinaison de mesures A «Renforcement pour une charge de neige sans vent»

L'enveloppe et la structure porteuse du bâtiment sont renforcées dans le cadre d'une transformation.

Combinaison de mesures B «Renforcement pour une charge de neige avec vent»

L'enveloppe et la structure porteuse du bâtiment sont renforcées dans le cadre d'une transformation. L'exposition locale au vent est prise en compte dans le dimensionnement.

Combinaisons de mesures C et G «Protection contre le glissement de neige»

Des dispositifs empêchant la neige de glisser sont prévus lorsque l'inclinaison du toit est supérieure à 25°.

Combinaisons de mesures D et H «Protection contre les charges de glace»

Des mesures de renforcement sont prévues dans le secteur des gouttières lorsque le bâtiment est situé dans un endroit soumis à d'importantes chutes de neige et à des alternances gel-dégel fréquentes.

Combinaisons de mesures E et F «Conception d'une nouvelle construction»

Lorsqu'une nouvelle construction est projetée, les plans tiennent compte des critères relevant de la conception (emplacement, altitude, forme du toit, orientation, transmission de chaleur à la surface du toit). L'enveloppe et la structure porteuse sont dimensionnées en respectant les exigences avec action du vent.

1 Exemple d'analyse coût-utilité

L'exemple suivant illustre l'importance de la protection contre le glissement de neige, en tenant compte des dégâts qu'il provoque. La méthode appliquée est exposée

en détail à l'annexe E des présentes recommandations.

2 Coût

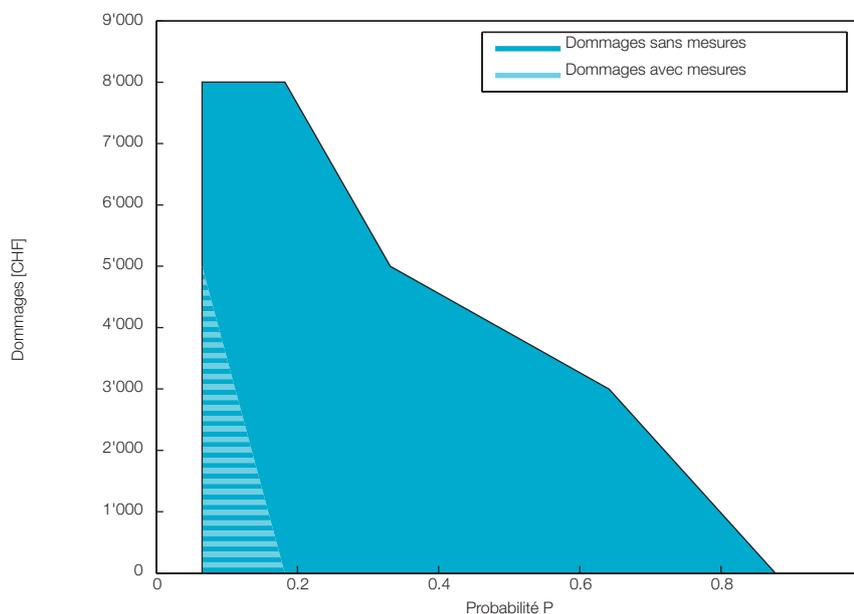
Une nouvelle villa, dont la toiture a une surface de 200 m² et une inclinaison de 36°, est construite à une altitude de 800 m. Les dispositifs destinés à prévenir la formation d'avalanches sur le toit coûtent 2500 CHF montage compris.

Le surcoût se monte à K = 4'515 CHF par rapport à la variante sans dispositif antiglissement, en tenant compte d'un taux d'intérêt de 3 % et d'une longévité de 20 ans

3 Utilité

L'utilité tient compte des dégâts directs évités (bris de l'avant-toit en verre). On admet que des dommages apparaissent à partir de l'événement qui se produit en moyenne une fois tous les 10 ans si aucun dispositif antiglissement n'est monté. Dans le cas contraire, ils apparaissent à partir de l'événement centennal. L'utilité est calculée pour un horizon de 20 ans.

La probabilité qu'un événement de période de retour égale à 10 ans survienne au cours d'un intervalle de 20 ans est de 87.8 % ($P = 0.878$), tandis qu'elle est de 18.2 % ($P = 0.182$) pour un événement centennal. Le montant des dommages est tiré du graphique suivant. D'après la méthode exposée à l'annexe E, l'utilité calculée est de 3'215 CHF.



4 Comparaison coût-utilité

Le surcoût, de 4'515 CHF, est légèrement supérieur à l'utilité des mesures de protection, de 3'215 CHF. Compte tenu du risque pour les personnes qu'elles permettent de juguler (responsa-

bilité du propriétaire!) et d'autres dégâts pouvant affecter la toiture et les gouttières, qui ne sont pas considérés dans ce calcul, il serait judicieux d'appliquer les dispositifs de protection.

1

2

3

4

5



6

7

1

Le contrôle de la toiture, des façades et du système d'évacua-

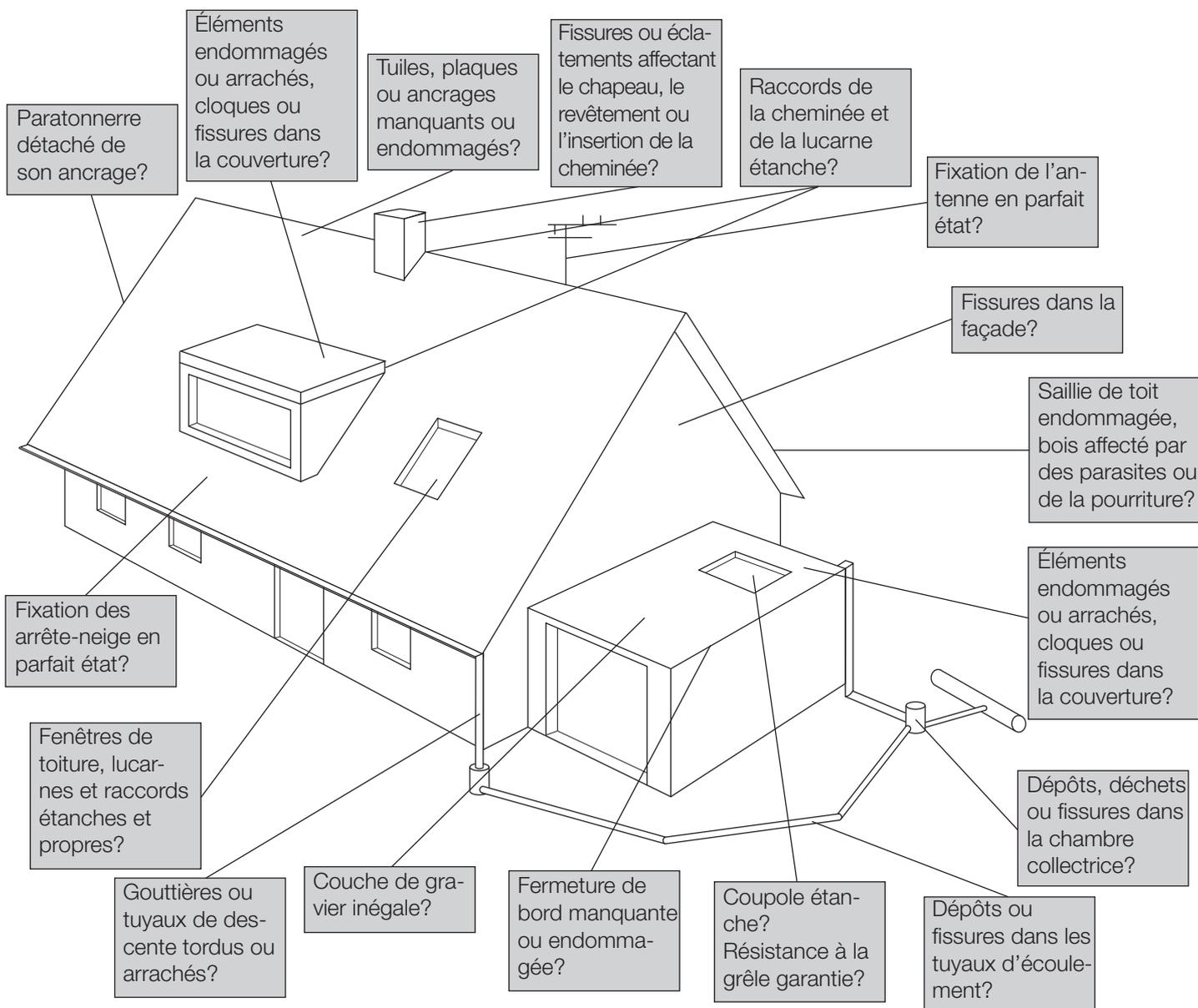
tion des eaux peut se référer à la check-list suivante:

2

3

4

5



6

Contrôle des fenêtres (dangers générés par le vent et la pluie)

7

- Contrôle des étanchéités dans les feuillures des verres et des fenêtres, et contre le gros œuvre. Le mastic doit être repeint régulièrement. On examinera si les joints mastiqués au moyen de matériaux durablement élastiques se fissurent ou se décollent sur les bords. Il y a lieu de contrôler si les joints profilés s'emboîtent comme il convient.
- Contrôle des renvois d'eau. On éliminera les dépôts de poussière. Il y a lieu de contrôler et de nettoyer les orifices d'évacuation de l'eau.
- Contrôle de l'assemblage des battants et du cadre.
- Contrôle général des peintures protectrices, des couches anodisées et des autres traitements de surface.
- Contrôle du raccordement latéral des banquettes de fenêtres, en particulier de l'étanchéité des relevés simplement posés, et du bon fonctionnement des joints en mastic.
- Contrôle du raccordement des cadres de fenêtres à la façade contiguë, en particulier de l'état des joints en mastic.

Contrôle des surfaces étendues de bardeaux revêtant des constructions en bois

Le retrait des constructions en bois, telles que pannes ou voligeages, provoque un relâchement des vis, si bien que la distance entre le bois et les têtes de vis augmente. Les plaques de la toiture commencent à battre sous l'effet des vents forts, d'où un accroissement du

risque d'être traversées par les têtes de vis. Pour que les toitures ne subissent aucun dommage, toutes les vis insérées dans les constructions en bois doivent être resserrées par le fabricant une année après la pose des plaques.

Contrôle du système d'évacuation des eaux

Le contrôle et le nettoyage du système d'évacuation des eaux pluviales (y compris les tranchées drainantes) permettent de garantir son bon fonctionnement en cas de pluie.

Les dysfonctionnements peuvent notamment être causés par la pré-

sence de racines dans les tuyaux, la corrosion, la formation de fissures, des raccordements latéraux inappropriés, le manque d'étanchéité des raccords, le déplacement de tuyaux, des déformations ou une irruption d'eau.



Nettoyage sous haute pression d'un dispositif d'évacuation des eaux obstrué.



Le contrôle et le nettoyage périodiques des gouttières permettent d'éviter que les tuyaux de descente ne soient obstrués par des feuilles et des branches.



Les dispositifs d'évacuation des eaux des toits plats doivent impérativement être contrôlés pour éviter tout risque de reflux.

1 Contrôle et entretien périodiques des toits plats

Les toits plats, exposés aux intempéries, sont soumis à des sollicitations et à un vieillissement mécaniques. Ils ne peuvent pas remplir indéfiniment leur fonction de protection et d'étanchéité. Si l'on veut qu'un toit plat joue son rôle protecteur durant une longue période, il faut procéder réguliè-

ment à des travaux de contrôle, de maintenance et d'entretien et mandater un spécialiste pour remédier aux défauts. Certaines entreprises spécialisées proposent des contrats de maintenance. Les contrôles annuels doivent porter au minimum sur les points suivants:

2

Contrôle	Évaluation / mesures	Opérateur
Surface du toit		
La couche de protection, par exemple de sable ou de gravier, peut être emportée par le vent.	Répartir soigneusement le sable ou le gravier en couche d'épaisseur uniforme, sans endommager l'étanchéité.	Concierge / propriétaire
La couche de protection est-elle répartie inégalement ou partiellement entamée? (Les matériaux la composant doivent avoir une épaisseur de 50 mm au moins)	Faire compléter la couche de protection.	Entreprise spécialisée
Y a-t-il de la mousse sur le toit?	Ôter soigneusement la mousse.	Concierge / propriétaire
Des plantes poussent-elles sur le toit?	Ôter l'herbe, la mauvaise herbe et les arbustes. Contrôler l'étanchéité et la réparer si nécessaire.	Entreprise spécialisée
Y a-t-il des objets sur le toit?	Ôter les objets étrangers.	Concierge / propriétaire
Constate-t-on la présence de matériaux détendus, de cavités, de bourrelets ou de cloques?	Étudier les causes et faire réparer.	Entreprise spécialisée
Raccords et fermetures de bord		
Des éléments de tôle sont-ils attaqués par la corrosion (rouille)?	Dérouiller les éléments de tôle touchés ou les faire remplacer.	Entreprise spécialisée
Des joints en mastic sont-ils cassants ou des joints de bord se sont-ils détachés?	Donner mandat de compléter ou remplacer les joints en mastic.	Entreprise spécialisée
Des éléments en élévation, tels que cheminées, parapets, monte-charges ou ascenseurs extérieurs, etc., présentent-ils des fissures?	Confier les réparations à une entreprise spécialisée en façades.	Entreprise spécialisée
Évacuation des eaux		
Des gouttières sont-elles sales?	Ôter soigneusement les dépôts de feuilles et de saletés.	Concierge / propriétaire
Des écoulements servant à évacuer les eaux pluviales de la toiture ou des trop-plein de sécurité sont-ils obstrués?	Ôter soigneusement les saletés. En cas de dépôt de calcaire, faire procéder à un nettoyage spécial.	Concierge / propriétaire Entreprise spécialisée

3

4

5

6

7

Contrôle et réfection

Les normes SIA suivantes régissent le contrôle et la réfection des constructions:
Norme SIA 462: Évaluation de la sécurité structurale des ouvrages existants
Norme SIA 469: Conservation des ouvrages

Échelle des dommages occasionnés par les tempêtes

Description détaillée selon les échelles Fujita et Torro, adaptées à l'Europe centrale (Dotzer et al., 2000) [trad.]. Cette échelle permet

d'estimer par le détail les dommages occasionnés par les tempêtes. Les vitesses de vent indiquées se réfèrent à des rafales.

km/h	m/s	Degré	Effets
76 ± 14	17 – 25	T0	Taux de dommages: $T_{\text{léger}} = 0.05 \%$, $T_{\text{massif}} = 0.01 \%$ Les objets légers sont soulevés du sol. Les menus branchages sont cassés. Un sillon est visible dans les céréales sur pied. Des échafaudages peuvent s'effondrer. Les stores extérieurs et les tentes subissent de légers dommages. Des tuiles peuvent se relâcher aux endroits exposés. Les structures porteuses des bâtiments ne subissent aucun dommage.
104 ± 14	25 – 33	T1	Taux de dommages: $T_{\text{léger}} = 0.10 \%$, $T_{\text{massif}} = 0.05 \%$ Les meubles de jardin et les objets légers sont renversés; ils peuvent être emportés par des tourbillons. Les clôtures en bois sont abattues. Des arbres sont brisés. Les tuiles et les tôles subissent des dommages légers. Les constructions légères subissent des dommages faibles, mais pas de dommages structurels.
135 ± 16	33 – 42	T2	Taux de dommages: $T_{\text{léger}} = 0.25 \%$, $T_{\text{massif}} = 0.10 \%$ Des objets lourds sont aussi soulevés du sol; ils sont susceptibles de devenir des projectiles dangereux. Les véhicules et les remorques peuvent être renversés. Les toits de tuiles et les toits plats non fixés sont partiellement découverts. Les constructions légères subissent des dommages d'ampleur faible à moyenne; les éléments structuraux des constructions massives peuvent subir de premiers dommages. Quelques grosses branches sont vrillées ou brisées, les petits arbres sont déracinés.
167 ± 16	42 – 51	T3	Taux de dommages: $T_{\text{léger}} = 0.80 \%$, $T_{\text{massif}} = 0.25 \%$ Quelques gros arbres sont déracinés. De nombreux véhicules et remorques sont renversés. Les toits de tuiles et les toits plats non fixés sont gravement endommagés. Les constructions légères subissent des dommages d'ampleur moyenne; les éléments structuraux des constructions massives subissent quelques dommages. Les voitures en circulation sont déportées hors de la route.
202 ± 18	51 – 61	T4	Taux de dommages: $T_{\text{léger}} = 3 \%$, $T_{\text{massif}} = 0.80 \%$ De nombreux arbres isolés et en forêt sont déracinés ou cassés. Les véhicules et les remorques sont gravement endommagés. Les débris emportés par le vent présentent un danger élevé et causent des dommages importants. Des toits entiers sont découverts. Les constructions légères subissent des dommages importants; les éléments structuraux des constructions massives subissent des dommages accrus. Des murs pignons peuvent s'effondrer.
238 ± 18	61 – 71	T5	Taux de dommages: $T_{\text{léger}} = 10 \%$, $T_{\text{massif}} = 3 \%$ Les toits et les annexes sont gravement endommagés. Les constructions légères subissent des dommages importants; les éléments structuraux des constructions massives subissent des dommages encore accrus. Quelques bâtiments, principalement des constructions et des hangars agricoles, s'effondrent complètement. Les véhicules à moteur sont soulevés.
275 ± 20	71 – 82	T6	Taux de dommages: $T_{\text{léger}} = 30 \%$, $T_{\text{massif}} = 10 \%$ La plupart des constructions légères sont détruites; les éléments structuraux des constructions massives subissent des dommages importants. Quelques bâtiments s'effondrent. Les véhicules lourds à moteur sont soulevés.

km/h	m/s	Degré	Effets
315 ± 20	82 – 93	T7	Taux de dommages: $T_{\text{léger}} = 90 \%$, $T_{\text{massif}} = 30 \%$ Les constructions légères sont complètement détruites sur une grande échelle; les constructions massives subissent des dommages importants. De nombreux bâtiments s'effondrent. Les arbres encore debout sont sensiblement écorcés par les projections d'objets divers.
356 ± 22	93 – 105	T8	Taux de dommages: $T_{\text{léger}} = 100 \%$, $T_{\text{massif}} = 60 \%$ Les constructions massives subissent des dommages importants. Les bâtiments s'effondrent sur une grande échelle; leur contenu est dispersé à grande distance. Les véhicules à moteur sont projetés à grande distance.
400 ± 22	105 – 117	T9	Taux de dommages: $T_{\text{léger}} = 100 \%$, $T_{\text{massif}} = 80 \%$ La plupart des constructions massives subissent un dommage total. Les locomotives et les wagons sont projetés à distance. Les troncs d'arbres restants sont totalement écorcés.
445 ± 23	117 – 130	T10	Taux de dommages: $T_{\text{léger}} = 100 \%$, $T_{\text{massif}} = 90 \%$ La plupart des constructions massives subissent un dommage total.
491 ± 23	130 – 143	T11	Taux de dommages: $T_{\text{léger}} = 100 \%$, $T_{\text{massif}} = 95 \%$ La plupart des constructions massives subissent un dommage total. Les dommages dépassent l'imagination.

Assujettissement sur les toits plats contre la succion due au vent (selon Massong, 1998)

Les directives relatives aux toits plats prévoient trois procédés pour assujettir leur étanchéité contre la succion due au vent:

- Collage
- Surcharge
- Fixation mécanique

Assujettissement par collage

L'assujettissement sur les toits plats

par collage ne peut pas être calculé sans autre. Les directives relatives aux toits plats contiennent des valeurs indicatives concernant le collage des étanchéités de toitures.

Les valeurs figurant dans le tableau suivant se basent sur l'expérience artisanale. Elles requièrent un montage approprié et des matériaux de qualité adéquate.

Collage de l'étanchéité des toitures contre la succion due au vent, pour les bâtiments fermés de hauteur jusqu'à 20 m (selon les directives relatives aux toits plats)

	Sans surcharge		Avec surcharge	
	Collage à chaud	Colle à froid (adhésif)	Collage à chaud	Colle à froid (adhésif)
Secteurs normaux	10% de la surface	2 bandes/m ²	-	-
Secteurs de bordure	20% de la surface	3 bandes/m ²	10% d. de la surface	2 bandes/m ²
Secteurs d'angle	40% de la surface	4 bandes/m ²	20% d. de la surface	3 bandes/m ²

Assujettissement par surcharge

La surcharge peut notamment revêtir la forme de:

- Gravier (granulométrie 16/32), en couche de 5 cm au minimum
- Plaques (dalles de terrasse, en béton, en céramique, en pierre naturelle, etc.) posées sur du gravier, du gravillon ou des appuis
- Plaques en béton coulé sur place
- Végétation, dont l'aptitude doit être vérifiée

Pour vérifier la direction de la suc-

cion due au vent, on ramène les valeurs de calcul des poids propres selon la norme DIN 1055-1 à 80 % des valeurs figurant dans les tableaux ou on procède aux calculs en utilisant les valeurs exactes fournies par le fabricant. Pour une couche de protection de densité $\rho_{s,tab}$ selon les tableaux, on applique une densité $\rho_{s,R}$ déterminée au moyen de la formule suivante:

$$\rho_{s,R} = 0.8 \cdot \rho_{s,tab}$$

On procédera de manière analogue pour d'autres densités et charges (valeur de calcul = $0.8 \cdot$ valeur selon tableaux).

La hauteur s requise pour une couche de protection faisant office de surcharge est déterminée comme suit, en faisant intervenir la valeur de calcul de la densité de cette couche $\rho_{s,R}$ en $[\text{kN/m}^3]$ et la grandeur de la succion due au vent $|w_s|$ en $[\text{kN/m}^2]$, multipliée par 1.5:

$$s = \frac{1.5 |w_s|}{\rho_{s,R}} \quad [\text{m}]$$

avec:

$|w_s|$: grandeur de la succion due au vent (p. ex. $|-1.6| = 1.6$).

Assujettissement par fixation mécanique

La fixation mécanique recourt aux procédés suivants:

- Clouage
- Fixation linéaire (ancrages ponctuels)
- Fixation en ligne (profilés continus)
- Système velcro

Lorsque la fixation est assurée par clouage, c'est la résistance des lés à la déchirure en tête de clou qui est déterminante. Le tableau suivant expose des exigences régissant le clouage selon les règles de l'art. On admet dans tous les cas que les lés cloués résistent bien à la déchirure (les lés à base de bitume comprendront par exemple une armature en fibres de verre et non en voile de verre).

Clouage de l'étanchéité des toitures contre la succion due au vent, pour les bâtiments fermés de hauteur jusqu'à 20 m (selon les directives relatives aux toits plats)

	Sans surcharge		Avec surcharge (5 cm de gravier)	
	Espacement entre les clous	Espacement entre les rangées	Espacement entre les clous	Espacement entre les rangées
Secteurs normaux	10 cm	90 cm	-	-
Secteurs de bordure	10 cm	30 cm	10 cm	45 cm
Secteurs d'angle	5 cm	30 cm	5 cm	45 cm

La charge de traction des fixations linéaires dépend moins de la résistance à l'extraction des éléments de fixation que de la résistance à la déchirure des étanchéités assujetties à la toiture.

La résistance à la déchirure est notamment déterminée par la nature et l'épaisseur de l'étanchéité, et par le support éventuellement utilisé, ainsi que par la nature et la taille des assiettes.

Le nombre requis d'ancrages par m^2 n_{req} est calculé en faisant intervenir la grandeur de la succion due au vent $|w_s|$ en $[\text{kN/m}^2]$, multipliée par $\gamma = 1.5$, et la charge de dimensionnement des ancrages F_{adm} en $[\text{kN}]$:

$$n_{req} = \frac{1.5 \cdot |w_s|}{F_{adm}} \quad [\text{pces/m}^2]$$

Lorsqu'il en résulte une valeur $n < 3$, on prévoira au minimum 3 pièces par m^2 .

L'espacement admis entre les ancrages d'une même rangée a_{anc} est calculé comme suit, en faisant intervenir n_{req} et l'espacement entre les rangées a_{rang} en $[\text{m}]$ (p. ex. distance entre axes dans la membrure supérieure):

$$a_{anc} = \frac{1}{n_{req} \cdot a_{rang}} \quad [\text{m}]$$

1 Assujettissement sur les toits inclinés contre la succion due au vent (selon Massong, 1998)

2

3

4

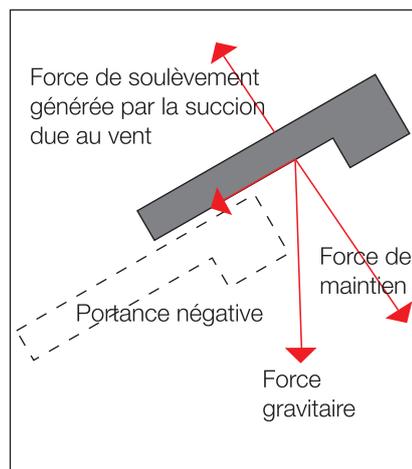
5

6

7

Les matériaux de couverture cloués qui sont traités et fixés dans les règles de l'art ont une résistance suffisante vis-à-vis des tempêtes (p. ex. couverture d'ardoise).

Les matériaux de couverture qui tiennent sur le toit du seul fait de leur poids, soit les tuiles en terre cuite ou en béton, doivent être maintenus par des crochets ou similaires pour résister à la charge générée par la succion due au vent. Une solution de substitution consiste à prévoir une sous-ventilation, qui occasionne un bref soulèvement des tuiles lors de rafales. L'important dans ce cas est que

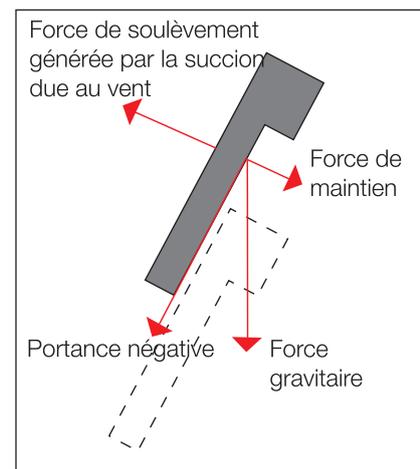


A: Toit peu incliné: la force de maintien prédomine; il n'est pas nécessaire de fixer la tuile.

les forces de succion puissent être reprises par la sous-toiture.

Plus un toit est incliné, plus la contribution du poids propre qui maintient les tuiles ou similaires sur le lattage est faible. On admet que la charge contre laquelle il faut prévoir des fixations est égale à la différence entre la succion due au vent et le poids propre déterminant de la couverture.

Composantes des forces agissant sur une tuile et force de soulèvement générée par la succion due au vent, pour des toits de différentes inclinaisons.



B: Toit incliné: la succion prédomine; il faut fixer la tuile.

Détermination des fixations requises

Une vérification numérique est recommandée dans les circonstances suivantes:

- Régions où la valeur de référence de la pression dynamique est supérieure à 0.9 kN/m^2 selon la norme SIA 261
- Sites d'altitude $> 1100 \text{ m}$
- Faîte de hauteur $> 30 \text{ m}$
- Bâtiment ouvert avec sous-toiture ouverte

La valeur calculée du poids propre de la couverture g_R est tirée de données fournies par le fabricant ou l'on applique une valeur réduite de 20 %:

$$g_R = 0.8 \cdot g_{tab} \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

Lorsqu'on calcule le poids propre déterminant de la couverture $g_{dét}$ (force de maintien), l'influence de l'inclinaison du toit est prise en compte par l'entremise du facteur d'inclinaison du toit c_s :

$$g_{dét} = 0.9 \cdot g_R \cdot c_s \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

Le facteur 0.9 prend en compte une marge de tolérance inhérente aux matériaux, ou similaire, sous la forme d'un facteur de sécurité.

Facteur d'inclinaison du toit c_s ¹⁾

Inclinaison du toit α	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°	65°	70°	75°
Facteur c_s	1,05	1,06	1,06	1,05	1,04	1,02	0,99	0,95	0,91	0,86	0,80	0,74	0,67	0,60

1) L'interpolation est admise, sinon la valeur inférieure est introduite dans les calculs. Pour $\alpha > 75^\circ$, on admet que $c_s = 0$

Les fabricants de crochets tempête fournissent la charge admise pour leurs produits F_{adm} selon la couverture appliquée. Cette charge de dimensionnement comprend un facteur de sécurité vis-à-vis de la charge de rupture.

Le nombre requis d'ancrages par m^2 n_{req} est calculé en faisant intervenir la grandeur de la succion due au vent $|w_s|$ (valeur positive) en $[kN/m^2]$, la charge de dimensionnement F_{adm} des éléments d'ancrage (p. ex. crochets) en $[kN/pce]$ et le poids propre déterminant $g_{dét}$:

$$n_{req} = \frac{|w_s| - g_{dét}}{F_{adm}} \text{ [pces/m}^2\text{]}$$

En vertu des règles de l'art, on peut renoncer à la pose de crochets pour des raisons pratiques lorsque $n_{req} \leq 2.5$ pc/m² pour une charge de dimensionnement $F_{adm} \leq 0.15$ pc/m². Les charges admises comprennent une réserve de sécurité suffisante pour autoriser cette simplification.

Détermination du schéma de pose des crochets:

Le schéma de pose des crochets est calculé comme suit, en faisant intervenir le nombre de tuiles par m^2 n_z ainsi que n_{req} :

$$a_{anc} = \frac{n_z}{n_{req}} \text{ [chaque a-ième tuile]}$$

Il en résulte pour l'espacement entre les crochets a_{anc} :

- Lorsque le toit a une inclinaison $\alpha > 65^\circ$, chaque tuile doit être fixée, quelle que soit la valeur de a_{anc} .
- Les valeurs ≥ 3.0 sont arrondies à 3, ce qui signifie qu'il faut fixer au moins une tuile sur trois.
- Les valeurs ≥ 2.0 et < 3.0 sont arrondies à 2, ce qui signifie qu'il faut fixer une tuile sur deux.
- Les valeurs ≥ 1.0 et < 2.0 sont arrondies à 1, ce qui signifie qu'il faut fixer chaque tuile.
- Les valeurs < 1.0 signifient que les crochets ne sont pas aptes à résister à la charge de dimensionnement.

Dans le dernier cas, on utilisera des crochets plus solides si l'on ne peut pas réduire les charges de succion en aménageant une sous-toiture fermée ou une sous-ventilation. La charge de dimensionnement requise F_{req} lorsque chaque tuile est fixée, pour un espacement choisi entre les crochets a_{anc} , est calculée en appliquant la formule suivante:

$$F_{req} = \frac{|w| - g_{dét}}{n_z} \cdot a_{anc} \text{ [kN/pce]}$$

1 Ancrage des revêtements de parois extérieures (selon Massong, 1998)

2

3

4

5

6

7

Ce chapitre traite des revêtements de parois extérieures sous-ventilés qui sont posés sur une construction porteuse en bois. Ces revêtements comprennent plusieurs parties:

- Le lattage de base, ancré dans le support
- Le contre-lattage (lattage de ventilation) éventuel, lié au lattage de base
- Le lattage porteur ou le voligeage, lié au lattage de base ou au contre-lattage
- Le revêtement, fixé à la construction porteuse

L'ancrage d'un revêtement de façade revient à le suspendre à la paroi porteuse. Celle-ci reprend alors la fonction statique déterminante.

On ne peut utiliser que des moyens d'ancrage homologués (chevilles). La nature et les dimensions du moyen d'ancrage doivent être adaptées au substrat.

Les vis chevillées doivent être en acier inoxydable. Les vis zinguées sont admises à condition de mettre en œuvre des mesures anticorrosion supplémentaires.

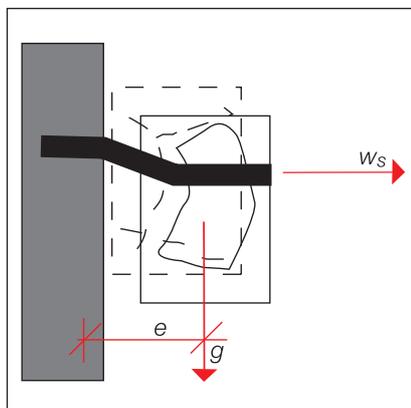
Les ancrages sont généralement insérés dans une maçonnerie por-

teuse ou dans une paroi en béton. Les couches de crépi ne font pas partie du support, quelle que soit leur nature.

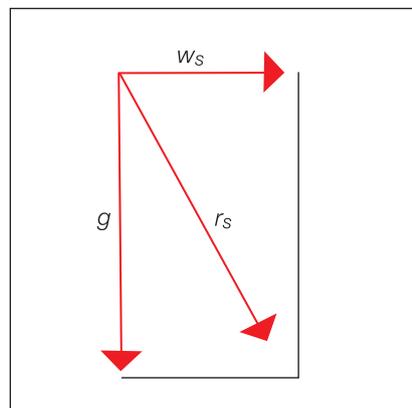
Les ancrages sont sollicités en *traction transversale* par la combinaison de charge verticale (poids propre) et de succion due au vent. En cas de montage espacé (espacement entre le contre-lattage et la paroi), le vent génère aussi une *pression transversale*.

Les ancrages subissent des *moments de flexion* dus aux charges verticales, en sus des sollicitations mentionnées précédemment. Ces moments de flexion sont d'autant plus grands que l'espacement entre le lattage de base et le support est important (moment = produit de la force et du bras de levier).

Le terme «cisaillement», souvent utilisé pour décrire la charge subie par les vis chevillées, est impropre au plan statique. La résistance à la compression du bois, faible par rapport à celle de l'acier des vis, ne permet pas l'établissement d'efforts tranchants. Les vis chevillées vont plutôt se tordre en écrasant le bois. La figure suivante montre les efforts subis par une vis chevillée ainsi que l'état limite ultime théorique.



Lorsqu'on vérifie exactement la nature et le nombre d'ancrages, il faut veiller à ce que les sollicitations dues à la succion générée par le vent (ainsi que la pression due au



vent si le montage est espacé), le cisaillement et le moment de flexion dû aux charges verticales se superposent, ce qui implique qu'ils soient traités simultanément.

La densité d'ancrages est déterminée pour les types d'efforts suivants:

- Traction transversale due au poids propre et à la succion générée par le vent
- Pression transversale due au poids propre et à la pression générée par le vent (seulement si montage espacé)
- Moment de flexion dû au poids propre et à l'application décentrée de la charge.

La charge de surface résultante r_s , générée par la traction transversale, est calculée en faisant intervenir le poids de l'ensemble du revêtement (γ compris la construction porteuse) g en $[\text{kN/m}^2]$ et la succion générée par le vent w_s en $[\text{kN/m}^2]$:

$$r_s = \sqrt{w_s^2 + g^2} \quad [\text{kN/m}^2]$$

Dans le cas d'un montage espacé, la charge de surface résultante r_d , générée par la pression transversale, fait intervenir le poids propre de l'ensemble du revêtement g en $[\text{kN/m}^2]$ et la pression du vent w_d en $[\text{kN/m}^2]$:

$$r_d = \sqrt{w_d^2 + g^2} \quad [\text{kN/m}^2]$$

Le nombre de chevilles n_F est calculé en faisant intervenir la (plus grande) charge de surface résultante déterminante $r_{dét}$ et la charge de dimensionnement de la cheville F_{adm} en $[\text{kN}]$:

$$n_F = \frac{r_{dét}}{F_{adm}} \quad [\text{pces/m}^2]$$

Le moment de flexion de l'ancrage par surface unitaire m fait intervenir le poids propre de l'ensemble du revêtement g et l'excentricité du lieu d'application de la charge e :

$$M \quad [\text{Nm/m}^2] = g \quad [\text{kN/m}^2] \cdot e \quad [\text{m}] \cdot 1000$$

Le nombre de chevilles n_M est calculé comme suit, en faisant intervenir le moment de flexion de l'ancrage par surface unitaire m en $[\text{Nm/m}^2]$ et le moment de dimensionnement de la cheville M_{adm} en $[\text{Nm}]$.

$$n_M = \frac{m}{M_{adm}} \quad [\text{pces/m}^2]$$

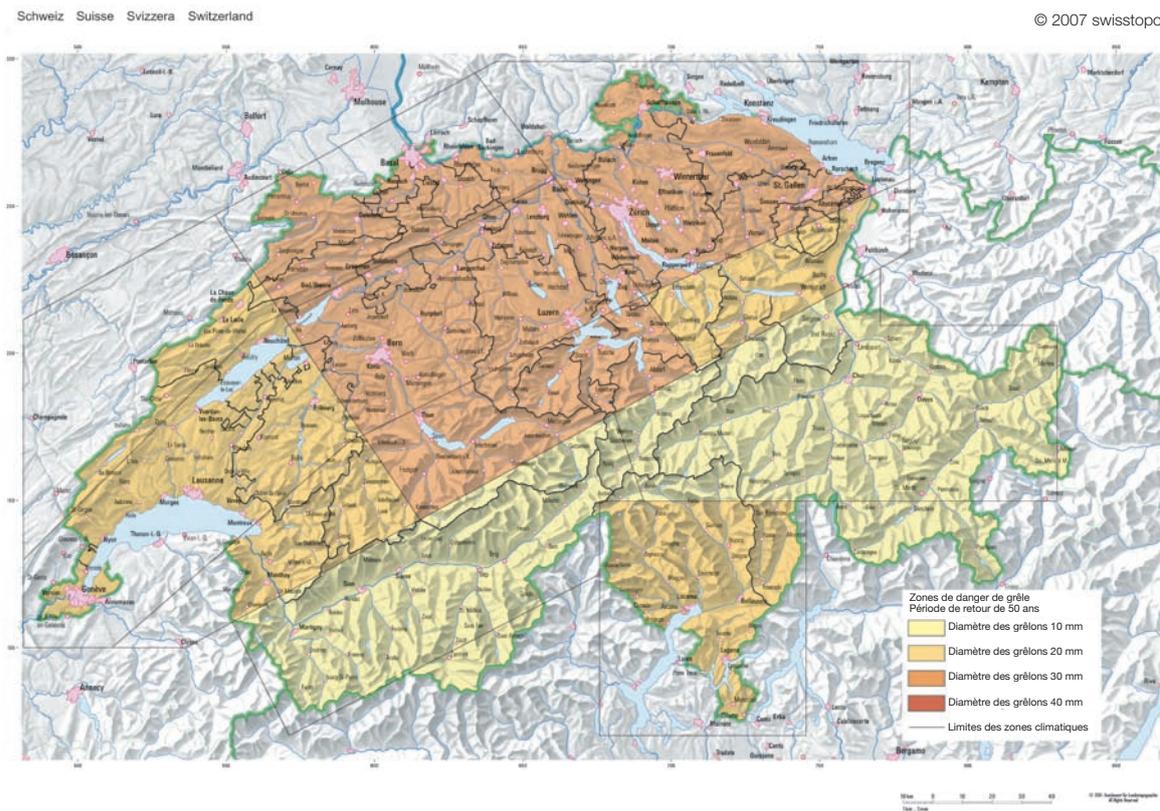
Le nombre de chevilles requis n_{req} correspond à la plus élevée des valeurs n_F et n_M .

1 Cartes d'intensité de la grêle en Suisse

Les cartes suivantes présentent l'intensité de la grêle pour des périodes de retour de 50, 100 et 300 ans. Elles indiquent, en millimètres, le diamètre minimal des

grêlons auquel il faut s'attendre. Les résultats, tirés de l'étude de Schiesser (2006), se basent sur les mesures radar de MétéoSuisse.

Période de retour de 50 ans



5

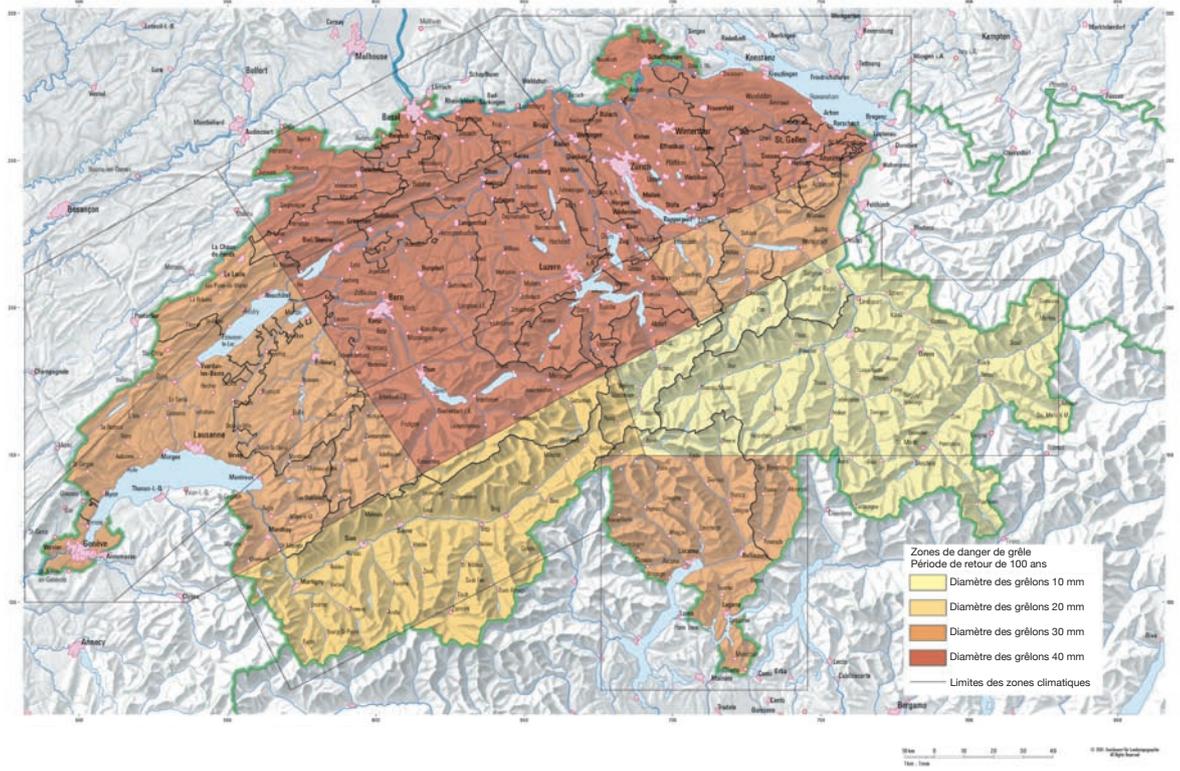
6

7

Période de retour de 100 ans

Schweiz Suisse Svizzera Switzerland

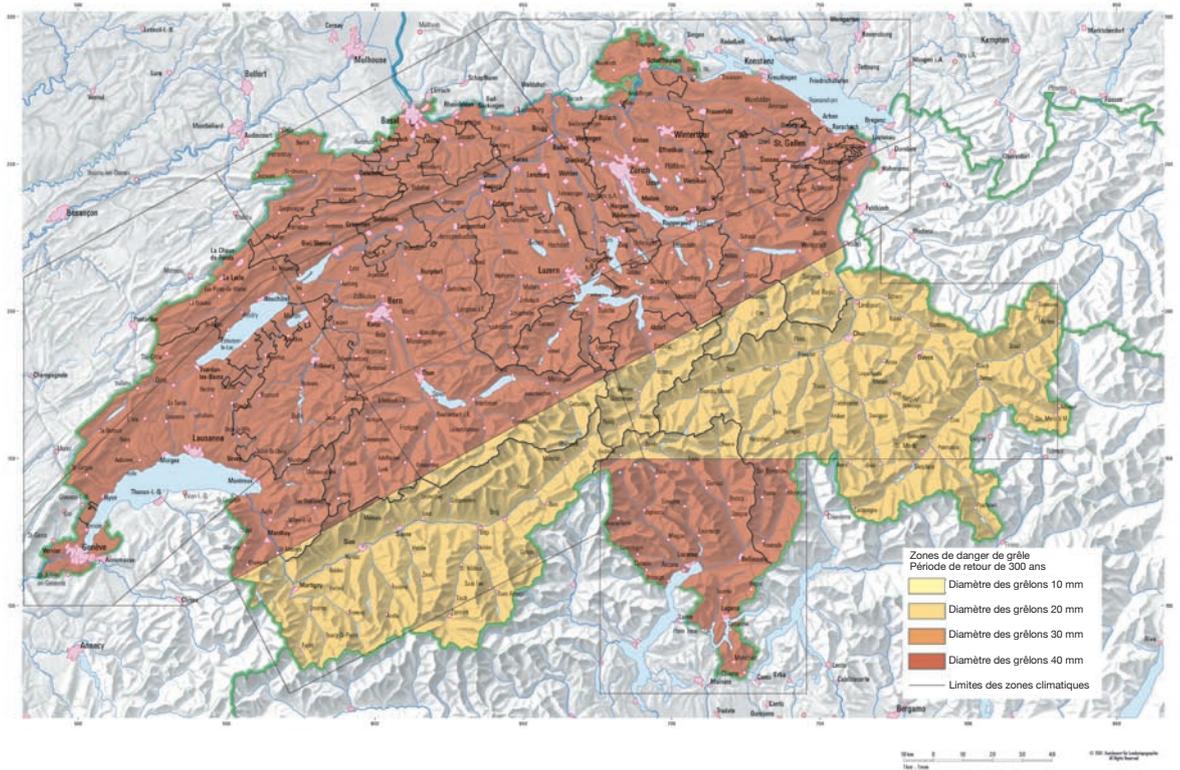
© 2007 swisstopo



Période de retour de 300 ans

Schweiz Suisse Svizzera Switzerland

© 2007 swisstopo



1 Valeurs caractéristiques de la résistance à la grêle

Les valeurs caractéristiques suivantes de la résistance à la grêle offerte par certains produits typiquement utilisés pour l'enveloppe des bâtiments ont été déterminées en projetant artificiellement

des grêlons en laboratoire. Elles fournissent un tableau comparatif sommaire. On s'adressera aux fabricants pour obtenir les valeurs attestées de la résistance à la grêle de leurs produits.

Catégorie d'élément	Produit		Épaisseur [mm]	Application	Fonction	RG
Tuiles	Queue de castor	sans rainure		Toit	Étanchéité	4
		Aspect				4
	Tuile plate	avec rainure		Toit	Étanchéité	4
					Aspect	4
Volets roulants	Profil creux (métallique)		0.45	Façade	Aspect	1
	Profil creux (métallique)	métal expansé	0.25	Façade	Aspect	1
	Profil creux (métallique)	tout métal	0.9	Façade	Aspect	1
Stores à lamelles	Tôle pliée (Metal)		0.45	Façade	Aspect	1
	Tôle courbée (métallique)		0.6	Façade	Aspect	1
Vitrages	Verre flotté		4.0	Toit	Étanchéité	5
	Verre armé		7.0	Toit	Étanchéité	3
	Verre de sécurité trempé (VST)		6.0	Toit	Étanchéité	5
	Verre de sécurité feuilleté (VSF)		8.0	Toit	Étanchéité	5
	Verre isolant		24.0	Façade	Étanchéité	5
Tôles	Couverture	cuivre	0.6	Toit	Aspect	1
				Façade	Aspect	2
		acier au chrome étamé	0.5	Toit	Aspect	2
				Façade	Aspect	2
		cuivre-titane-zinc	0.7	Toit	Aspect	2
				Façade	Aspect	2
	Ondulées	acier zingué	0.7	Façade	Aspect	2
	Trapézoïdales	aluminium	0.7	Façade	Aspect	1
Panneaux en fibres-ciment	Ondulés	non revêtus	5.5	Toit	Étanchéité	4
				Aspect	4	
	Plats	revêtement transparent	6.0	Façade	Étanchéité	5
					Aspect	5

Catégorie d'élément	Produit		Épaisseur [mm]	Application	Fonction	RG
Crépi sur isolation	Crépi synthétique sur EPS			Façade	Étanchéité	3
					Aspect	3
	Crépi silicaté sur laine minérale			Façade	Étanchéité	3
					Aspect	3
	Crépi synthétique sur laine minérale			Façade	Étanchéité	4
			Aspect		4	
Planches en bois	Mélèze	rabotées, non revêtues	25.0	Façade	Aspect	2
		sciées, non revêtues	25.0	Façade	Aspect	2
		rabotées, revêtues	25.0	Façade	Aspect	1
		sciées, revêtues	25.0	Façade	Aspect	2
	Épicéa	rabotées, non revêtues	25.0	Façade	Aspect	2
		sciées, non revêtues	25.0	Façade	Aspect	2
		rabotées, revêtues	25.0	Façade	Aspect	2
		sciées, revêtues	25.0	Façade	Aspect	2
Lés d'étanchéité	Chlorure de polyvinyle plastifié (PVC – P)	rigides	1.5	Toit	Étanchéité	5
		souples	1.5	Toit	Étanchéité	5
	Polyoléfine thermoplastique (TPO)	rigides	1.6	Toit	Étanchéité	5
		souples	1.6	Toit	Étanchéité	5
	Caoutchouc éthylène-propylène-diène (EPDM)	rigides	1.5	Toit	Étanchéité	5
		souples	1.5	Toit	Étanchéité	4
	Lés SBS ardoisés	rigides	5.2	Toit	Étanchéité	5
		souples	5.2	Toit	Étanchéité	4
	Lés SBS sablés	rigides	3.7	Toit	Étanchéité	5
		souples	3.7	Toit	Étanchéité	4

Catégorie d'élément	Produit	Épaisseur [mm]	Application	Fonction	RG	
Panneaux en matière synthétique	Polyméthacrylate de méthyle (PMMA)	panneaux normaux	4	Toit	Étanchéité	4*
					Translucidité	4*
		panneaux résilients	4	Toit	Étanchéité	5*
					Translucidité	4*
		pann. résilients, SDP 16		Toit	Étanchéité	4*
					Translucidité	4*
	pann. résilients, S4P 32		Toit	Étanchéité	4*	
				Translucidité	3*	
	pann. résilients, WP 76/18	4	Toit	Étanchéité	4*	
				Façade	3*	
	Polycarbonate (PC)	panneaux S3P 16	4	Toit	Étanchéité	5*
					Étanchéité	5*
	Panneaux en plastique renforcé de fibres de verre (PRV-UP)	panneaux trapézoïdaux	1.4	Toit	Étanchéité	2*
					Aspect	1*
				Façade	Étanchéité	3*
					Aspect	1*
		panneaux ondulés	1.4	Toit	Étanchéité	3*
					Aspect	1*
Façade				Étanchéité	3*	
				Aspect	2*	
panneaux structurés	2.0	Toit	Aspect	2*		
			panneaux plats	5.0	Façade	Étanchéité
Aspect	3*					
Couples	Couches extérieure et intérieure en polyméthacrylate de méthyle (PMMA)	3.0/2.0	Toit	Étanchéité	2*	
	Couche extérieure en polycarbonate (PC), couche intérieure en PMMA	3.0/2.0	Toit	Étanchéité	5*	
				Aspect	3*	

* Cette classification s'applique uniquement aux matériaux neufs. Leur résistance à la grêle diminue considérablement durant quelques années d'exposition aux intempéries.

Intensité pluviométrique

Intensités pluviométriques locales extrêmes r (en litre par seconde et par mètre carré), pour des périodes

de retour de 5, 10, 30, 50 et 100 ans (MétéoSuisse, 2007).

Localité	Intensité pluviométrique r [l/sm ²]				
	Tous les 5 ans	Tous les 10 ans	Tous les 30 ans	Tous les 50 ans	Tous les 100 ans
Adelboden	0.022	0.026	0.033	0.036	0.042
Aigle	0.016	0.020	0.025	0.028	0.032
Altdorf	0.016	0.019	0.024	0.026	0.029
Basel-Binningen	0.021	0.025	0.030	0.033	0.037
Bern / Zollikofen	0.023	0.027	0.034	0.037	0.041
Buchs-Aarau	0.024	0.029	0.038	0.042	0.047
Changins	0.019	0.023	0.030	0.033	0.038
Chur	0.016	0.019	0.024	0.027	0.030
Disentis	0.016	0.019	0.025	0.028	0.033
Engelberg	0.017	0.019	0.021	0.022	0.024
Fahy-Boncourt	0.020	0.024	0.030	0.033	0.037
La Frétaz	0.024	0.030	0.039	0.043	0.049
Glarus	0.026	0.032	0.042	0.047	0.055
Güttingen	0.018	0.021	0.026	0.028	0.032
Genève-Cointrin	0.018	0.022	0.028	0.031	0.036
Hinterrhein	0.016	0.019	0.024	0.026	0.029
Interlaken	0.019	0.022	0.027	0.030	0.033
La Chaux-de-Fonds	0.029	0.035	0.046	0.052	0.060
Locarno-Monti	0.034	0.040	0.051	0.057	0.065
Lugano	0.033	0.039	0.049	0.055	0.063
Luzern	0.022	0.025	0.030	0.032	0.035
Magadino / Cadenazzo	0.031	0.043	0.047	0.052	0.059
Montana	0.010	0.012	0.015	0.016	0.018
Neuchâtel	0.024	0.030	0.040	0.045	0.053
Payerne	0.024	0.030	0.040	0.045	0.053
Pilatus	0.023	0.028	0.036	0.041	0.047
Piotta	0.018	0.022	0.028	0.031	0.035
Pully	0.020	0.023	0.029	0.033	0.037
Reckenholz	0.022	0.028	0.037	0.042	0.050
Rünenberg	0.021	0.025	0.032	0.035	0.040
San Bernardino	0.020	0.023	0.028	0.030	0.033
Scuol	0.013	0.016	0.020	0.022	0.026
Schaffhausen	0.023	0.029	0.039	0.045	0.053
Sion	0.013	0.016	0.022	0.025	0.029
St. Gallen	0.025	0.031	0.040	0.044	0.050
Tänikon	0.025	0.029	0.035	0.037	0.041
Ulrichen	0.012	0.015	0.019	0.021	0.024
Vaduz	0.017	0.021	0.027	0.030	0.035
Wädenswil	0.022	0.026	0.033	0.037	0.042
Wynau	0.022	0.027	0.036	0.040	0.047
Zermatt	0.008	0.010	0.013	0.015	0.017
Zürich-Kloten	0.020	0.024	0.031	0.034	0.038
Zürich-MeteoSuisse	0.027	0.033	0.042	0.046	0.053

Les chiffres ci-dessus, correspondant à des valeurs sur 10 minutes, ont été établis par une analyse statistique des valeurs extrêmes portant sur les mesures effectuées entre 1981 et 2005 aux stations automatiques de MétéoSuisse. Le

rapport de MétéoSuisse de 2007 comprend la description détaillée de la procédure ainsi que d'autres résultats. Ces chiffres indiquent clairement que l'intensité pluviométrique

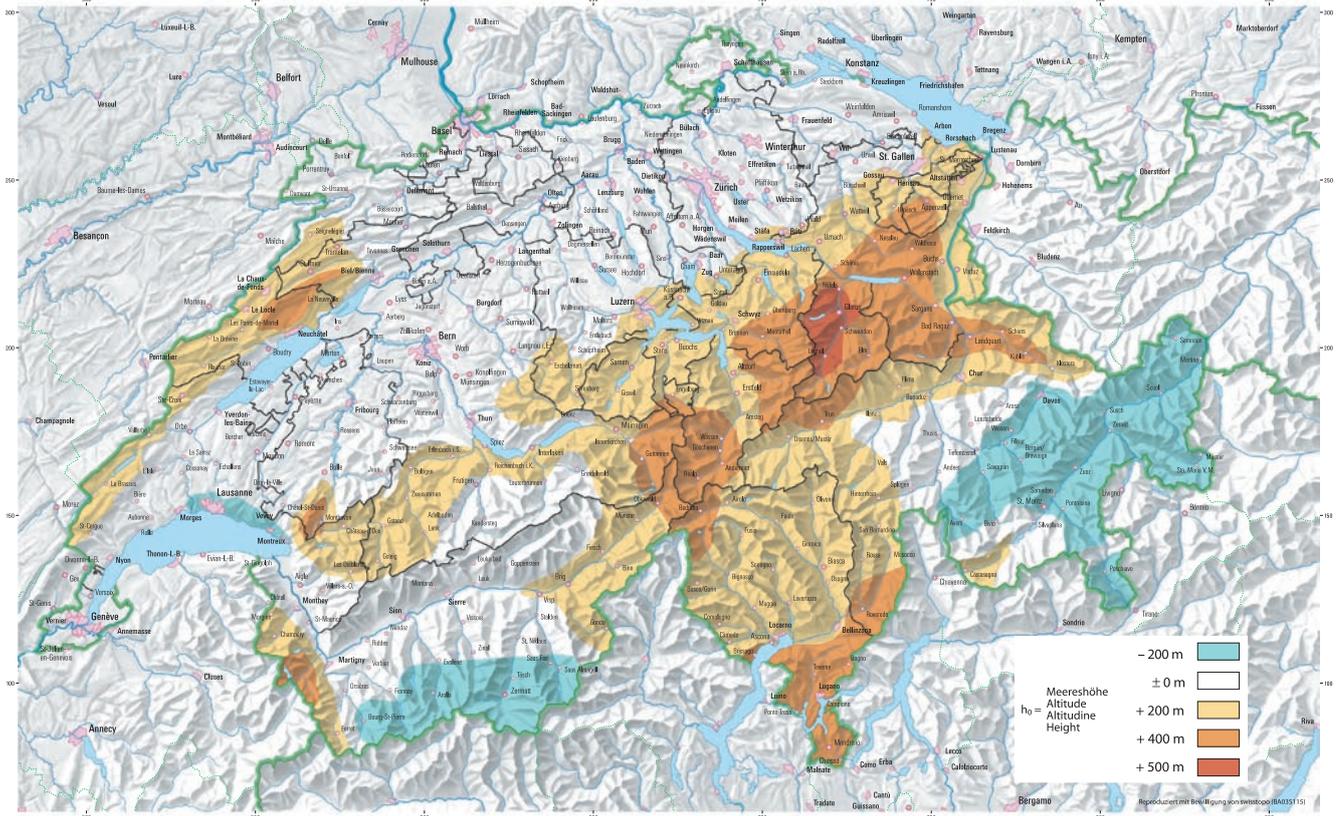
utilisée jusqu'ici à l'échelle de la Suisse, de 0.030 l/sm², peut être dépassée largement dans certaines régions. Aussi est-il recommandé de baser les calculs sur les valeurs figurant dans le tableau.

1 Altitude de référence pour les charges de neige, selon la norme SIA 261

La carte suivante, tirée de la norme SIA 261, indique l'altitude de référence locale h_0 utilisée pour déter-

miner la valeur caractéristique de la charge de neige sur un terrain horizontal.

ANHANG D Bezugshöhe für Schneelasten



5 Anhang D Bezugshöhe h_0 (nicht anwendbar auf Bauwerke über 2000 m Meereshöhe)
 Annexe D Altitude de référence h_0 (pas applicable pour les constructions situées au-dessus de 2000 m d'altitude)
 Appendix Altitudine di riferimento h_0 (non applicabile a costruzioni ubicate sopra 2000 m sul mare)
 Reference Height h_0 (not applicable for construction works at heights greater than 2000 m)

6

7

Réduction du risque

L'efficacité des mesures mises en œuvre pour protéger des objets est calculée en fonction de la réduction du risque qu'elles permettent d'obtenir. Pour déterminer ce paramètre, il faut évaluer le montant des dommages aux personnes et des dégâts matériels évités grâce à ces mesures. Une méthode de calcul du rapport coût-utilité applicable aux biens est décrite ci-après.

Les mesures ont une longévité limitée. C'est pourquoi la probabilité d'occurrence d'un événement ne peut pas être déterminée en appliquant sans autre sa période de retour, car celle-ci fournit une valeur

moyenne pour une durée illimitée. La probabilité d'occurrence d'un événement au cours d'une période de référence est calculée en appliquant la formule $P = 1 - (1 - 1/T)^n$, où P représente la probabilité d'atteinte ou de dépassement de l'événement dont la période de retour est égale à T pendant la longévité n de la mesure de protection.

Exemple:

Période de retour T de l'événement = 100 ans
Longévité n de la mesure = 20 ans
Probabilité d'occurrence P pendant une période de 20 ans = $1 - (0.99)^{20} = 0.182$

Coût

Le surcoût occasionné par des mesures de protection doit être calculé en tenant compte des intérêts. On applique à cet effet la formule $K = k(1 + z)^n$, où K est le

surcoût compte tenu des intérêts, k le surcoût brut, z le taux d'intérêt en pour-cent et n la période considérée en années.

Utilité

L'utilité correspond à la différence entre le montant des dommages attendus avec ou sans mesure de protection. Tenant compte de la longévité des mesures, ce montant

est calculé en fonction de la probabilité d'occurrence P d'un événement et du montant des dommages S qu'il occasionne.

Exemple concret

L'exemple suivant illustre l'importance pour les toits de la succion

due au vent, en tenant compte des dégâts qu'elle occasionne.

Coût

Une industrie située sur le Plateau construit une halle de montage avec un toit en tôle. Si elle utilise des clous lisses pour relier le contre-lattage et les chevrons, elle ne protège pas l'objet (variante A). Si elle opte pour des vis au lieu de ces clous lisses, conformément aux prescriptions (variante B), cette mesure de protection occasionne un surcoût de 3'000 CHF pour les travaux et les matériaux.

Calcul:

Surcoût k = 3'000 CHF, taux d'intérêt z = 3 %, longévité = 20 ans
Surcoût compte tenu des intérêts
 $K = 3000 \cdot (1.03^{20}) = 5'418$ CHF

Utilité

L'utilité correspond à la différence entre le montant des dommages attendus pour les variantes A et B. On commence par estimer les dommages pour des événements de différentes périodes de retour T. Dans cet exemple ayant trait au vent, on admet que des dommages apparaissent en l'absence de mesures de protection (variante A) à partir de l'événement qui se produit en moyenne une fois tous les 10 ans et en présence de mesures de protection (variante B) à partir de l'événement qui se produit en moyenne une fois tous les 100 ans.

Puis on calcule, en fonction de la période de retour T de l'événement et de la longévité n des mesures, la probabilité d'occurrence P des dommages respectifs S pendant la longévité n des mesures. Si les dommages S sont reportés en fonction de la probabilité d'occurrence P, la valeur attendue des dommages correspond à la

surface située sous la courbe. Dans les deux tableaux suivants, cette surface est calculée dans les trois dernières colonnes en multipliant l'intervalle de probabilité $\Delta P = P_{i+1} - P_i$ par le montant moyen des dommages durant l'intervalle considéré $S_m = 0.5 \times (S_{i+1} + S_i)$, puis en cumulant les $\Delta P \times S_m$.

Utilité

(Variante A)

T [ans]	S [CHF]	P [-]	ΔP [-]	S_m [CHF]	$\Delta P \times S_m$ [CHF]
10	0	0.878			
			0.237	15'000	3'554
20	30'000	0.642			
			0.309	40'000	12'365
50	50'000	0.332			
			0.150	75'000	11'272
100	100'000	0.182			
			0.117	110'000	12'925
300	120'000	0.065			

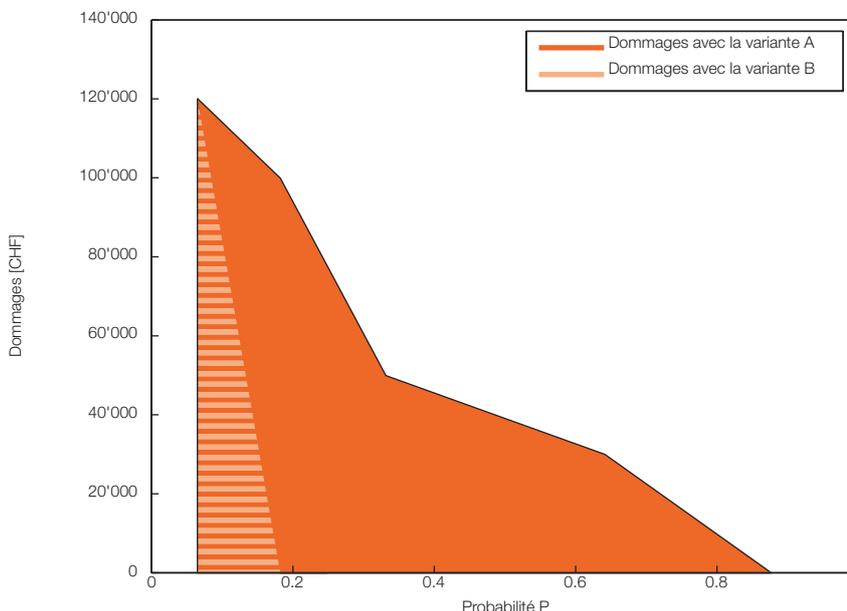
Valeur attendue des dommages pour la variante A **40'115 CHF**

(Variante B)

T [ans]	S [CHF]	P [-]	ΔP [-]	S_m [CHF]	$\Delta P \times S_m$ [CHF]
10	0	0.878			
			0.237	0	0
20	0	0.642			
			0.309	0	0
50	0	0.332			
			0.150	0	0
100	0	0.182			
			0.117	60'000	7'050
300	120'000	0.065			

Valeur attendue des dommages pour la variante B **7'050 CHF**

Utilité = Valeur attendue des dommages pour la variante A - la variante B 33'066 CHF



Comparaison coût-utilité

La comparaison entre le coût et l'utilité des mesures considérées consiste à confronter le surcoût qu'elles occasionnent et leur utilité. $\text{Coût} / \text{utilité} = 5'418 \text{ CHF} / 33'066 \text{ CHF} = 0.164$

Cela signifie que le surcoût occasionné par les mesures de protection de l'objet est très judicieux en termes économiques.

Comme un vent de période de retour égale à 20 ans est susceptible d'occasionner de premiers dommages en l'absence de mesures de protection, la valeur attendue

des dommages, de 40'115 CHF, est très élevée.

Si le dimensionnement est conforme à la norme SIA 261, on peut admettre que même un vent de période de retour égale à 100 ans ne causera aucun dommage au bâtiment dans le cas de la variante B. Ainsi, le surcoût de 5'418 CHF est très nettement inférieur au montant des dommages attendus prévenus, de 33'066 CHF.

1

2

3

4

5

6

7

1 Normes sur les structures porteuses

Norme SIA 260 (2003): Bases pour l'élaboration des projets de structures porteuses. Société suisse des ingénieurs et des architectes, Zurich.

Norme SIA 261 (2003): Actions sur les structures porteuses. Société suisse des ingénieurs et des architectes, Zurich.

Norme SIA 261/1 (2003): Actions sur les structures porteuses – Spécifications complémentaires. Société suisse des ingénieurs et des architectes, Zurich.

2

Norme SIA 462 (1994): Évaluation de la sécurité structurale des ouvrages existants, Société suisse des ingénieurs et des architectes, Zurich.

Norme SIA 465 (1998): Sécurité des ouvrages et des installations. Société suisse des ingénieurs et des architectes, Zurich.

3

Norme SIA 469 (1997): Conservation des ouvrages. Société suisse des ingénieurs et des architectes, Zurich.

Normes relatives aux produits de construction, avec prescriptions applicables au vent, à la neige, à la grêle ou à la pluie (sélection)

4

Façades, portes, fenêtres, fermetures extérieures

SIA 329: Façades préfabriquées

SIA 329.003: Façades rideaux – Étanchéité à l'eau – Exigences de performance et classification (SN EN 12154)

SIA 329.004: Façades rideaux – Détermination de l'étanchéité à l'eau – Essais de laboratoire sous pression statique (SN EN 12155)

SIA 329.005: Façades rideaux – Résistance à la pression du vent – Méthode d'essai (SN EN 12179)

SIA 329.006: Façades rideaux – Étanchéité à l'eau – Essai en laboratoire sous pression d'air dynamique et projection d'eau (SN EN 13050)

5

SIA 329.007: Façades rideaux – Étanchéité à l'eau – Essai sur site (SN EN 13051)

SIA 329.008: Façades rideaux – Résistance structurelle au vent – Prescriptions de performance (SN EN 13116)

SIA 329.011: Façades rideaux – Résistance au choc – Prescriptions de performance (SN EN 14019)

6

SIA 331: Fenêtres

SIA 331.051: Fenêtres et portes – Résistance au vent – Essai (SN EN 12211)

SIA 331.053: Fenêtres et portes – Perméabilité à l'eau – Méthode d'essai (SN EN 1027)

SIA 331.054: Méthodes d'essai des fenêtres – Essais mécaniques (SN EN 107)

7

SIA 331.181: Verre dans la construction – Essai au pendule – Méthode d'essai d'impact et classification du verre plat (SN EN 12600)

SIA 331.302: Fenêtres et portes – Perméabilité à l'eau – Classification (SN EN 12208)

SIA 331.303: Fenêtres et portes – Résistance au vent – Classification (SN EN 12210)

SIA 331.308: Fenêtres et portes – Durabilité mécanique – Prescriptions et classification (SN EN 12400)

SIA 342: Protection des baies contre le soleil et les intempéries

SIA 342.001: Stores extérieurs – Résistance à la charge due à l'accumulation d'eau – Méthode d'essai (SN EN 1933)

SIA 342.003: Fermetures pour baies équipées de fenêtres et stores extérieurs – Résistance aux charges de vent – Méthodes d'essai (SN EN 1932)

SIA 342.007: Volets roulants pour fenêtres de toit et véranda – Résistance à la charge de neige – Méthode d'essai (SN EN 12833)

SIA 342.016: Stores extérieurs – Exigences de performance, y compris la sécurité (SN EN 13561)

SIA 342.017: Fermetures pour baies libres équipées de fenêtres – Exigences de performance, y compris la sécurité (SN EN 13659)

SIA 343: Portes

SIA 343.061: Vantaux de portes – Détermination de la résistance au choc de corps dur (SN EN 950)

SIA 343.101: Portes équipant les locaux industriels, commerciaux et les garages – Résistance à la charge du vent – Classification (SN EN 12424)

SIA 343.102: Portes équipant les locaux industriels, commerciaux et les garages – Résistance à la pénétration de l'eau – Classification (SN EN 12425)

SIA 343.108: Portes équipant les locaux industriels, commerciaux et de garage – Résistance à la charge du vent – Essais et calculs (SN EN 12444)

SIA 343.111: Portes équipant les locaux industriels, commerciaux et les garages – Résistance à la pénétration de l'eau – Méthode d'essai (SN EN 12489)

Produits de couverture de toits et de revêtement de façades

SIA 232.301: Plaques profilées éclairantes en matière plastique pour couvertures en simple paroi – Partie 1: Exigences générales et méthodes d'essai (SN EN 1013-1)

SIA 232.601: Ardoises en fibres-ciment et leurs accessoires en fibres-ciment – Spécification du produit et méthodes d'essai (SN EN 492)

SIA 232.602: Plaques profilées en fibres-ciment et accessoires pour couvertures – Spécifications du produit et méthodes d'essai (SN EN 494)

1

SIA 232.603: Plaques planes en fibres-ciment – Spécification du produit et méthodes d'essai (SN EN 12467)

2

SIA 232.105: Tuiles et accessoires en terre cuite – Définitions et spécifications des produits (SN EN 1304)

SIA 232.701: Détermination de la résistance au soulèvement des tuiles en terre cuite ou béton mises en œuvre sur la toiture – Méthode d'essai par système de toiture (SN EN 14437)

3

SIA 271: Toits plats

SIA 280: Lés d'étanchéité en matière synthétique (Lés polymères) – Performances exigées et essai des matériaux.

SIA 281: Lés d'étanchéité à base de bitume ou de bitume-polymère (LBP) – Performances exigées et essais de matériaux.

4

Feuilles d'étanchéité

SIA 289.307: Feuilles souples d'étanchéité – Feuilles bitumineuses, plastiques et élastomériques d'étanchéité de toiture – Détermination de la résistance à l'impact de la grêle (SN EN 13583)

Étanchéité des joints

SIA V274: Étanchéité des joints dans la construction.

Étanchéité des ouvrages enterrés

SIA 272: Étanchéité des ouvrages enterrés.

5

Capteurs solaires

EN 12975-2: Capteurs solaires – Méthodes d'essai.

Serres

SIA 328.001: Serres – Calcul et construction – Partie 1: Serres de production (SN EN 13031-1)

6

Gestion des eaux résiduaires

SIA 190.122: Clapets anti-retour pour les bâtiments – Partie 2: Méthodes d'essai (SN EN 13564-2)

SIA 190.123: Clapets anti-retour pour les bâtiments – Partie 3: Maîtrise de la qualité (SN EN 13564-3)

VSS-102: Caniveaux hydrauliques pour les zones de circulation utilisées par les piétons et les véhicules – Classification, prescriptions, principes de construction et d'essai, marquages et évaluation de la conformité (SN EN 1433)

7

VSA-15: Stations de relevage d'effluents pour les bâtiments et terrains – Principes de construction et d'essai – Partie 4: Dispositifs anti-retour pour eaux résiduaires contenant des matières fécales et exemptes de matières fécales (SN EN 12050-4)

SSIV-10: Réseaux d'évacuation gravitaire à l'intérieur des bâtiments – Partie 3: Système d'évacuation des eaux pluviales, conception et calculs (SN EN 12056-3)

 Directives techniques
(sélection)

SSIV-12: Réseaux d'évacuation gravitaire à l'intérieur des bâtiments – Partie 5: Mise en œuvre, essai, instructions de service, d'exploitation et d'entretien (SN EN 12056-5)

SN 640 350: Evacuation des eaux de chaussée. Association des professionnels de la route et des transports (VSS)

SIA 318: Aménagements extérieurs

Généralités

HEV (2006): Lebensdauertabelle. Hauseigentümergebiet Schweiz/Schweizerischer Mieterinnen- und Mieterverband.

Toiture

ASITEC (2002): Le toit en tuiles de terre cuite. Association suisse de l'industrie de la terre cuite, Zurich (www.chziegel.ch).

Fibrececm (2000): Richtlinien zur Planung und Ausführung von geneigten Dächern mit Faserzementprodukten. Schweizerischer Faserzement-Verband, Niederurnen.

Suissetec (2004): Guide pour le calcul des fixations des revêtements métalliques en tôle fine. Association suisse et liechtensteinoise de la technique du bâtiment, Suissetec.

SSIV (1980): Wegleitung für die Bemessung der Dachhautbefestigungen – Doppelfalzdächer. Schweizerischer Spenglermeister- und Installateur-Verband, Zürich.

SVDW (2006): Rechenschieber für Schneestopp. Technische Kommission Steildach, Schweizerischer Verband Dach und Wand, Uzwil

Évacuation des eaux pluviales

Suissetec (2004): Richtlinie «Dachentwässerung». Schweizerisch-Liechtensteinischer Gebäudetechnikverband, Suissetec.

VSA (1996): Planung der Liegenschaftsentwässerung. Informationsforum der VSA Fachgruppe «Liegenschaftsentwässerung», Olten.

VSA (2002): Évacuation des eaux pluviales: Directive sur l'infiltration, la rétention et l'évacuation des eaux pluviales dans les agglomérations. Association suisse des professionnels de la protection des eaux, Zurich

Verre

SIGaB (2002): Le verre et la sécurité. Documentation, Institut suisse du verre dans le bâtiment, Schlieren (www.sigab.ch)

Protection contre le soleil et les intempéries

VSR (2000): Influence des vitesses du vent sur les systèmes pour la protection contre le soleil et les intempéries. Association des fournisseurs suisses de systèmes de protection contre le soleil et les intempéries, Zurich (www.storen-vsr.ch)

1

VSR (1997): Notice VSR sur l'utilisation des systèmes de protection contre le soleil en cas de neige et de gel. Association des fournisseurs suisses de systèmes de protection contre le soleil et les intempéries, Zurich (www.storen-vsr.ch)

Serres

Deutsche Hagel (1984): Schadenerfahrungen mit Eindeckungsmaterialien von Gewächshäusern. Deutsche Hagel-Versicherungs-Gesellschaft, Nr. 12, Wiesbaden.

2

Bois

Lignum (2000): Revêtement de façade en bois non traité. Lignatec n° 8/2000, ISSN 1421-0312, Zurich.

Lignum (2005): Table pour la construction en bois (TCB1) – Manuel pour le dimensionnement, ISBN 2-88397-001-04, Lignum, Zurich.

3

Échafaudages / grues

SUVA (2007): Liste de contrôle «Échafaudages de façade». Numéro de commande 67038.f, SUVA, Lucerne.

SUVA (2007): Liste de contrôle «Grues de chantier». Numéro de commande 67116.f, SUVA, Lucerne.

4

SUVA (2007): «Check-list pour les conducteurs de grues de chantier à tour pivotante». Numéro de commande 88179.f, SUVA, Lucerne.

5

6

7

Généralités

Egli, Th. (2005): Recommandations Protection des objets contre les dangers naturels gravitationnels. Association des établissements cantonaux d'assurance incendie, Berne.

Vent

Ambrose, J., Vergun, D. (1995): Simplified building design for wind and earthquake forces. John Wiley & Sons, Third Edition, New York.

Dotzek, N. et al. (2000): Die Bedeutung von Johannes P. Letzmans «Richtlinien zur Erforschung von Tromben, Tornados, Wasserhosen und Kleintromben» für die heutige Tornadoforschung. Meteorologische Zeitschrift, 9, 165-174.

Dyrbye, C., Hansen, S.O. (1997): Wind loads on structures. John Wiley and Sons, Chichester.

FEMA (1999): Midwest Tornado of May 3, 1999 – Observations, Recommendations and technical Guidance, Federal Emergency Management Agency, Washington.

FEMA (2000): Design and Construction Guidance for Community Shelters. Federal Emergency Management Agency, No. 361, Washington.

Gerhardt, H.J. (2005): Windschäden. Schadenfreies Bauen, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart.

GDV (2000): Sturm – Eine Gefahr für bauliche Anlagen. Planungs- und Ausführungshinweise zur Schadenverhütung. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft, VdS Schadenverhütung, VdS 2389, Köln.

GDV (2000): Sturm – Eine Gefahr für das Dach. Merkblatt zur Schadenverhütung. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft, VdS Schadenverhütung, VdS 2089, Köln.

Holmes, J.D. (2001): Wind loading of structures. Spon Press, London.

Janser, F. (1995): Windbeanspruchung belüfteter Aussenwände. Dissertation an der Technischen Universität, Berlin.

Lawson, T. (2001): Building Aerodynamics. Imperial College Press, London.

Lee, B.E., Wills, J. (2002): Vulnerability of Fully Glazed High-Rise Buildings in Tropical Cyclones. Journal of Architectural Engineering, Vol. 8, No. 2, American Society of Civil Engineers, Reston.

Massong, F. (1998): Statik am Dach: Grundlagen, praktische Anwendung und Berechnungshilfen. Verlag Rudolf Müller, Köln.

Melaragno, M. (1996): Severe Storm Engineering for Structural Design. Gordon and Breach Science Publishers, United States.

Minor, J.E. (2002): Formal Engineering of Residential Buildings. Journal of Architectural Engineering, Vol. 8, No. 2, American Society of Civil Engineers, Reston.

Ruscheweyh, H. (1982): Dynamische Windwirkung an Bauwerken.

1

Band 1: Grundlagen, Band 2: Praktische Anwendungen, Bauverlag GmbH, Wiesbaden / Berlin.

Schunck, E., Oster, H.J., Barthel, R., Kiessl, K. (2002): Dach Atlas – Geneigte Dächer. Birkhäuser Verlag, 4. Auflage, Basel.

Simiu, E., Scanlan, R.H. (1996): Wind effects on structures – fundamentals and applications to design. John Wiley & Sons, Third Edition, New York.

2

Sockel, H. (1984): Aerodynamik der Bauwerke. Vieweg & Sohn, Braunschweig.

Wills, J.A.B., Lee, B.E., Wyatt, T.A. (2002): A model of wind-borne debris damage. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol. 90, 555-565, Elsevier Science Ltd., Amsterdam.

3

Zimmerli, B., Hertig, J.A. (2006): Wind – Kommentar zum Kapitel 6 der Normen SIA 261 und 261/1 (2003) Einwirkungen auf Tragwerke. Dokumentation D 0188, SIA, Zürich.

Zuranski, J.A. (1978): Windeinflüsse auf Baukonstruktionen. Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, 2. Auflage, Köln

4

Grêle

Andrews, K.E., Blong, R.J. (1997): March 1990 Hailstorm Damage in Sydney, Australia. Natural Hazards, 16: 113-125, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Changnon, S.A (1977): The Scales of Hail. Journal of Applied Meteorology, Vol. 16, 626-648.

Charlton, R.B., Kachman, B.M., Wojtiw, L. (1995): Urban Hailstorms: a View from Alberta. Natural Hazards, 12: 29-75, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

5

Eckhardt, A., Wörndle, P., Leonarz, M., Lattmann, P. (2007): Schadenpotenziale, Studie erstellt im Auftrag der Präventionsstiftung der kantonalen Gebäudeversicherungen, Bern.

6

Flüeler, P., Rupp, F. (1988): Hagelschlagversuche an Baumaterialien an der Empa – Prüfgerät, Prüfrichtlinien und Pressekommentare. Forschungs- und Arbeitsberichte, Bericht Nr. 114/4, Abteilung Kunststoffe, Empa, Dübendorf.

Flüeler, P., Staudenmaier, A. (2005): Hagelwiderstand der Gebäudehülle – Archivdaten. Studie erstellt im Auftrag der Präventionsstiftung der kantonalen Gebäudeversicherungen, Bern.

7

Flüeler, P. Stucki, M. (2007): Hagelwiderstand der Gebäudehülle – experimentelle Ermittlung des Hagelwiderstandes, Studie erstellt im Auftrag der Präventionsstiftung der kantonalen Gebäudeversicherungen, Bern.

Haag, E. (1997): Hail-Fall, Roofing and Impact Testing. Haag Engineering Co., Document No. 972-247-6444, Carrollton, Texas.

Kim, H., Keith, T.K. (2000): Modeling Hail Ice Impact and Predicting

Impact Damage Initiation in Composite Structures. American Institute of Aeronautics and Astronautics Journal, Vol. 38, No. 7.

Hohl, R., Schiesser, H.H., Aller, D. (2002): Hailfall: the relationship between radar-derived hail kinetic energy and hail damage to buildings. Atmospheric Research, Vol. 63, 177-207, Elsevier.

IBHS (2002): Is Your Home Protected From Hail Damage? A Home-owners Guide to Hail Retrofit. Institute for Business & Home Safety, Tampa.

Leigh, R., Kuhnel, I. (2001): Hailstorm Loss Modelling and Risk Assessment in the Sydney Region. Natural Hazards, Vol. 24, Issue 2, 171-185, Dordrecht.

Löwe, C. (1998): Freibewitterung von Lichtplatten aus Kunststoffen. Eine Langzeitstudie während elf Jahren. Chimia 52, Neue Schweizerische Chemische Gesellschaft, pp.182-192.

McMaster, H. (2001): Hailstorm Risk Assessment in Rural New South Wales. Natural Hazards, Vol. 24, Issue 2, 187-196, Dordrecht.

Münchener Rück (1984): Hagel. Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft, München.

Paterson, D.A., Sankaran, R. (1994): Hail impact on building envelopes. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, No. 53, 229-246.

Risk Frontiers Australia: <http://www.es.mq.edu.au/NHRC/web/scales/scalespage12.htm>, Date: 02.12.02

SIGaB (2002): Le verre et la sécurité. Documentation. Institut suisse du verre dans le bâtiment, Schlieren (www.sigab.ch).

Schiesser, H.H. (1988): Fernerkundung von Hagelschäden mittels Wetterradar. Remote Sensing Series, Geographisches Institut, Universität, Zürich.

Schiesser, H.H. (2006): Hagelstürme in der Schweiz: Wiederkehrperioden von schadenbringenden Hagelkorngrossen – eine Abschätzung. Studie erstellt im Auftrag der Präventionsstiftung der kantonalen Gebäudeversicherungen, Bern.

Stucki, M., Egli, Th. (2007): Répertoire de la protection contre la grêle – Rapport de synthèse. Rapport élaboré sur mandat de la Fondation de prévention des établissements cantonaux d'assurance, Berne.

Summers, P.W., Wojtiw, L. (1971): The economic impact of hail damage in Alberta, Canada and its dependence on various hailfall parameters. 7th Conf. Severe Local Storms, 158-163, Kansas City.

Vanomsen, P., Egli, Th. (2007): Elementarschutzregister. Schlussbericht zum Teilprojekt. Studie erstellt im Auftrag der Präventionsstiftung der kantonalen Gebäudeversicherungen, Bern.

1

Yeo, S., Leigh, R., Kuhne, I. (1999): The April 1999 Sydney hailstorm. *Natural Hazards Quarterly*, Vol. 5, Issue 2, Natural Hazards Research Centre, Macquarie University, Sydney.

Pluie

2

Heinrichs, F.J. et al. (1995): Gebäude- und Grundstücksentwässerung. Kommentar zu DIN 1986, Beuth Verlag GmbH.

MeteoSchweiz (2007): Extremwertanalyse für Kurzzeit Niederschlags-
spitzen. Bericht des Bundesamtes für Meteorologie und Klimatologie
zuhanden der Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen, Bern.

Rickli, Ch., Forster, F. (1997): Einfluss verschiedener Standorteigenschaften auf die Schätzung von Hochwasserabflüssen in kleinen Einzugsgebieten. *Schweizerische Zeitschrift für das Forstwesen*, Nr. 148, Zürich.

3

Robinson, G., Baker, M.C. (1975): Wind-driven rain and buildings. *National Research Council Canada No. 14792*, Ottawa.

Scherrer, S. (1997): Abflussbildung bei Starkniederschlägen – Identifikation von Abflussprozessen mittels künstlicher Niederschläge. Mitteilung Nr. 147, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH, Zürich.

4

van Mook, F.J.R. (2002): Driving rain on building envelopes. Fakultät für Architektur, Planung und Gebäude, Bausteine 69, Technische Universität, Eindhoven.

Neige

5

Auer, M., Meister, R., Stoffel, A., Weingartner, R. (2004). Analyse und Darstellung der mittleren monatlichen Schneehöhen in der Schweiz. *Wasser Energie Luft*, 96. Jahrgang, Heft 7/8.

Lawinenwarnzentrale Bayern (2006). Anleitung zum Abschätzen einer aktuellen Schneelast. Bayerisches Landesamt für Umwelt.

Meister, R. (1986). Density of New Snow and its dependency on Air temperature and Wind. *Zürcher Geographische Schriften* 23, pp. 73-79.

Seierstad, J.-K. (2006). Snow measurements in Norway using snow pillows. Hydrological Department. Norwegian Water Resources and Energy Directorate.

6

Stiefel, U., Ulrich-Weibel, D., Meister, R., Margreth, S. (2004). Improving Codes for Snow Loads in Switzerland. 5th International Conference on Snow Engineering, July 5 - 7, 2004, Davos, Switzerland.

Liens

7

www.vkf.ch
www.planat.ch
www.météosuisse.ch
www.alarmemeteo.ch