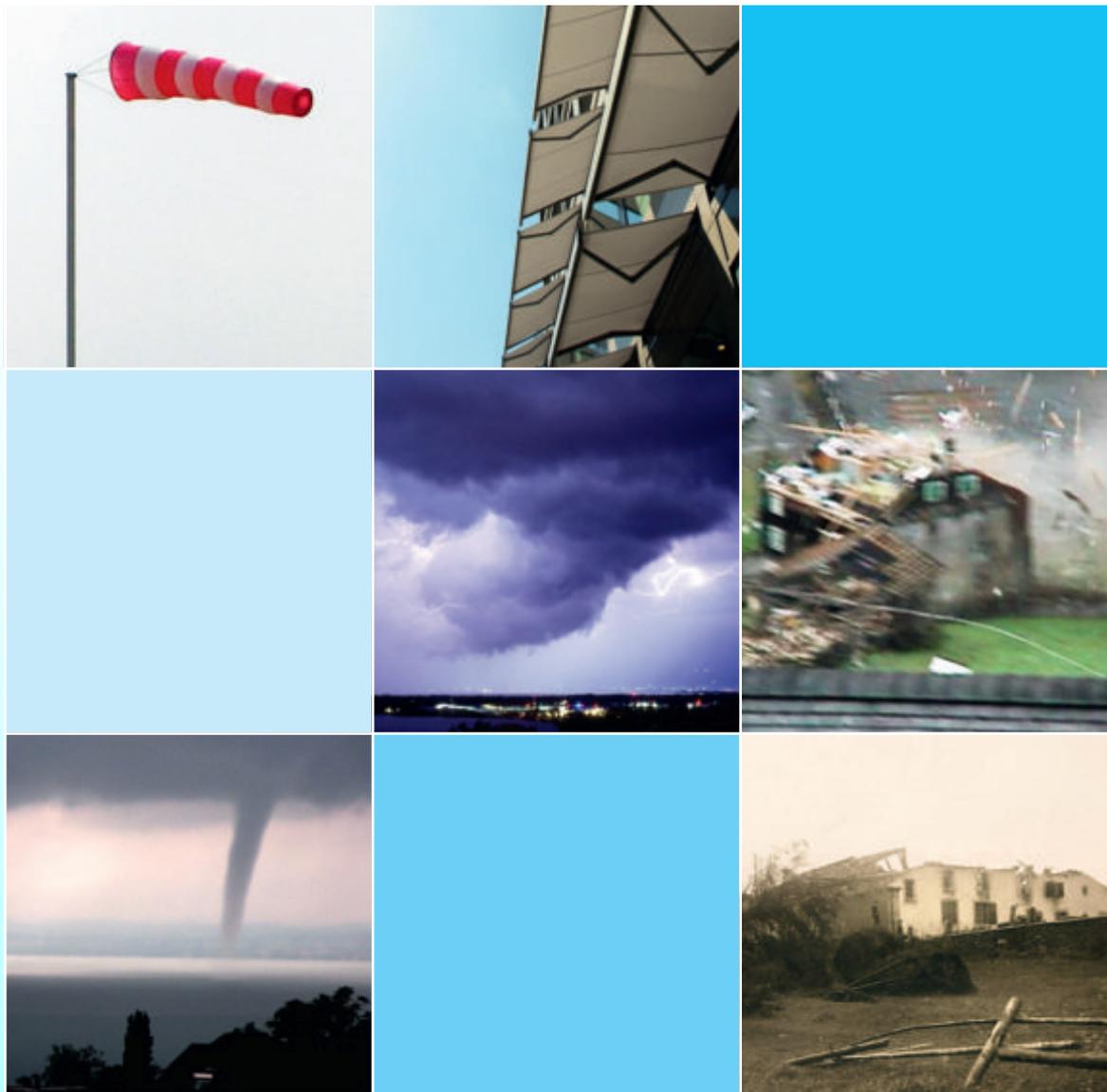


Projet «Réduction des dommages à l'enveloppe
du bâtiment dus aux actions extrêmes du vent»

Protection des toits et des façades contre les dommages dus au vent

Rapport de synthèse à l'intention des architectes,
maîtres d'ouvrages et propriétaires de bâtiments



Editeur

Tous droits réservés © 2010
Fondation de prévention des Etablissements cantonaux d'assurance
Bundesgasse 20
CH – 3001 Berne
www.praeventionsstiftung.ch



Auteur de ce rapport de synthèse

M. Weidmann, dipl. sc. nat. EPF (géologue), Bureau de relations publiques
dans le domaine des Sciences de la Terre, Coire

Experts-conseil

- Jacques-André Hertig, dr sc. techn., ing. civil dipl. EPF, Wind Engineering EFLUM – EPFL, Lausanne
- Bruno Zimmerli, prof. dr sc. techn., ing. civil dipl. EPF
- Dörte Aller, Aller Risk Management, Zurich
- Olivier Lateltin, chef de la prévention des dommages dus aux éléments naturels, Association des Etablissements cantonaux d'assurance incendie AEAI, Berne

«Réduction des dommages à l'enveloppe du bâtiment dus aux actions extrêmes du vent» – Rapport final

Auteurs: J.-A. Hertig, B. Zimmerli. Co-auteurs: C. Alexandrou, P. Boog, T. Egli, J.-M. Fallot, R. Räss, H. Sahli, F. Testuz, P. Vanomsen

Coordination

Olivier Lateltin, chef de la prévention des dommages dus aux éléments naturels,
Association des Etablissements cantonaux d'assurance incendie AEAI, Berne

Traduction

Christian Marro, Traductonet – Etudes et traductions scientifiques, 1997 Haute-Nendaz

Réalisation et production

Rolf Meier, chef des relations publiques, Association des Etablissements cantonaux d'assurance incendie

Tirage

- 1500 exemplaires en allemand
- 500 exemplaires en français

Prix

CHF 30.-

Numéros ISBN

978-3-9523300-6-7 (version allemande)
978-3-9523300-7-4 (version française)

Photos au recto de la couverture: Wikipedia; M. Weidmann, Coire; Dr Andreas Walker, Meteobüro+Bildagentur, Hallwil; Christian Häfliger, Büren (NW); Hans-Peter Milt, Rorschacherberg; Perrochet-Matile, Lausanne. Photos au verso de la couverture: Nidwaldner Sachversicherung.

Page	
2	Impressum
3	Table des matières
4	1 Avant-propos
5	2 Résumé
6	3 Le vent source de dommages en Suisse
6	3.1 Quels vents occasionnent des dommages en Suisse?
6	3.2 Beaufort: une mesure de la vitesse moyenne du vent
7	3.3 Les rafales, premières responsables des dommages
8	3.4 L'échelle Torro
10	3.5 Fréquence des rafales génératrices de dommages
12	3.6 Construire un bâtiment résistant au vent: pour quelle vitesse et quelle pression?
14	4 Le bâtiment soumis au vent
14	4.1 Le bâtiment est contourné par le vent
15	4.2 Le vent engendre des pressions et des suctions
16	4.3 La succion joue un rôle crucial
17	4.4 Comment peut-on se représenter la pression et la succion?
18	4.5 Dommages à la structure porteuse du bâtiment: dangereux, mais rares
20	4.6 Dommages à l'enveloppe du bâtiment: très fréquents
21	4.7 Différents éléments, différentes normes
22	5 La toiture soumise au vent
22	5.1 Comment se comportent les différentes formes de toits sous l'effet du vent?
24	5.2 D'innombrables dommages mineurs à modérés aux toitures: la règle
26	5.3 Pression et succion sur les avant-toits et à la périphérie des toits
28	5.4 Lorsque la tempête torture les toits, chaque vis compte, surtout s'ils sont en tôle!
30	5.5 Des dommages considérables à la toiture: plutôt l'exception
31	5.6 Comment faire pour que le toit d'un bâtiment existant résiste aux tempêtes?
33	5.7 Des toits résistants aux tempêtes grâce au contrôle et à l'entretien
34	6 Les façades et les stores soumis au vent
34	6.1 Comment se comportent les différents types de façades sous l'effet du vent?
36	6.2 La succion exercée sur la façade aux angles du bâtiment
38	6.3 A quel point les volets et les stores résistent-ils au vent et aux tempêtes?
40	6.4 Systèmes de veille pour stores solaires et à lamelles
41	6.5 Contrôle et entretien des façades, des volets et des stores
42	7 Dangers aux alentours des bâtiments
42	7.1 Arbres voisins en cas de tempête
44	7.2 Quand les dommages se propagent: l'effet domino
46	8 Couverture d'assurance en cas de sinistre
46	8.1 Comment définit-on un «vent tempétueux»?
48	Annexe A1: Informations spécifiques aux architectes
48	A1.1 Concevoir, construire et entretenir pour résister aux tempêtes: qui est compétent et qui est responsable de quoi?
50	A1.2 Répartition des responsabilités entre les spécialistes
52	A1.3 Le projet «Réduction des dommages à l'enveloppe du bâtiment dus aux actions extrêmes du vent: résumé et conclusions des auteurs
54	Annexe A2: Compléments sur les types de vents
54	A2.1 Tempêtes hivernales (tempêtes de vent d'ouest)
55	A2.2 Tempêtes orageuses
57	A2.3 Tempêtes de föhn
58	A2.4 Tornades
62	Annexe A3: Liste bibliographique, informations complémentaires

Il faut «beaucoup de souffle» ...

... à la prévention des dommages éléments naturels pour déployer des effets durables. Elle passe par une analyse fondamentale des problèmes, par des mesures conçues pour être mises en pratique et par leur application méticuleuse. La recrudescence des dommages dus aux éléments naturels – et son poids sur l'économie – ne peut être maîtrisée qu'en appliquant tous les volets de la gestion intégrée des risques.

Dans l'optique de cette approche intégrée, la Fondation de prévention des Etablissements cantonaux d'assurance a lancé le projet «Réduction des dommages à l'enveloppe du bâtiment dus aux actions extrêmes du vent». Car c'est surtout le vent qui demande un travail de longue haleine pour atteindre l'objectif visé: une vulnérabilité minimale de l'enveloppe du bâtiment, des sinistres en baisse et une charge moindre pour les communautés de risques regroupées au sein des Etablissements cantonaux d'assurance. Ce projet a été remarquablement mené à bien par Jacques-André Hertig (EPF Lausanne) et Bruno Zimmerli (ancien professeur à la Haute école de Lucerne – Technique & architecture). Leur rapport final très complet, intitulé «Réduction des dommages à l'enveloppe du bâtiment dus aux actions extrêmes du vent», ne se contente pas d'exposer les bases théoriques d'une manière détaillée. Il décrit aussi leur application dans le bâtiment.

Le présent rapport de synthèse, intitulé «Protection des toits et des façades contre les dommages dus au vent», a pour but de proposer aux architectes, projeteurs et maîtres d'ouvrages une introduction claire et compréhensible aux fondements scientifiques et techniques du rapport concluant le projet. Il souhaite leur dispenser des informations sur les dangers encourus, les motifs de dommages et les possibilités de les prévenir – tout en incitant les spécialistes concernés (météorologues, ingénieurs, architectes, assureurs, associations professionnelles) à élaborer conjointement des publications interdisciplinaires prolongeant cette synthèse. En effet, sa réalisation a soulevé diverses questions auxquelles il n'a pas été possible de répondre dans le cadre du présent rapport.

Grâce aux résultats du projet et au rapport de synthèse qui le parachève, le secteur du bâtiment dispose désormais de maintes connaissances pour améliorer la protection des toits et des façades contre les vents susceptibles de les endommager. Ces connaissances doivent maintenant passer dans la pratique. Ainsi, l'objectif de la Fondation de prévention des Etablissements cantonaux d'assurance – qui vise à endiguer durablement l'augmentation des dommages dus aux forces de la nature – sera étayé dans un domaine important des dangers naturels.

Fondation de prévention des
Etablissements cantonaux d'assurance



Dr Markus Fischer, président

Les vents générateurs de dommages

En Suisse, plusieurs sortes de vents sont susceptibles d'atteindre des vitesses de tempêtes, voire d'ouragans, et d'endommager des bâtiments: **tempêtes hivernales, bise, föhn, tempêtes orageuses et tornades**. Ils peuvent tous souffler en **rafales**, violents coups de vent qui affectent un périmètre restreint pendant quelques secondes seulement. En Suisse, les rafales les plus fortes atteignent une vitesse de pointe double de la vitesse moyenne du vent (mesurée sur dix minutes). C'est lors des rafales que le vent exerce les forces les plus intenses, aussi sont-elles les principales responsables des dommages à l'enveloppe du bâtiment – d'autant plus que leur pouvoir destructeur est fréquemment sous-estimé.

Quels dommages les bâtiments subissent-ils?

Les dommages infligés par les tempêtes à la **structure porteuse des bâtiments** sont certes dangereux, mais plutôt exceptionnels en Suisse. Les dégâts massifs à l'enveloppe sont également assez rares.

Si les tempêtes de grande étendue causent néanmoins des dommages globalement considérables en Suisse, c'est parce que **les toits et les façades** d'innombrables bâtiments subissent alors des dégâts mineurs à modérés, dont la réparation est souvent onéreuse pour différentes raisons.

Pourquoi les bâtiments subissent-ils des dommages?

Les dommages aux toits et aux façades – qui affectent surtout des éléments particuliers généralement exposés comme les avant-toits – sont principalement dus aux forces de succion. Les stores solaires sont si fins qu'ils peuvent déjà être endommagés sous l'effet de faibles rafales, au point que plusieurs Etablissements cantonaux d'assurance ne les couvrent pas.

Les dommages dus au vent trouvent aussi leur origine dans la phase de construction: pression sur les coûts; pression extrême sur les délais, qui ne laisse guère de temps pour les contrôles; exécution incorrecte; fixations insuffisantes ou inappropriées; travail bâclé. Lorsque la structure porteuse est endommagée, voire détruite, c'est presque toujours à cause d'erreurs de dimensionnement ou d'exécution.

Dans les façades modernes, de construction complexe, les forces de pression et de succion dues au vent n'affectent pas seulement la face extérieure de l'enveloppe. Elles agissent aussi à l'intérieur de celle-ci. Toute ignorance ou incertitude entachant la détermination du régime des pressions à l'intérieur de la façade peut conduire à la construire trop faible ou trop sensible au vent.

Les dommages occasionnés par les tempêtes sont souvent dus à des défauts dans les transitions entre la structure porteuse et l'enveloppe du bâtiment. Ces défauts sont fréquemment imputables à un manque de clarté dans la répartition des compétences lors de la conception et de l'exécution des transitions.

Dans les bâtiments existants, les dommages occasionnés par les tempêtes sont principalement dus à un entretien déficient ou à des transformations inappropriées.

Comment éviter les dommages dus au vent?

Pour les bâtiments neufs, le maître de l'ouvrage, qui choisit à qui il va confier le projet et l'exécution des travaux, ne doit pas se fonder uniquement sur le montant des offres. Dans la plupart des cas, l'augmentation de prix à consentir pour avoir un bâtiment de bonne qualité est largement inférieure au coût des dommages pouvant être infligés par une tempête à un bâtiment de qualité médiocre. Pour assurer la qualité d'une construction, il faut notamment diminuer la pression sur les coûts et les délais d'exécution et faire contrôler la réalisation des travaux par un spécialiste.

Les dommages causés par les tempêtes aux transitions entre la structure porteuse et l'enveloppe du bâtiment peuvent être évités si le groupe chargé du projet résout conjointement les problèmes liés au vent. Cela permet d'éviter toute déficience aux passages entre les différentes étapes de la conception.

Pour les bâtiments existants, le propriétaire doit impérativement effectuer des contrôles et des travaux d'entretien systématiques afin d'assurer la résistance aux tempêtes. Contrôler et entretenir est moins coûteux, et aussi plus simple, que réparer.

Trois bonnes raisons pour éviter que les bâtiments soient endommagés par les tempêtes

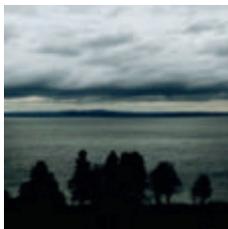
- Des débris emportés par le vent peuvent blesser des personnes ou causer des dégâts matériels; le propriétaire du bâtiment risque alors des poursuites judiciaires.
- La réparation des dommages dus aux tempêtes occasionne généralement des désagréments (travail administratif, déblaiement, artisans à l'œuvre dans la maison, bruit, etc.).
- En prévenant les dommages, on permet aux Etablissements cantonaux d'assurance de maintenir les primes à un niveau modéré.

3 Le vent source de dommages en Suisse

3.1 Quels vents occasionnent des dommages en Suisse?

Tempête hivernale

Venant du secteur ouest (nord-ouest à sud-ouest), la tempête hivernale – aussi nommée «tempête de vent d’ouest» – peut occasionner des dommages sur des centaines de kilomètres carrés. Détails à la page 54.



Tempête orageuse

Type de tempête le plus courant en Suisse. Survient lors d’orages locaux ou régionaux. Détails à la page 55.



Bise

Courant froid venant du nord-est sur le Plateau suisse. Ce vent continu peut persister plusieurs jours.



Föhn

Vent descendant impétueux qui, sur le versant nord des Alpes, souffle vers la bordure du massif en empruntant des «vallées à föhn». Il se manifeste aussi sur le versant sud des Alpes sous le nom de «föhn du nord». Détails à la page 57.



Photos:
J.-A. Hertig,
H.-P. Milt,
A. Walker

Tornado

Tempête tourbillonnaire extrêmement violente, mais très localisée. Survient principalement dans le Jura et le nord de la Suisse. Détails à la page 58.



3.2 Beaufort, une mesure de la vitesse moyenne du vent

Dans l’échelle de Beaufort, la vitesse moyenne du vent (mesurée sur dix minutes) est subdivisée selon treize degrés Beaufort (Beaufort 0 = calme).

Degrés Beaufort	Beaufort 1	Beaufort 2	Beaufort 3	Beaufort 4	Beaufort 5	Beaufort 6
Appellation	Très légère brise	Légère brise	Petite brise	Jolie brise	Bonne brise	Vent frais
Vitesse moyenne sur dix minutes	Entre 1 et 5 km/h	Entre 6 et 11 km/h	Entre 12 et 19 km/h	Entre 20 et 28 km/h	Entre 29 et 38 km/h	Entre 39 et 49 km/h

3.3 Les rafales, premières responsables des dommages

Rafales des tempêtes hivernales

Les rafales des tempêtes hivernales atteignent des pointes de 140 à 250 km/h.

Rafales des tempêtes de bise

Les tempêtes de bise ne sont pas aussi violentes que les tempêtes hivernales et elles soufflent moins par rafales, mais elles peuvent durer plusieurs jours.

Une rafale est un coup de vent bref et violent qui touche un périmètre restreint pendant quelques secondes seulement. Plusieurs rafales se succèdent souvent à intervalles rapprochés. En Suisse, les rafales les plus violentes possibles atteignent des **vitesse de pointe environ doubles de la vitesse moyenne du vent (mesurée sur dix minutes = «vent moyen»)**.

Doubler la vitesse du vent revient à quadrupler les forces qu'il exerce. Par conséquent, **les rafales les plus violentes possibles sont quatre fois plus intenses que le vent moyen** (exemple à la page suivante). Les rafales les plus violentes qui peuvent accompagner un vent «inoffensif», soufflant par exemple à une vitesse moyenne de 35 km/h (Beaufort 5), sont déjà suffisamment fortes pour endommager des éléments sensibles d'un bâtiment.

C'est lors des rafales que le vent exerce les plus grandes forces sur les bâtiments, aussi sont-elles les principales responsables des dommages aux bâtiments.

Rafales des tempêtes orageuses

Des rafales violentes et inattendues se produisent surtout au début des tempêtes orageuses. Elles atteignent fréquemment des pointes de 100 km/h, mais une vitesse de 200 km/h est aussi possible ponctuellement.

Rafales des tempêtes de föhn

Les rafales des tempêtes de föhn atteignent des pointes de 130 à 160 km/h dans les vallées alpines, voire plus de 250 km/h sur les crêtes très exposées.

Rafales des tornades

En Suisse, la plupart des tornades génèrent des rafales de l'ordre de 200 km/h. Dans les tornades extrêmes, le vent souffle à plus de 500 km/h en bordure du «tuba».

On ne parle de «tempête» au sens de Beaufort que lorsque la vitesse moyenne du vent sur dix minutes atteint 89 km/h au moins, alors qu'une rafale soufflant à 89 km/h pendant quelques secondes n'est pas une tempête.

Le vent occasionne des dommages à partir du degré Beaufort 8 (63 km/h). Mais il peut déjà endommager, par exemple, des stores solaires à une vitesse moindre, à cause de leur construction très fine (voir pages 38/39). Echelle tirée de [09]

Beaufort 7	Beaufort 8	Beaufort 9	Beaufort 10	Beaufort 11	Beaufort 12
Grand frais	Coup de vent	Fort coup de vent	Tempête	Violente tempête	Ouragan
Entre 50 et 62 km/h	Entre 63 et 74 km/h	Entre 75 et 88 km/h	Entre 89 et 102 km/h	Entre 103 et 117 km/h	Plus de 118 km/h

3 Le vent source de dommages en Suisse

Vitesse du vent doublée = forces quadruplées: un exemple



Doubler la vitesse du vent revient à quadrupler les forces qu'il exerce. Exemple concret:

Ce bâtiment est exposé à un vent de vitesse moyenne 70 km/h (Beaufort 8).

La pression exercée sur le bâtiment par ce vent de 70 km/h vaut environ 0,23 kN/m².

3.4 L'échelle Torro

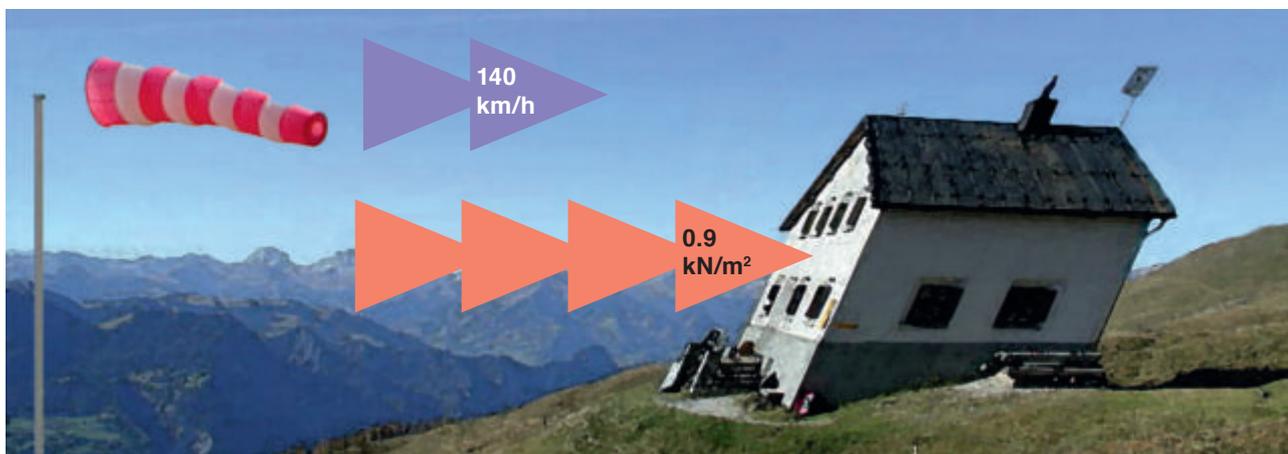
L'échelle Torro décrit les dommages pouvant être infligés par des rafales. Elle va du degré T0 au degré T11; les degrés T0 à T4 sont développés ci-contre.

Cette échelle s'applique uniquement aux régions de plaine et aux terrains normalement exposés. Les dommages ne sont pas les mêmes dans les vallées à föhn et sur les montagnes, car on y construit généralement d'une manière appropriée et même les arbres se sont adaptés au régime local des vents. Seuls les objets mobiles, comme les chaises de jardin en plastique, sont emportés par un vent de même vitesse en plaine et sur les montagnes.

Certains termes utilisés dans cette échelle correspondant à l'Europe centrale (tels que «toits plats non fixés») ne sont pas en usage dans la branche en Suisse et ne répondent pas aux normes suisses.

Source: Echelle des dommages occasionnés par les tempêtes. Description détaillée selon les échelles Fujita et Torro, adaptées à l'Europe centrale. Dans [09]

	T0	T1
Bâtiments	Vitesse des rafales entre 62 et 90 km/h Des tuiles peuvent se relâcher aux endroits exposés. Les stores extérieurs et les tentes subissent de légers dommages.	Vitesse des rafales entre 90 et 118 km/h Les tuiles et les tôles subissent des dommages légers. Les constructions légères subissent des dommages faibles, mais pas de dommages structurels.
Arbres	Les menus branchages sont cassés.	Des arbres sont brisés.
Objets	Un sillon est visible dans les céréales sur pied. Les objets légers sont soulevés du sol. Des échafaudages peuvent s'effondrer.	Les meubles de jardin et les objets légers sont renversés; ils peuvent être emportés par des tourbillons. Les clôtures en bois sont abattues.



Les rafales les plus fortes possibles atteignent une vitesse de pointe environ **double** de la vitesse moyenne du vent.

Par conséquent, dans l'exemple ci-dessus, les rafales les plus fortes pouvant survenir lorsque le vent souffle à une vitesse moyenne de 70 km/h atteignent des pointes de $2 \times 70 \text{ km/h} = 140 \text{ km/h}$.

La pression exercée sur le bâtiment par ces rafales de 140 km/h vaut environ $0,9 \text{ kN/m}^2$. Elle est donc **quatre fois supérieure** à la pression exercée par un vent régulier de vitesse moyenne 70 km/h.

T2	T3	T4
<p>Vitesse des rafales entre 118 et 151 km/h</p> <p>Les toits de tuile 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.</p>	<p>Vitesse des rafales entre 151 et 184 km/h</p> <p>Les toits de tuile 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.</p>	<p>Vitesse des rafales entre 184 et 220 km/h</p> <p>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.</p>
<p>Quelques grosses branches sont vrillées ou brisées; les petits arbres sont déracinés.</p>	<p>Quelques gros arbres sont déracinés.</p>	<p>De nombreux arbres isolés et en forêt sont déracinés ou cassés.</p>
<p>Des objets lourds sont aussi soulevés du sol; ils sont susceptibles de devenir des projectiles dangereux. Les véhicules et les remorques peuvent être renversés.</p>	<p>De nombreux véhicules et remorques sont renversés. Les voitures en circulation sont déportées hors de la route.</p>	<p>Les véhicules et les remorques sont gravement endommagés. Les débris emportés par le vent présentent un danger élevé et causent des dommages importants.</p>

3.5 Fréquence des rafales génératrices de dommages

Le tableau ci-contre indique la vitesse des rafales à laquelle il faut s'attendre dans un intervalle de temps donné (une année, 10 ans, 50 ans, 100 ans) à l'emplacement de diverses stations de mesures météorologiques situées pour la plupart en zone habitée.

D'après ce tableau, par exemple, le site de la station de Buchs-Suhr subit des pointes de rafales de 71 km/h en moyenne une fois par année, des pointes de 97 km/h en moyenne une fois tous les 10 ans, des pointes de 110 km/h en moyenne une fois tous les 50 ans et des pointes de 116 km/h en moyenne une fois tous les 100 ans.

Les rafales de 71 km/h, 97 km/h, 110 km/h et 116 km/h peuvent se produire n'importe quand; mais la probabilité d'occurrence d'une rafale de 116 km/h est moindre que pour une rafale de 71 km/h.

Ce tableau indique que les zones habitées de Suisse sont touchées au moins une fois par année par des rafales de l'ordre de 60 à 80 km/h. Il faut s'attendre à des rafales de l'ordre de 100 à 140 km/h en moyenne une fois tous les 10 ans.

D'après les mesures fournies par des stations météorologiques situées sur des crêtes et des sommets, il faut s'attendre, dans ces endroits exposés, à ce que

- des rafales atteignant 220 km/h se produisent en moyenne une fois tous les 50 ans dans le Jura
- des rafales atteignant même 280 à 320 km/h se produisent en moyenne une fois tous les 50 ans dans les Alpes.



Tempête sur le lac des Quatre-Cantons.
Photo: Andreas Walker

Canton	Station de mesure de ...
Argovie	Buchs-Suhr
Berne	Adelboden
	Berne-Liebefeld
	Interlaken
	Wynau
Bâle-Ville	Bâle-Binningen
	Rünenberg
Fribourg	Moléson
	Plaffeien-Oberschrot
Genève	Genève-Cointrin
Glaris	Glaris
Grisons	Coire-Ems
	Davos
	Disentis
	Samedan - St. Moritz
	Scuol
Jura	Fahy
Lucerne	Lucerne
	Napf
	Pilate
Neuchâtel	Chasseral
	La Chaux-de-Fonds
	Neuchâtel
Obwald	Engelberg
St-Gall	St-Gall
Schaffhouse	Schaffhouse
Thurgovie	Güttingen
	Tänikon
Tessin	Locarno-Magadino
	Lugano
	Piotta
Uri	Altdorf
Vaud	Aigle
	Changins
	Payerne
	Pully
Valais	Grand St-Bernard
	Montana
	Sion
	Viège
	Zermatt
Zurich	Wädenswil
	Zurich-Reckenholz
	Zurich Fluntern
	Zurich-Kloten
-	Vaduz

Vitesse des rafales en km/h

	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	plus de 200		
en moyenne une fois	... tous les ans			... tous les 10 ans				... tous les 50 ans				... tous les 100 ans						
			71	97		110	116											
			84					132		157	168							
		74				116		137	146									
		79				110	125	132										
		73					122		147	157								
			91						143		169		181					
			84						141		169		181					
				107											232	295	322	
			95						147			173	184					
	72		105			122	130											
		89										174			217	236		
	77		100	111	116													
		83					121		141	149								
53		75	86	91														
	64						118			145	157							
	62		83	93	98													
			80				119		139	147								
			82					128			151	161						
								121				161		182	191			
					103								173			209	224	
										140						214	252	268
			81				121		141	150								
			84				117		134	141								
			83						138			167	179					
			87					125		144	152							
				90						147			176	188				
			81					128			152	163						
	77						115		134	142								
	71						113		135	144								
			88				117		132	139								
68				91	103	108												
						111				154			177	186				
	75				105		120	127										
		86					121		140	147								
	79				105	118	124											
65					100	118	125											
				98												246	322	354
	73					113		133	142									
	73			97	108	113												
	71						129				158		170					
		83					121		140	149								
		82					121		141	149								
		87					120	138	145									
			94							148			175	187				
	78					118		139	147									
				99							153			180	191			

Source: Hertig, J.-A.: Analyse des vents extrêmes pour la carte des pressions dynamiques de la norme SIA 261

3.6 Construire un bâtiment résistant au vent: pour quelle vitesse et quelle pression?

Pour construire un bâtiment qui ne s'effondre pas même sous l'effet de fortes rafales, il faut répondre à cette question incontournable: quelles pointes de vitesse les rafales peuvent-elles atteindre concrètement à l'emplacement du futur bâtiment?

L'ingénieur chargé de calculer la résistance au vent de la structure porteuse d'un bâtiment (voir page 18) – qui en «vérifie la sécurité structurale» – utilise la **carte des vents de la norme SIA 261 (2003)** pour répondre à cette question (voir page ci-contre). Cette carte lui indique la vitesse de pointe qui survient une fois tous les 50 ans à l'emplacement du bâtiment, ou plus exactement la pression subie par une surface disposée perpendiculairement à un vent de cette vitesse. La «**pression dynamique**», comme on la nomme, est calculée en fonction de la vitesse du vent.

Les valeurs de pression dynamique qui figurent sur la carte des vents sont basées, d'une part, sur des mesures de la vitesse des rafales et de la direction du vent (séries de mesures de 20 à 25 ans) et, d'autre part, sur des simulations numériques d'événements historiques (tempêtes comme Lothar, Martin ou Vivian). La période de retour de 50 ans a été choisie sur le modèle de l'Euronorme.

Des vents plus forts, générant des pressions dynamiques supérieures à celles de la carte, peuvent aussi se produire en Suisse. Mais ils surviennent moins d'une fois tous les 50 ans. Lorsqu'il vérifie la sécurité structurale d'un bâtiment, l'ingénieur inclut une marge de sécurité prenant en compte les forces générées par un vent qui souffle moins d'une fois tous les 100 ans.

Types de vents susceptibles d'occasionner des dommages. La carte des vents tient compte de tous les types de vents soufflant en Suisse qui peuvent occasionner des dommages (tempêtes hivernales, tempêtes orageuses, föhn, etc.).

Configuration du terrain. Dans les Alpes, la vitesse du vent – et par conséquent la pression dynamique qu'il génère – est généralement plus élevée que sur le Plateau et dans le Jura. La carte des vents tient compte de cette disparité, imputable aux différences de relief entre les régions. Lorsqu'un site se trouve sur une crête, un sommet ou une pente, il faut vérifier si la valeur indiquée sur la carte doit être corrigée en conséquence.

Direction du vent. La norme SIA 261 considère toujours la pression dynamique la plus défavorable subie par un bâtiment – indépendamment de la direction de l'éventuel vent dominant. On admet que le vent extrême peut venir d'une direction quelconque.

Rugosité du terrain. Outre la configuration du terrain (sommet, vallée, etc.), sa rugosité influence aussi la vitesse du vent. En règle générale, plus le terrain est irrégulier, plus les écoulements d'air proches du sol sont freinés et plus l'air est tourbillonnant.

En Suisse, on distingue quatre catégories de rugosité du sol:

- a) Rive lacustre (la surface lisse de l'eau est peu rugueuse pour le vent qui souffle d'un lac vers un bâtiment)
- b) Grande plaine
- c) Localité ou milieu rural
- d) Zone urbaine étendue (p. ex. Zurich). Un tel périmètre, avec ses nombreux bâtiments proches les uns des autres, freine efficacement le vent à proximité du sol comme une sorte de grand tapis laineux aux contours irréguliers; aussi est-ce ce type de surface qui présente la rugosité la plus forte.

Toutes les valeurs indiquées par la carte des vents s'appliquent au type «milieu rural». Si l'emplacement du bâtiment considéré se trouve dans une zone de rugosité différente, il faut corriger la valeur selon la carte par un coefficient approprié.

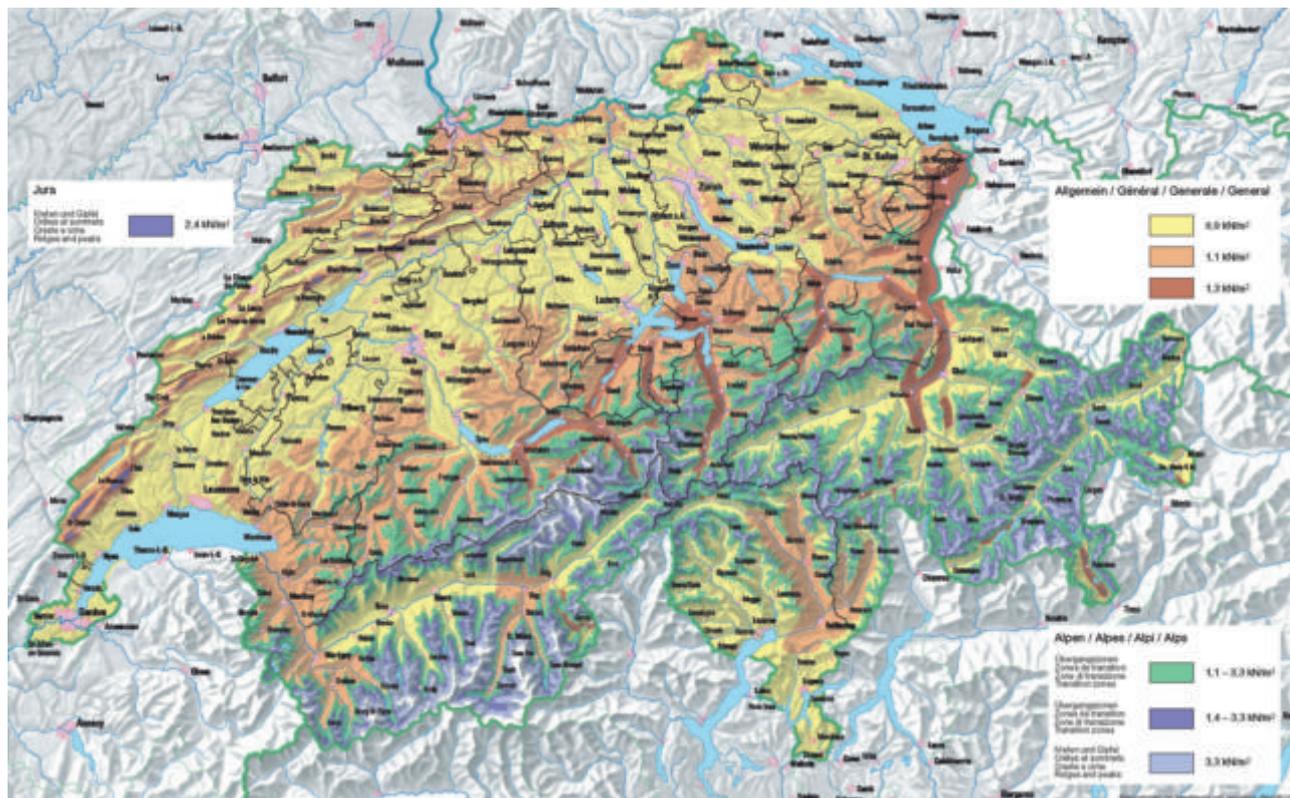
Hauteur du bâtiment. Les valeurs de pression – dépendantes de la vitesse – indiquées dans la carte s'appliquent à une hauteur de 10 m (dite «**hauteur de référence**»). Si le bâtiment considéré est plus ou moins haut que ces 10 m, il faut corriger la valeur selon la carte par un coefficient approprié.

Forme du bâtiment. Les vitesses indiquées dans la carte des vents sont valables pour tous les bâtiments, car elles s'appliquent à leur façade frontale. La norme SIA 261 fournit en annexe des coefficients de pression tenant compte de différentes formes de bâtiments. Des configurations spéciales peuvent être étudiées en soufflerie ou au moyen d'un logiciel CFD (mécanique numérique des fluides).

Source: [26]

La carte des vents de la norme SIA 261 (2003)

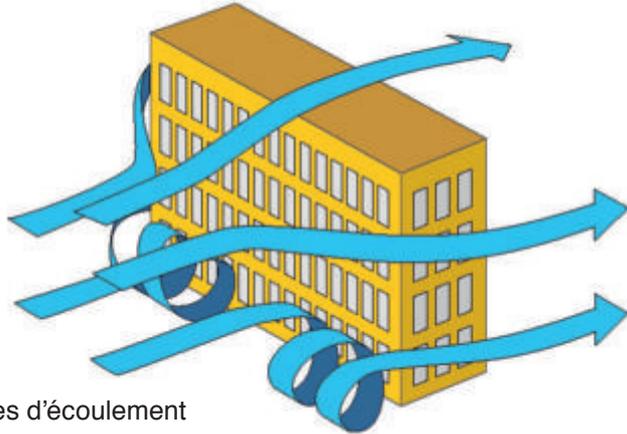
Cette carte indique la pression dynamique qu'un vent susceptible d'occasionner des dommages, qui se produit statistiquement une fois tous les 50 ans, exerce à une hauteur de 10 m sur un bâtiment situé en milieu rural (source: [17], annexe E; l'interprétation des zones de transition est décrite dans [26]).



Extrait de la norme SIA 261, Copyright © 2003 by SIA Zurich

Où?	Vitesse des rafales km/h	Vitesse des rafales m/s	Pression dynamique	
			kN/m ²	Pa
Général	139	39	0.9	900
Général	154	43	1.1	1100
Vallées à föhn, dont la plupart se trouvent au nord des Alpes et sont exposées à un vent dominant du sud	168	47	1.3	1300
Crêtes et sommets (zones élevées, exposées) du Jura	238	66	2.4	2400
Zones de transition dans les Alpes	154 - 285	43 - 79	1.1 - 3.3	1100 - 3300
Zones de transition dans les Alpes	174 - 285	48 - 79	1.4 - 3.3	1400 - 3300
Crêtes et sommets (zones élevées, exposées) des Alpes	285	79	3.3	3300

4.1 Le bâtiment est contourné par le vent

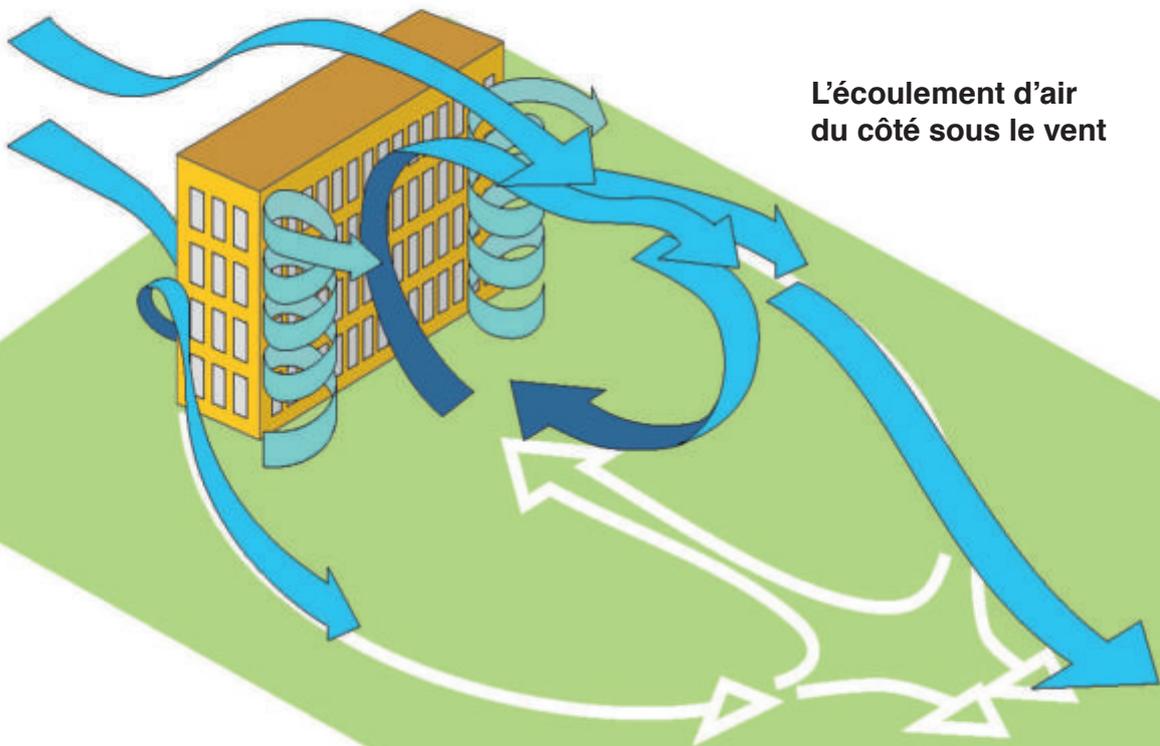


Lignes d'écoulement

L'écoulement d'air du côté exposé au vent

Dans la partie inférieure du bâtiment, l'air s'écoule sur les côtés

Lignes d'écoulement



L'écoulement d'air du côté sous le vent

Représentations schématiques très simplifiées d'après des figures de [07]

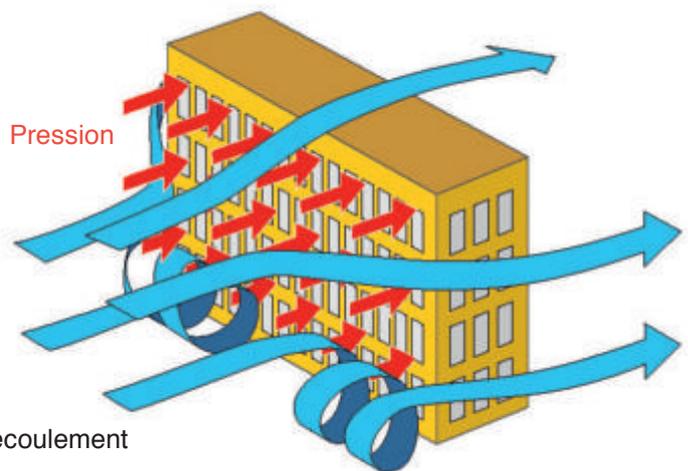
4.2 Le vent engendre des pressions et des succions

Lorsque le vent souffle contre un bâtiment puis s'écoule sur ses côtés, celui-ci subit des pressions et des succions. Par définition, les forces de pression et de suction s'appliquent toujours perpendiculairement à une surface.

Principe général: plus la vitesse du vent est élevée, plus les forces sont grandes.

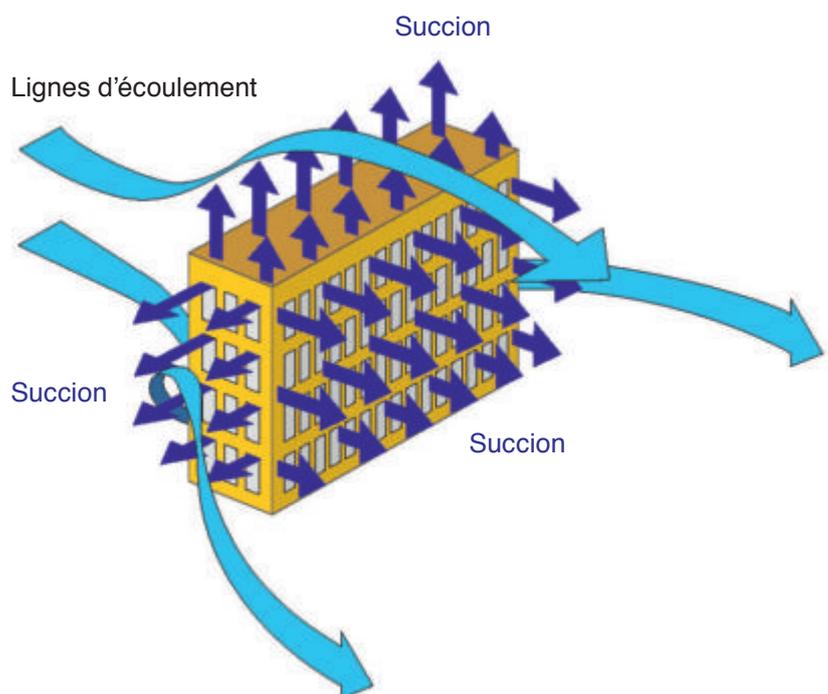
Pression du côté exposé au vent

La paroi du bâtiment exposée frontalement au vent subit généralement une **pression** (flèches rouges).



Suction du côté sous le vent

La paroi du bâtiment située sous le vent et les parois latérales parallèles à la direction du vent subissent généralement une **suction** (flèches bleues). Dans l'exemple ci-contre, le toit plat subit également une suction.



4.3 La succion joue un rôle crucial

Ce sont principalement les forces de succion qui causent des dommages aux toitures et aux façades.

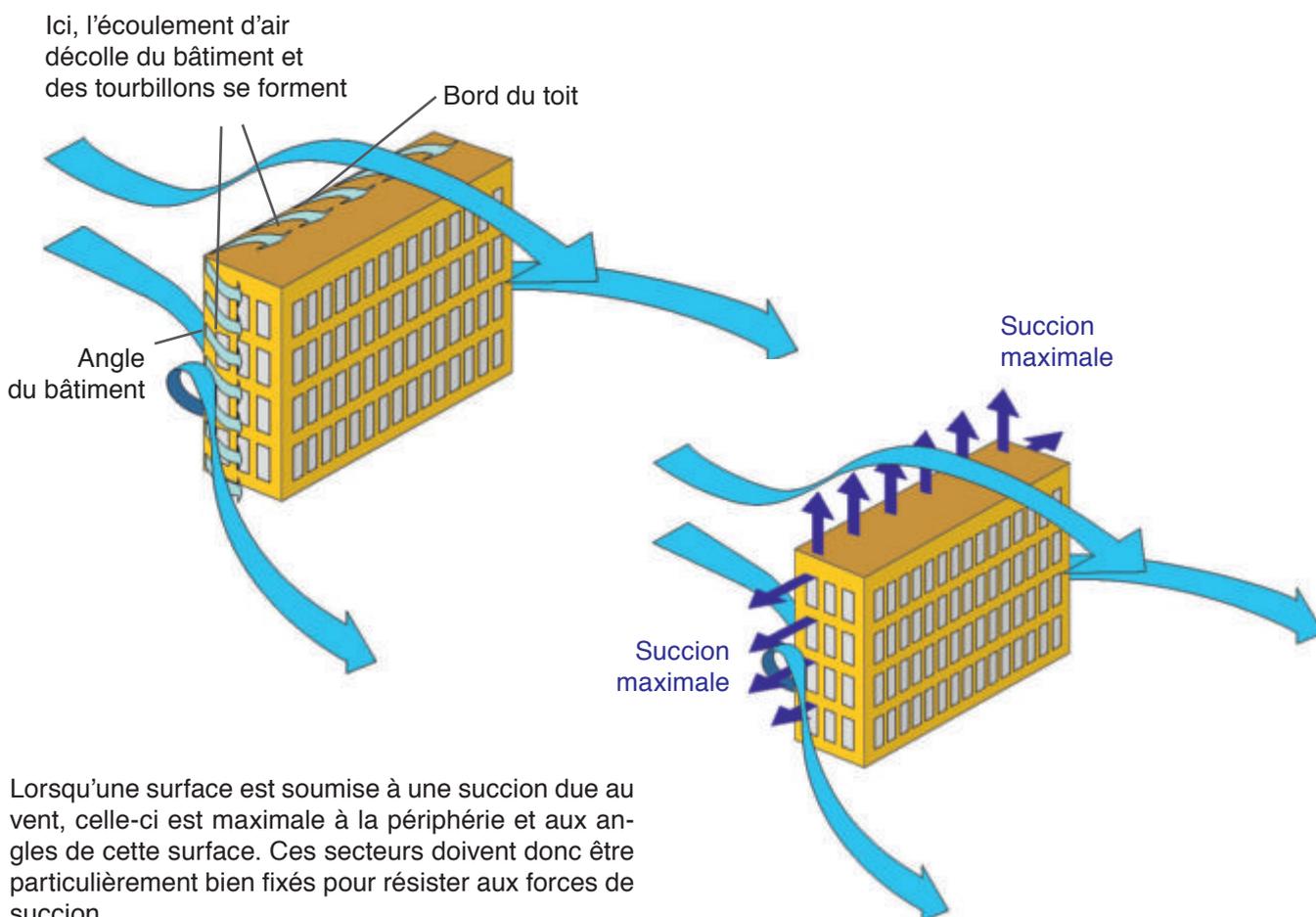
Lorsque des forces de succion et de pression s'exercent simultanément sur le même élément d'un bâtiment (avant-toit, paroi [avec des fenêtres ouvertes], revêtement de façade, etc.) et agissent selon la même direction, le vent déploie sa force maximale.



Le phénomène de succion est souvent sous-estimé, c'est pourquoi il cause de nombreux dommages. Photo: Etablissement cantonal d'assurance des Grisons

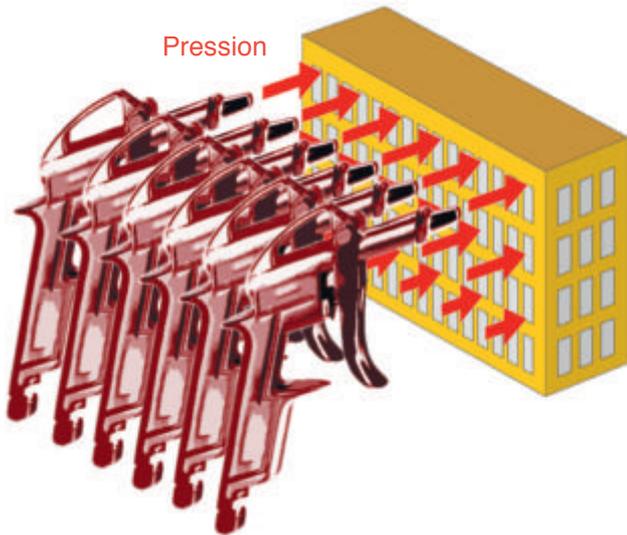
Les forces de succion sont les plus élevées aux arêtes des bâtiments

La succion est la plus forte aux angles d'un bâtiment exposés au vent et au bord du toit exposé au vent – car les tourbillons y décollent du bâtiment en générant une dépression (voir aussi page 36).

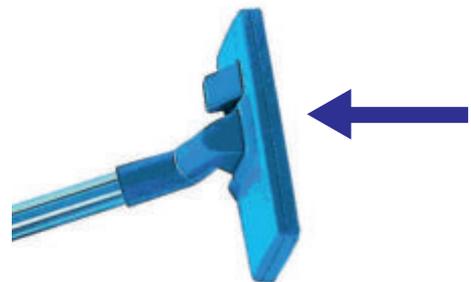


Lorsqu'une surface est soumise à une succion due au vent, celle-ci est maximale à la périphérie et aux angles de cette surface. Ces secteurs doivent donc être particulièrement bien fixés pour résister aux forces de succion.

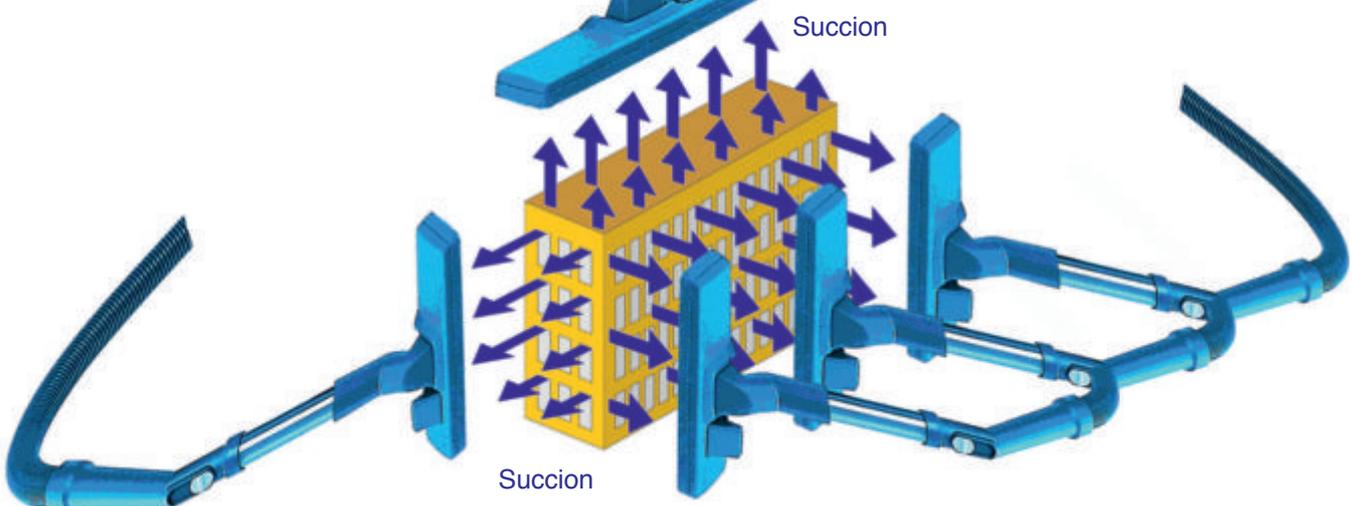
4.4 Comment peut-on se représenter la pression et la succion?



On peut se représenter la **pression** en imaginant d'énormes pistolets à air comprimé soufflant contre la surface considérée, toujours perpendiculairement à celle-ci.



On peut se représenter la **suction** en imaginant d'énormes aspirateurs aspirant toujours l'air en direction perpendiculaire à la surface considérée.



4.5 Dommages à la structure porteuse du bâtiment: dangereux, mais rares

Qu'est-ce qu'une «structure porteuse»?

La structure porteuse est le «squelette» qui supporte un ouvrage; elle se compose d'éléments tels que plafonds, parois, poutres, piliers en béton, colonnes en acier et fondations. Cette ossature est avant tout destinée à soutenir la toiture et les façades, mais elle supporte aussi la charge de la neige accumulée sur le toit et le poids du mobilier et des personnes se trouvant à l'intérieur du bâtiment.

Des dommages modérés à la structure porteuse peuvent déjà provoquer l'effondrement partiel ou total d'un bâtiment. C'est pourquoi il faut impérativement éviter qu'elle subisse des dommages critiques lors d'une tempête.

Résistante aux tempêtes grâce aux normes

Lorsque la structure porteuse est endommagée, la sécurité des personnes se trouvant à l'intérieur du bâtiment est menacée. C'est pourquoi la résistance de la structure porteuse fait l'objet d'une grande attention depuis plusieurs dizaines d'années.

Les **normes SIA 160 de 1956 et 1970** donnaient déjà pour le Plateau (milieu rural et petites localités) des valeurs de vent correspondant approximativement à celles des normes actuelles. Mais elles n'indiquaient aucune valeur pour les Alpes, les Préalpes et le Jura.

La **norme SIA 160 de 1989** considérait, comme la norme SIA 261 de 2003 actuellement en vigueur, des vitesses du vent jamais relevées jusqu'ici dans une station (valeur de référence à 10 mètres au-dessus du sol en milieu rural ou dans de petites localités). Mais la norme SIA 160 de 1989 ne fournissait des valeurs que pour le Plateau, valables aux altitudes inférieures à 2000 m.

Depuis l'entrée en vigueur de la norme SIA 160 de 1989, toutes les données concernant le vent se basent sur des analyses de valeurs extrêmes (loi de Gumbel) mesurées dans plus de 50 stations (ANETZ autrefois, SwissMetNet actuellement).

Si la structure porteuse d'un bâtiment a été dimensionnée conformément à la **norme SIA 261 de 2003 actuellement en vigueur**, elle est capable de résister aux tornades pouvant sévir en Europe centrale.

Une analyse des dommages causés par les tempêtes Vivian, Lothar et Martin, qui ont traversé la Suisse à la fin du 20^e siècle, a révélé que toutes les structures porteuses dimensionnées selon les normes SIA 160 (désormais SIA 260 à 266) ont parfaitement supporté ces événements: ni leur sécurité structurale ni leur aptitude au service n'ont été compromises.

Ces tempêtes ont endommagé exceptionnellement des structures porteuses – mal dimensionnées ou mal exécutées. Source: [12]



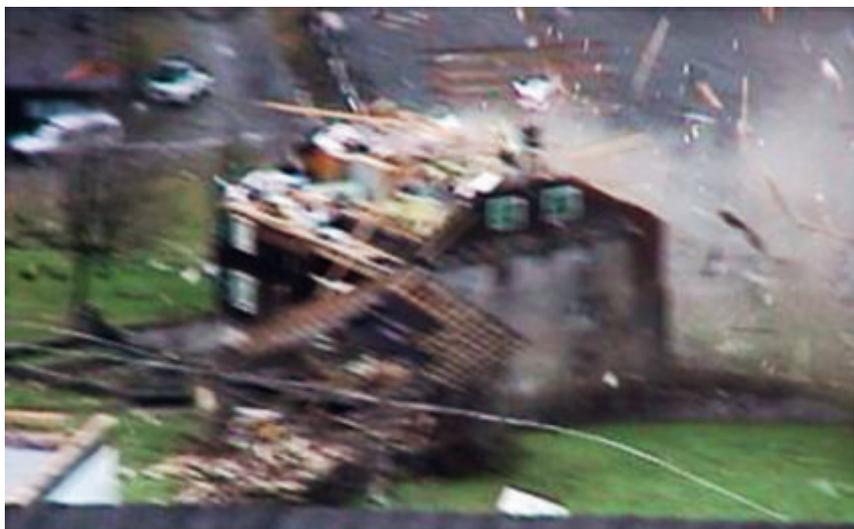
Les éléments massifs composant la structure porteuse sont bien visibles pendant la construction d'un bâtiment. Photo: M. Weidmann.

Le 12 juin 1926, une tornade a sérieusement endommagé des bâtiments au nord-est de La Chaux-de-Fonds (voir aussi page 59). Photo: Arts graphiques Haefeli & Co., La Chaux-de-Fonds (carte postale)



La tempête hivernale Lothar a soumis cette construction ouverte en bois à une superposition de pression intérieure et de forces de succion. Sa structure porteuse n'a pas résisté aux forces résultantes et elle a été entièrement détruite. On n'a pas réussi à déterminer si le sinistre était dû à une erreur de dimensionnement ou d'exécution, ou si les forces exercées par le vent étaient effectivement supérieures aux valeurs admises dans les normes. Photo: Etablissement cantonal d'assurance de Zurich

Cette photo révèle la puissance destructrice d'une rafale survenue pendant la tempête Lothar. Cette maison a été entièrement démolie peu après la prise de vue. Dans ce cas également, on n'a pas pu déterminer la raison du dommage total. Photo: Christian Häfliger, Büren (NW)

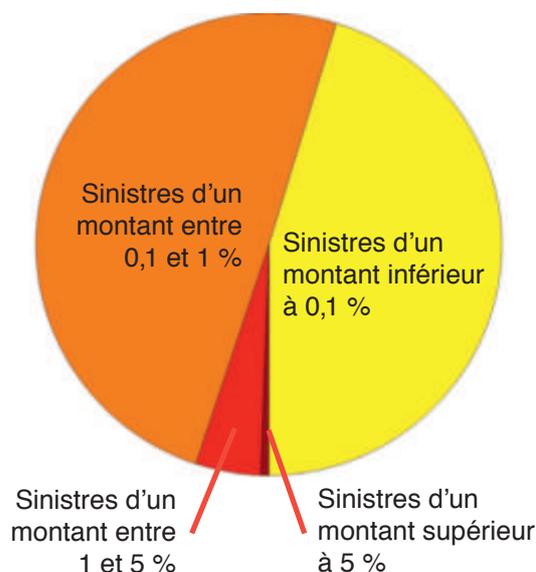


4.6 Dommages à l'enveloppe du bâtiment: très fréquents

Les tempêtes affectant la Suisse causent une multitude de dommages mineurs à modérés; les sinistres importants (qui concernent surtout les toitures et un peu moins les façades) sont assez rares.

Un exemple: d'après une statistique des sinistres établie par l'Association des Etablissements cantonaux d'assurance incendie (AEAI), plus de 67'400 bâtiments d'habitation ont été endommagés dans seize cantons lors de la tempête hivernale Lothar de 1999 (AG, AR, BL, BS, GL, GR, JU, LU, NW, SG, SH, SO, TG, VD, ZG, ZH).

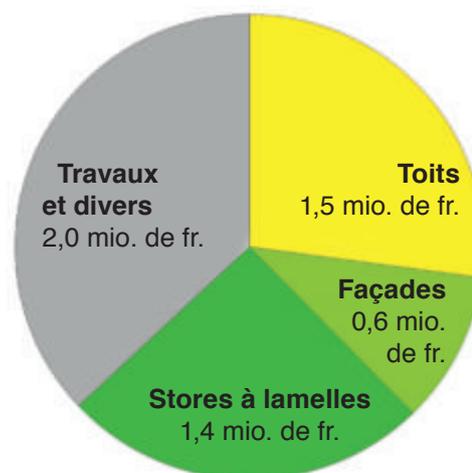
Dans 95 % des cas, le montant des dommages était inférieur à 1 % de la valeur d'assurance. Pour 400 bâtiments seulement, soit moins de 1 %, le montant des dommages dépassait 5 % de la valeur d'assurance.



En Suisse, l'ampleur des dommages dus aux tempêtes dépend largement de la vulnérabilité de l'enveloppe des bâtiments – en particulier de la vulnérabilité des toits, des façades et des stores à lamelles.

Exemple 1: Lors des grandes tempêtes hivernales Vivian (1990), Lothar (1999) et Martin (1999), ce sont principalement les toits, les stores à lamelles et les façades qui ont été endommagés en Suisse.

Exemple 2: Bilan des tempêtes survenues entre le 15 février 2006 et le 1^{er} septembre 2008, dressé par l'Etablissement cantonal d'assurance d'Argovie: environ 2'800 sinistres pour un montant total de 5,5 millions de francs. Deux tiers de la somme sont imputables à l'enveloppe des bâtiments – en particulier aux toits et aux stores à lamelles. Source: Etablissement cantonal d'assurance d'Argovie



Recrudescence des dommages – mais pas des tempêtes

Entre 1970 et 2008, la fréquence et l'intensité moyennes des tempêtes ont très peu varié en Europe; mais l'ampleur des dommages qu'elles ont causés a crû considérablement.

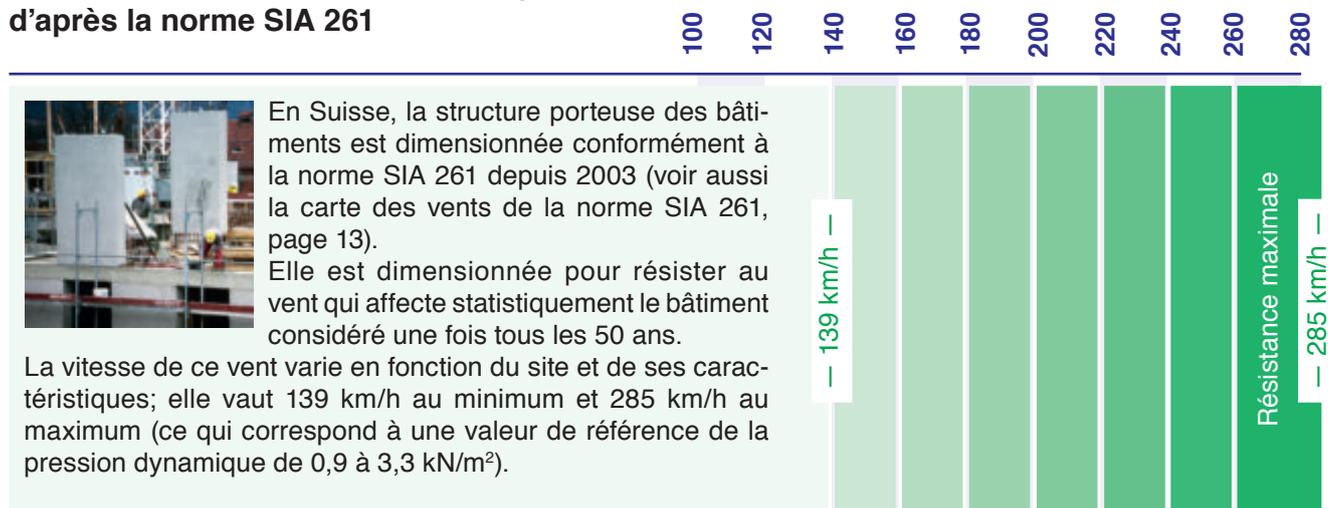
Motif de la hausse: cette période a vu augmenter, d'une part, la valeur des biens menacés par les tempêtes (suite à la croissance de la population, du revenu par personne et du niveau de vie) et, d'autre part, la vul-

nérabilité de certains éléments sensibles aux tempêtes – notamment l'enveloppe des bâtiments [05].

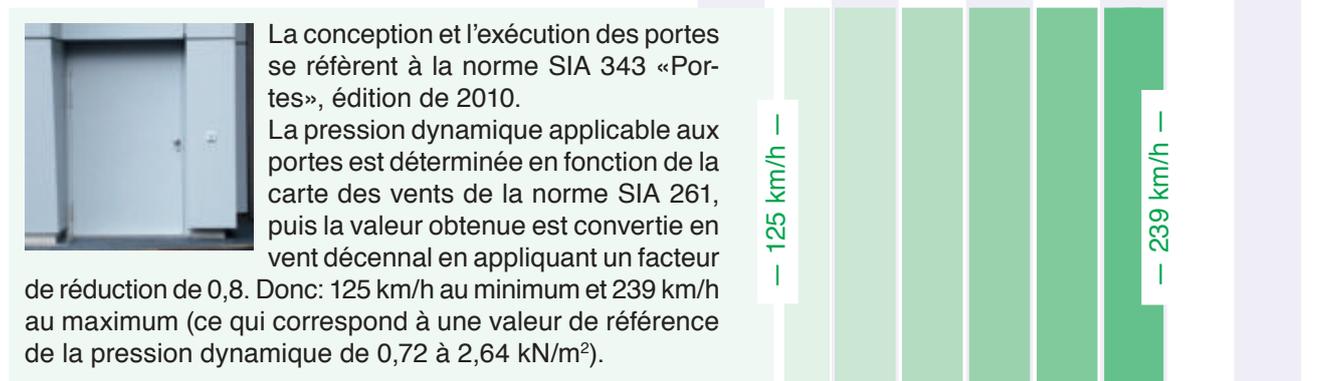
En Suisse, l'enveloppe des bâtiments est souvent vulnérable parce que des éléments de toiture et de façade sont insuffisamment fixés et parce que des nouvelles constructions souffrent de défauts de conception, d'exécution et d'entretien.

4.7 Différents éléments, différentes normes

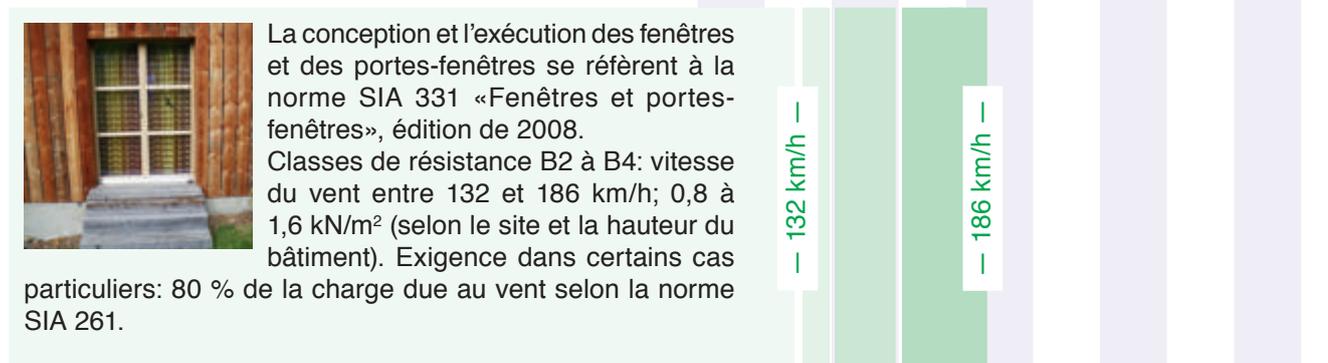
Résistance au vent de la structure porteuse des bâtiments d'après la norme SIA 261



Résistance au vent des portes d'après la norme SIA 343



Résistance au vent des fenêtres et des portes-fenêtres d'après la norme SIA 331



Vitesse des rafales en km/h

La conception et l'exécution des installations destinées à protéger les baies contre le soleil et les intempéries se réfèrent à la norme SIA 342 «Protection des baies contre le soleil et les intempéries», édition de 2009 (voir page 38).

5.1 Comment se comportent les différentes formes de toits sous l'effet du vent?

Types / formes de toits



Toits inclinés / toits en pente

Sont considérés comme inclinés ou en pente les toits dont la couverture est à recouvrement ou agrafée. [19]



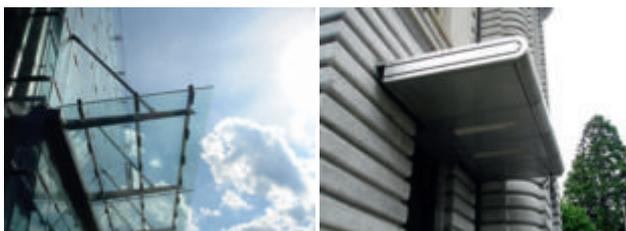
Toits plats

Les toits plats ont une forme très résistante aux tempêtes – pour autant que les détails des terminaisons soient conçus et exécutés avec un soin particulier.



Toits recouverts de matériaux inhabituels

Parmi les matériaux de couverture inhabituels, on trouve notamment le verre et les matières plastiques.

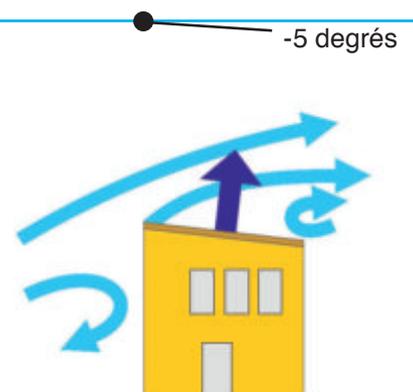


Avant-toits et auvents

Les avant-toits et les auvents offrent beaucoup de prise aux rafales lorsque, par exemple, ils descendent très bas ou sont très proéminents.

Direction, inclinaison, effet

Le toit est soumis à une pression (flèche rouge) et/ou une succion (flèche bleu foncé) due au vent, selon son inclinaison et la direction du vent. Source: [06]



Que peut-il se passer en cas de tempête et de rafales?

Des matériaux de couverture insuffisamment fixés (p. ex. tuiles) peuvent être arrachés dans les parties exposées au vent (égout, rive, faîte). En l'absence de sous-couverture, de l'eau de pluie risque de pénétrer dans le bâtiment et d'y causer des dommages supplémentaires. S'il y a une sous-couverture, elle peut reprendre temporairement la fonction protectrice du toit endommagé. Dans le cas extrême, les toitures reliées inefficacement à la construction porteuse (dimensionnement, matériaux utilisés pour les fixations) risquent d'être soulevées et emportées.

Qu'est-ce qui est important pour la résistance au vent?

- Le concepteur doit concevoir et dimensionner correctement la toiture, puis surveiller son exécution par l'artisan.
- Aux endroits critiques, les matériaux de couverture doivent être fixés dans les règles de l'art, de manière à résister aux tempêtes.
- Les éléments de couverture du faîte et de l'arêtier doivent être particulièrement bien fixés (par exemple au moyen de crochets ou de vis).

La succion peut arracher des couvertures de bordures qui ne sont pas fixées conformément aux prescriptions.

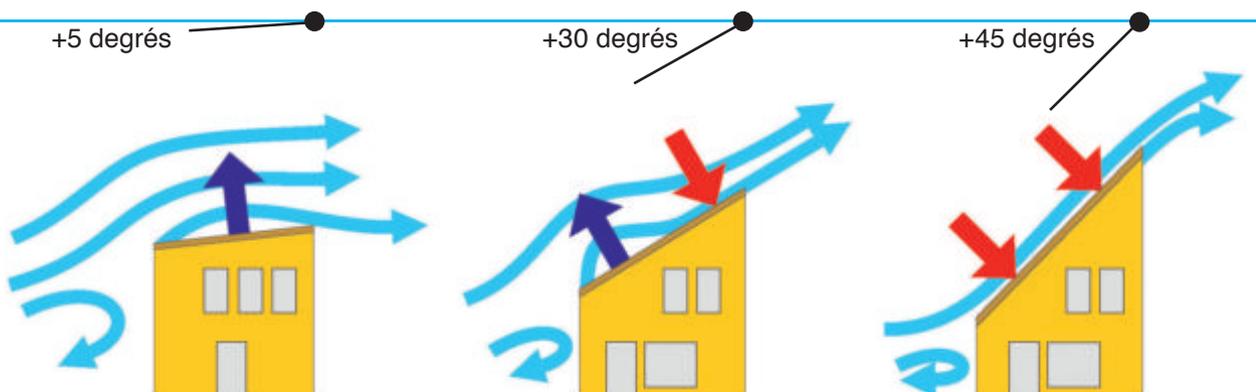
En cas de succion due au vent, les matériaux de couverture inhabituels sont particulièrement menacés en raison de leur faible poids, surtout lorsqu'ils sont insuffisamment fixés.

Le concepteur devrait signaler cette sensibilité au vent et indiquer les sollicitations prévisibles au maître de l'ouvrage.

Ils peuvent être endommagés ou arrachés par le vent.

Il faut éviter les avant-toits et les auvents de très grande taille, ou alors les dimensionner et les fixer de manière appropriée.

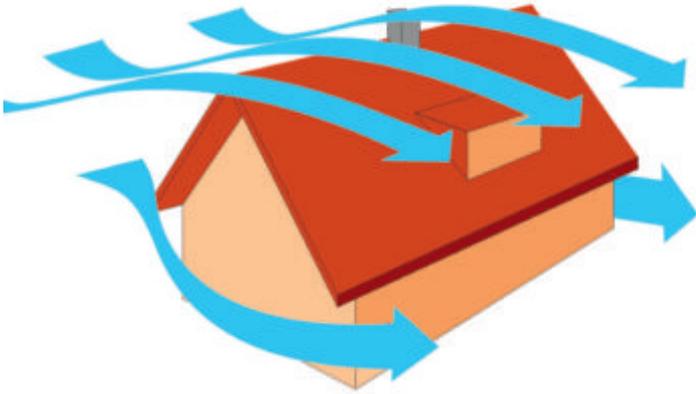
Source: [30]



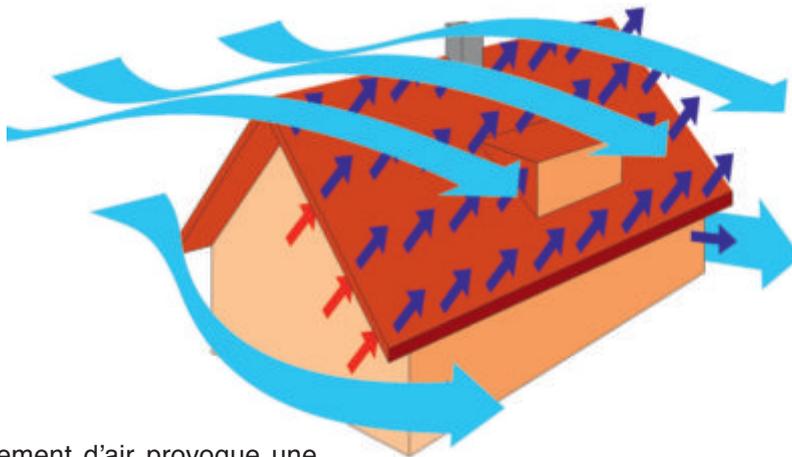
5.2 D'innombrables dommages mineurs à modérés aux toitures: la règle

Cause principale des sinistres imputables aux tempêtes à grande échelle: quelques éléments de la toiture (ou de la façade), généralement exposés, ne résistent pas aux forces de succion et sont emportés.

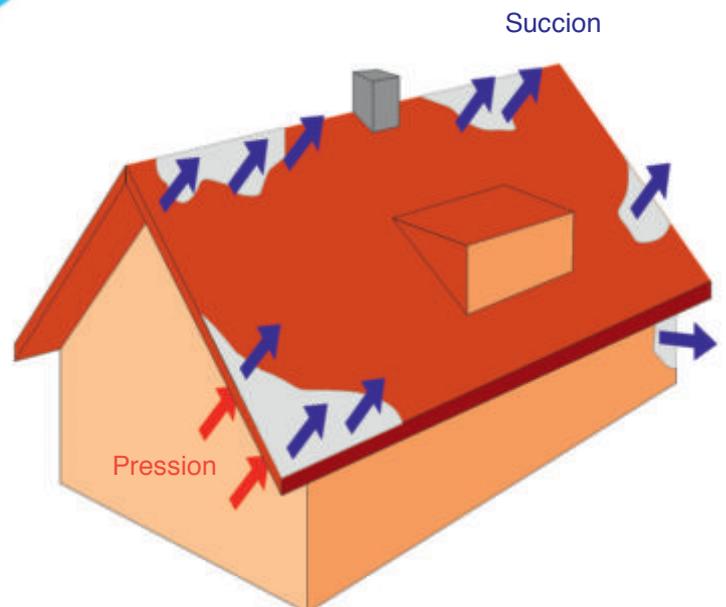
D'innombrables bâtiments subissent des dommages mineurs à modérés – qui peuvent s'additionner pour générer une facture globale considérable.



A La rafale passe sur le faîte et sur les côtés du bâtiment.



B L'écoulement d'air provoque une succion (flèches bleues) et une pression (flèches rouges).



C Des dommages se produisent là où le bâtiment n'est pas à même de résister à la pression et à la succion (représentation schématique très simplifiée).



Cette couverture en tôle a été emportée par le vent, car la latte faîtière à laquelle elle est reliée était insuffisamment fixée.

Des dommages éoliens aux dégâts d'eau

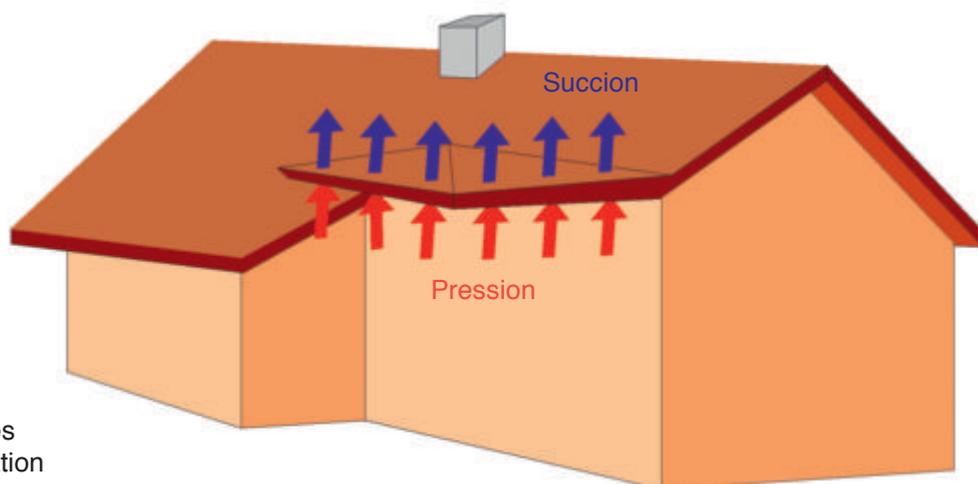
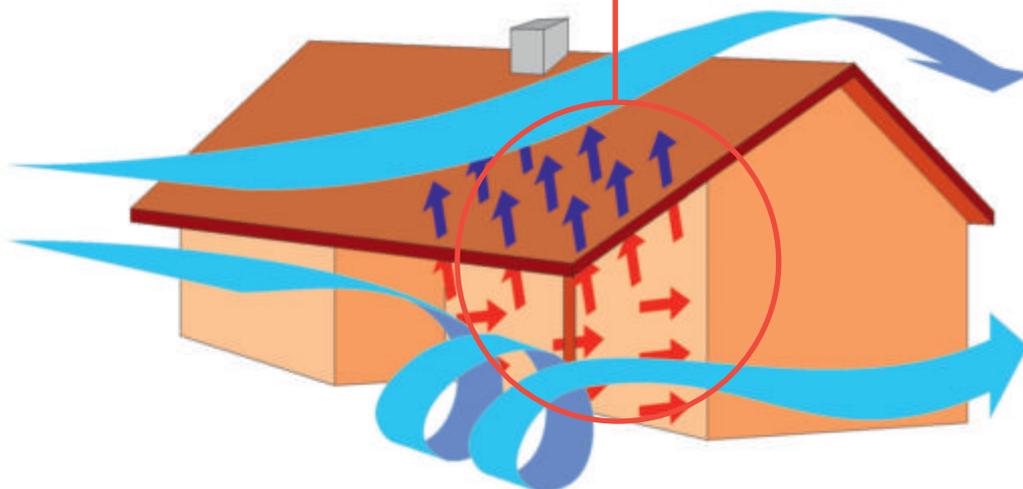
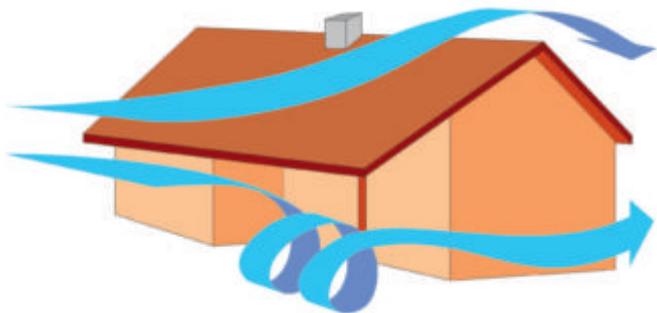
Les dommages infligés par les tempêtes aux toitures ne doivent jamais être sous-estimés! Un petit dommage peut déjà offrir à l'eau de pluie un cheminement lui permettant de pénétrer dans le bâtiment. Les dégâts qui en résultent sont généralement beaucoup plus coûteux et plus difficiles à réparer que les dommages occasionnés directement par les tempêtes. Photos: Etablissement cantonal d'assurance des bâtiments, Fribourg / Etablissement cantonal d'assurance des Grisons



5.3 Pression et succion sur les avant-toits et à la périphérie des toits

Aux avant-toits, saillies, bords et débords de toits, le vent «applique spécialement bien son levier», il peut générer des forces particulièrement destructrices.

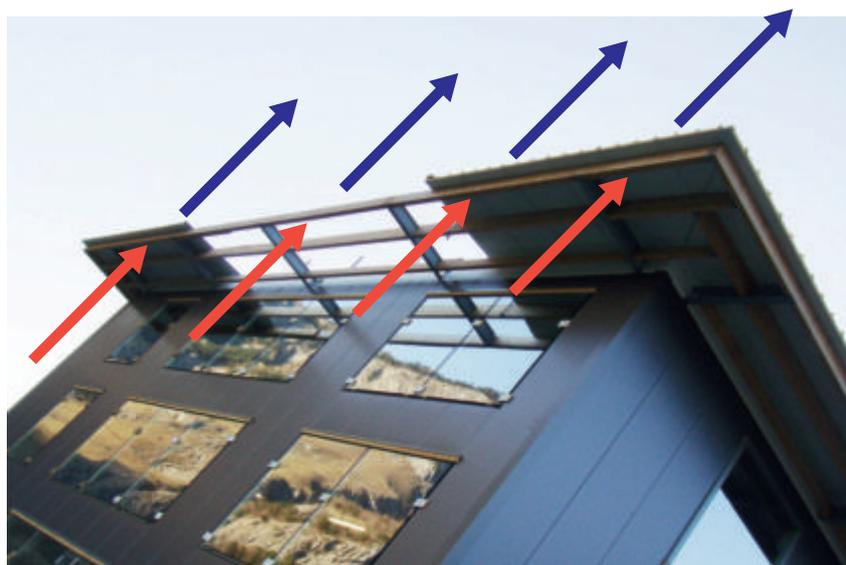
Il arrive que la force de pression agissant d'un côté de ces éléments de toiture s'additionne à la force de succion agissant de l'autre côté. La force résultante est capable d'endommager des bords de toits, voire d'emporter des avant-toits entiers.



Pression et succion exercées sur un avant-toit (représentation schématique très simplifiée).



Les matériaux de couverture (p. ex. tuiles) des avant-toits sans lambrissage ne résistent pas aux sollicitations de succion générées par un vent même faible. Photos: Etablissement cantonal d'assurance des Grisons



Les abris, comme les avant-toits, peuvent subir des dommages considérables lorsque leur face supérieure est sujette à une succion et que leur face inférieure est soumise simultanément à une pression de même direction. Photo: Etablissement cantonal d'assurance d'Argovie

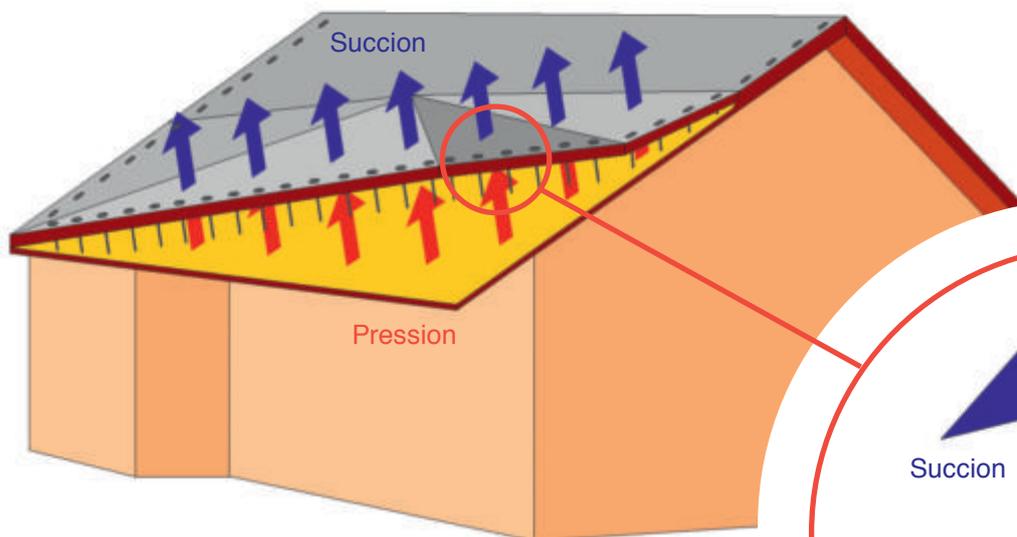
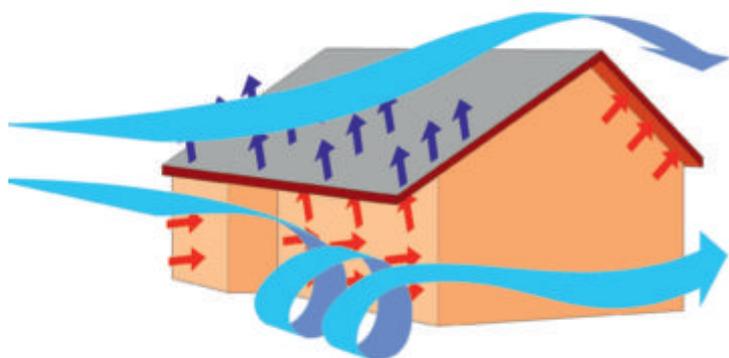
5.4 Lorsque la tempête torture les toits, chaque vis compte, surtout s'ils sont en tôle!

Les rafales se succèdent souvent à une cadence rapide, en tirillant, secouant et tordant rudement les toits d'une manière saccadée. Il peut en résulter une fatigue et finalement une rupture des fixations.

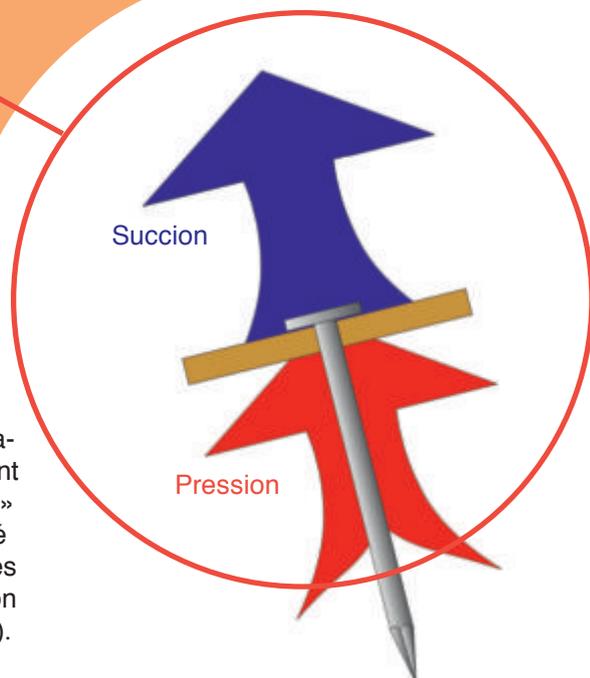
La succion générée par les violentes rafales de tempêtes peut être si forte que des fixations insuffisantes, telles que clous lisses, n'y résistent pas et sont arrachées.

Conclusion: ce n'est pas le poids de la neige ou de l'eau de pluie qui sollicite le plus un toit, mais l'action complexe et imprévisible de vents violents, qui génèrent des forces de pression et de succion agissant – indépendamment de la gravité – dans des directions quelconques variant rapidement.

Les fixations insuffisantes ou inappropriées sont une cause majeure des dommages infligés par le vent aux toits. Les dommages aux toits métalliques sont généralement dus au manque de fixations dans les angles et les bordures. Pour concevoir les toits en tôle, des programmes spéciaux permettent de calculer le nombre de fixations nécessaires sur un ouvrage donné.



Une alternance rapide de rafales qui secouent et tirillent rudement les toits: un «outil» extrêmement efficace utilisé par le vent pour arracher des objets cloués (représentation schématique très simplifiée).





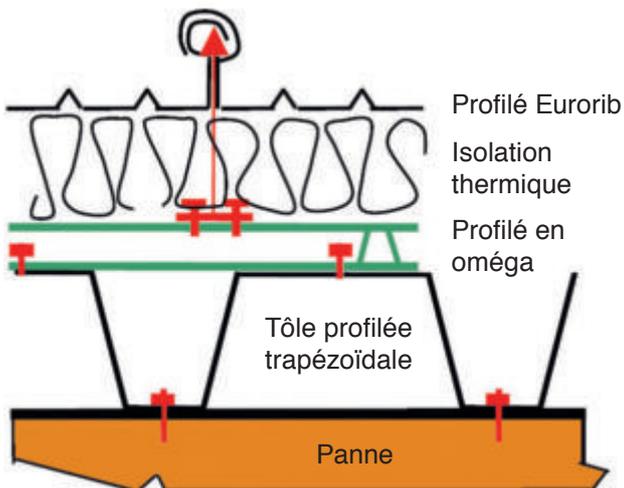
Un toit en tôle profilée déchiqueté par les rafales d'une tempête.
Photo: Etablissement cantonal d'assurance des Grisons



Pour ce toit en tôle profilée, on a utilisé des clous lisses plutôt que des vis (ou des clous rainurés ou torsadés). Lorsqu'une rafale de tempête l'a touché un beau jour,



les forces de succion ont été assez fortes pour arracher les clous. Source: [09]. Photos: Etablissement cantonal d'assurance d'Argovie



Un toit comporte souvent plusieurs «couches», dont chacune a une fonction particulière (protection contre la pluie, protection contre l'humidité, isolation thermique, etc.), si bien que plusieurs points de liaison (en rouge sur le graphique) sont mis en œuvre sur un tel toit. Chaque couche étant fixée sur la couche sous-jacente, la résistance du toit à la succion dépend en grande partie du type de fixation le plus faible de l'ensemble. Graphique tiré de [12]

5.5 Des dommages considérables à la toiture: plutôt l'exception

En Suisse, il est assez exceptionnel que le vent endommage, voire détruise, toute une toiture. C'est souvent la conséquence d'une exposition particulière au vent. Lorsque la toiture d'un bâtiment neuf est sérieusement endommagée, des défauts de construction sont fréquemment à l'origine du sinistre.

La rupture d'une toiture peut aussi être due à une intervention inappropriée effectuée dans le cadre de transformations. Exemples:

- affaiblissement ou suppression d'une poutre porteuse (à droite; photo: D. Aller)
- montage incorrect d'une installation solaire (structure porteuse non dimensionnée pour en supporter le poids; fixation insuffisante).



Toitures démantelées par des rafales de la tempête Lothar. Photo de gauche: Etablissement cantonal d'assurance de St-Gall; photo de droite: Assurance immobilière Berne

Toiture détruite par une tornade (12 juillet 1926, ferme «Geiser» au nord-est de La Chaux-de-Fonds; voir aussi page 58). Photo: Arts graphiques Haefeli & Co., La Chaux-de-Fonds (carte postale)



5.6 Comment faire pour que le toit d'un bâtiment existant résiste aux tempêtes?

Des mesures de construction relativement simples permettent de fixer le toit d'un bâtiment existant de manière à ce qu'il résiste aux pressions et aux succions générées par les rafales de tempêtes. Les angles, bords et pignons, qui subissent des forces supérieures à la moyenne en cas de vent, feront l'objet d'une attention particulière.

Dans le cas idéal, des travaux visant à améliorer la résistance aux tempêtes sont envisagés lorsqu'on prévoit une transformation, un assainissement ou un changement d'affectation – et dans le cas idéal, on acquiert une vue d'ensemble des mesures nécessaires en vérifiant toute l'enveloppe du bâtiment.

Lors des travaux de transformation et d'assainissement, il y a lieu de veiller particulièrement aux points suivants:

- traitement approprié des matériaux
- conformité de l'exécution avec les normes
- détails d'exécution

L'exécution inappropriée est l'une des causes majeures des dommages infligés par les tempêtes aux toitures.

Source: [09]



La succion peut déplacer ou arracher des tuiles au bord du toit (photo du haut). La pose de crochets tempête (photo du bas) prévient ce phénomène.

Les dommages de la photo du haut ne sont pas seulement imputables à l'absence de crochets tempête, mais aussi au défaut de virevent.

Photos: Etablissement cantonal d'assurance des Grisons, D. Aller, H. Sahli

Les tuiles exposées du faite risquent particulièrement d'être soulevées (photo du haut). En règle générale, on prévient ce phénomène en les maintenant par des crochets (photo du bas). Là où les crochets sont insuffisants, par exemple dans certaines régions à föhn, les tuiles faîtières sont fixées avec des vis.

Actuellement, on n'enrobe plus les tuiles faîtières de mortier, car cela entrave la ventilation de la toiture. Il en résulte une condensation à l'intérieur du vide de ventilation et la construction manquant d'air frais pourrit.

5 La toiture soumise au vent



Cette photo montre qu'un avant-toit sans lambrissage est très vulnérable au vent (voir aussi page 27). Deux raisons expliquent pourquoi les tuiles de virevent sont restées en place dans la bordure antérieure du toit:

- elles sont fixées par des crochets tempête
- la poutre qu'elles recouvrent les a protégées contre la pression de bas en haut exercée par le vent.

Les toits en saillie devraient donc être pourvus d'un lambrissage, en particulier dans les sites exposés au vent (photos de droite). Photos: H. Sahli, Enveloppe des édifices Suisse; Egli Engineering AG



5.7 Des toits résistants aux tempêtes grâce au contrôle et à l'entretien

L'entretien déficient est l'une des causes majeures des dommages infligés par le vent aux toitures.

Le contrôle et l'entretien d'un bâtiment ne visent pas seulement à éviter qu'il soit endommagé par le vent. Leur but est aussi que les personnes se tenant à proximité immédiate lors d'une tempête ne soient pas atteintes par des débris de ce bâtiment projetés dans les airs par le vent.

Les travaux de contrôle et d'entretien des toitures ne sont pas seulement dangereux (risque de chute), ils requièrent aussi un solide savoir-faire. C'est pourquoi il est recommandé de les confier à un entrepreneur qualifié. Le propriétaire et l'entrepreneur fixent par contrat

- les travaux de contrôle et d'entretien qui doivent être effectués concrètement (ils sont consignés dans un cahier des charges)
- leur fréquence (p. ex. une fois par an, tous les deux ans, tous les cinq ans, etc.).

L'entrepreneur ● s'engage à effectuer les travaux de contrôle et d'entretien convenus dans les règles de l'art ● signale au mandant, par écrit, les défauts constatés lors des contrôles ● lui adresse des propositions de réparation et de remise en état ● lui soumet une offre concernant les travaux nécessaires.

«Enveloppe des édifices Suisse», l'Association suisse des entrepreneurs de l'enveloppe des édifices, mentionne les travaux suivants dans le «Contrat de contrôle et d'entretien de l'enveloppe du bâtiment»:

Petit contrôle d'un toit incliné

Il consiste essentiellement à vérifier visuellement toute la surface du toit, en particulier ● la couverture ● les chéneaux ● les tuyaux de descente ● les avaloirs / regards de visite ● les raccordements et les terminaisons ● les insertions / encastrement ● les pénétrations dans le toit ● les éléments dressés ● les raccordements et les terminaisons des tôles ● les fixations sur les rives / le faite ● les fixations dans la surface ● les éléments de protection contre la foudre.

A l'occasion de ce petit contrôle, il est recommandé de nettoyer ● les raccordements des tôles ● les chéneaux ● les tuyaux de descente ● les avaloirs / regards de visite.

Petit contrôle d'un toit plat

Il consiste aussi essentiellement à vérifier visuellement toute la surface du toit, en particulier ● la couche de protection / le revêtement praticable ● la végétalisation

- les naissances d'évacuation de l'eau ● les raccordements et les terminaisons des tôles ● l'étanchéité des raccordements des tôles ● les raccordements et les terminaisons des lés d'étanchéité ● les joints en silicone ● les éléments dressés ● les éléments de protection contre la foudre.

Travaux de nettoyage: ● naissances d'évacuation de l'eau.

Travaux d'entretien: ● éliminer mécaniquement la prolifération de végétation ● asperger avec un désherbant spécial ● aplanir les inégalités dues au transport éolien ● réparer les joints en silicone ● améliorer l'étanchéité des raccordements des tôles.

Grand contrôle d'un toit incliné

Dans le cadre d'un grand contrôle, moins fréquent que le petit, l'état de la toiture est vérifié à différents endroits et sur différentes surfaces. Le grand contrôle consiste notamment à vérifier les fixations du contre-lattage. Les endroits contrôlés sont inscrits dans les plans de la toiture.

Il y a notamment lieu de vérifier ● la structure porteuse (degré d'humidité et présence de parasites dans les parties en bois, corrosion dans les parties métalliques) ● le pare-vapeur / la barrière de vapeur (vieillesse, jointoiements et raccordements) ● l'isolation thermique (degré d'humidité, tassements, autres influences, p. ex. souris) ● la sous-couverture (état et étanchéité, y compris taquets d'étanchéité) ● le contre-lattage et le lattage (contrôle du degré d'humidité et de la présence de parasites dans les parties en bois, contrôle de la corrosion dans les parties métalliques) ● les fixations (corrosion et résistance).

Il est recommandé de nettoyer la surface du toit à l'occasion d'un grand contrôle.

Grand contrôle d'un toit plat

Il consiste à vérifier différents endroits de la surface du toit en pratiquant des ouvertures de sondage: ● état de l'étanchéité (vieillesse, résistance, souplesse) ● état de l'isolation thermique (degré d'humidité, épaisseur, dilatation, déformations) ● état du pare-vapeur (vieillesse, imperméabilité).

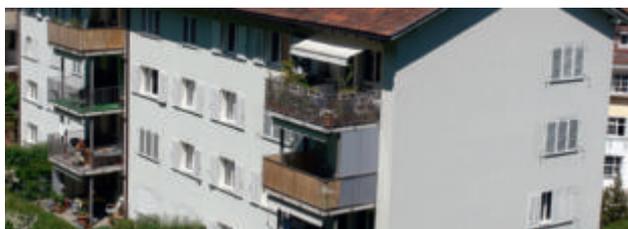
Lors des travaux d'entretien, il est recommandé de rectifier les revêtements d'usure si nécessaire (plaques déplacées, affaissements importants).

Source: Enveloppe des édifices Suisse: Unterhaltsverträge über Kontroll- und Unterhaltsarbeiten an der Gebäudehülle (Steildach und Flachdach).

Commande: www.gh-schweiz.ch

6.1 Comment se comportent les différents types de façades sous l'effet du vent?

Types de façades



Façades crépies (sur de la maçonnerie ou de la brique) et façades compactes

Ces façades simples, classiques, se composent souvent de plusieurs couches et éléments d'isolation. Elles ne comprennent aucun espace ventilé entre la peau extérieure et la peau intérieure.



Façades avec revêtement

Ces façades sont caractérisées par la présence d'une lame d'air entre le revêtement et son substrat; ainsi, le vent peut aussi générer des pressions et des suctions à l'intérieur de la façade.

La perméabilité à l'air est assurée par des joints situés entre les éléments de façade ou par des ouvertures se trouvant dans les panneaux eux-mêmes.

Les façades rideaux ventilées sont généralement conçues de manière à ce que de l'air circule de bas en haut dans l'espace ventilé, entre des ouvertures situées dans la partie inférieure et dans la partie supérieure de la façade. La perméabilité de la peau extérieure est souvent faible.

Sources: [12], [21]

Que peut-il se passer en cas de tempête et de rafales?

Lors d'une tempête, il peut arriver que des parties du crépi tombent ou que des panneaux d'isolation soient arrachés de la paroi extérieure s'ils ne sont pas reliés correctement au substrat. Des pénétrations d'eau peuvent endommager des composants des façades (p. ex. maçonnerie, sous-construction en bois, crépi ou isolation).

Qu'est-ce qui est important pour la résistance au vent?

Veiller à ce que le crépi soit appliqué correctement.

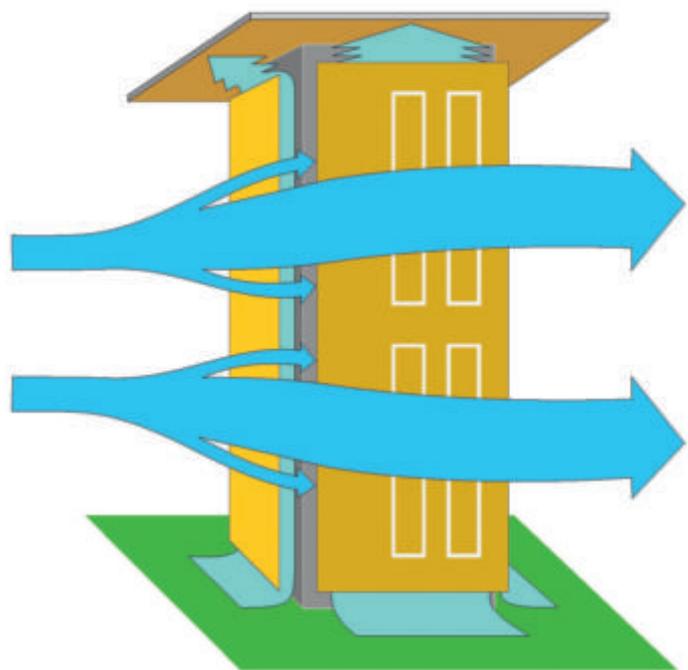
Dans les façades avec revêtement, il faut tenir compte du fait que le vent n'agit pas seulement sur le revêtement, mais aussi sur la peau intérieure! Il s'attaque ainsi aux éléments du revêtement et à leurs fixations, au risque de les arracher. Les pénétrations d'eau peuvent endommager des composants des façades.

Choisir et dimensionner le revêtement et le type de fixation en fonction des sollicitations attendues. On devrait opter pour des systèmes de fixation solides, qui résistent à la corrosion et aux intempéries.

Sources: [12], [30]

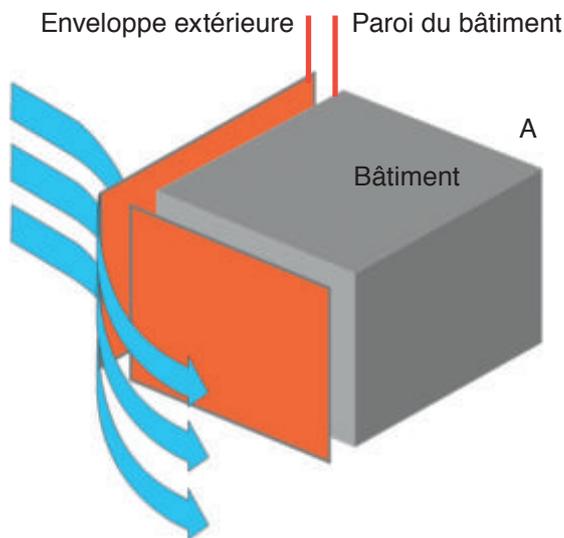


Schéma très simplifié d'une façade ventilée. L'air emprunte des ouvertures situées dans la partie inférieure de la façade (A) pour pénétrer dans l'espace ventilé. Puis il le remonte (courant d'air vertical) pour en ressortir par des ouvertures situées dans la partie supérieure de la façade (B).



Le vent qui contourne le bâtiment exerce des forces non seulement sur la façade, mais aussi dans l'espace ventilé (voir aussi pages suivantes). Il faut en tenir compte lors du choix des matériaux et du dimensionnement du revêtement et des fixations.

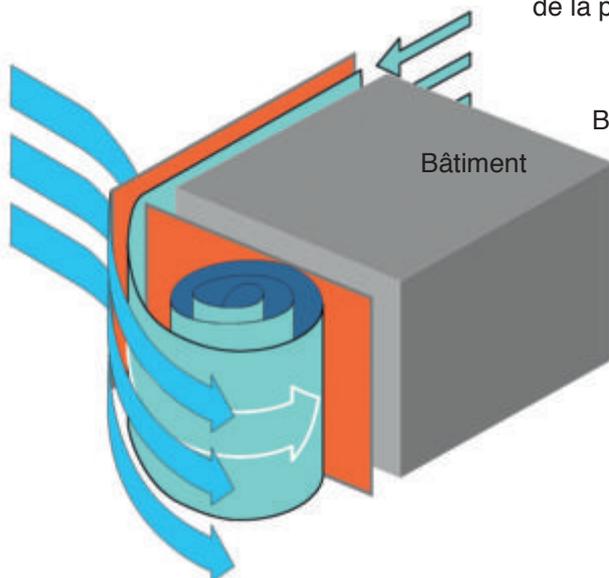
6.2 La succion exercée sur la façade aux angles du bâtiment



Dans le cas des façades modernes, complexes, le risque de sous-estimer les forces exercées par le vent est particulièrement grand. Motif: le vent génère des pressions et des suctions non seulement sur l'enveloppe extérieure, mais aussi dans les espaces ventilés se trouvant entre l'enveloppe extérieure et la paroi du bâtiment.

Exemple d'action exercée par le vent à l'angle d'un bâtiment

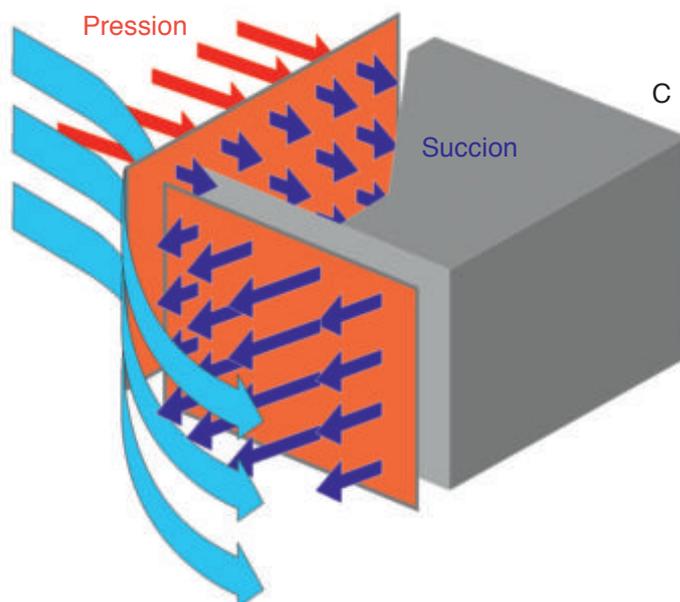
A Le vent souffle contre un bâtiment équipé d'une façade ventilée (enveloppe à double peau) et en franchit l'angle (voir aussi les figures de la page 16).

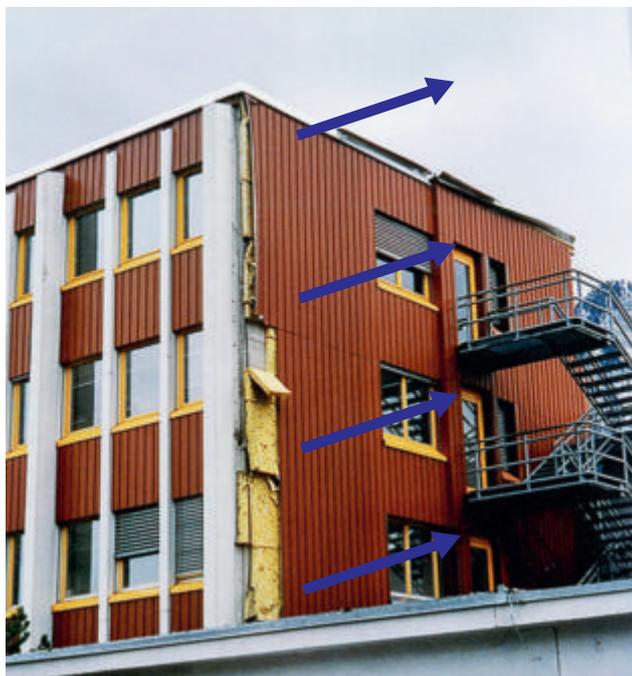


B En franchissant l'angle du bâtiment, le vent génère un tourbillon qui aspire de l'air, notamment à l'intérieur de la façade ventilée. La succion la plus élevée règne toujours au voisinage des tourbillons, c'est pourquoi les façades sont particulièrement menacées aux angles des bâtiments.

C Le tourbillon génère à l'intérieur de l'enveloppe des forces de succion qui agissent sur la peau extérieure, exposée au vent, dans la même direction que les forces de pression appliquées sur la face extérieure de l'enveloppe.

Si le tourbillon se déplace le long de la façade dans le sens du vent, une pression s'établit au voisinage de l'angle du bâtiment et de l'air est refoulé dans l'espace vide de la façade, dont il arrache des panneaux. Source: [12]





Façade endommagée par une tempête à l'angle du bâtiment, suite à la pression régnant à l'intérieur de la façade (non dessinée) et à la succion externe qu'elle a subie (flèches bleues). Photo: Etablissement cantonal d'assurance de St-Gall



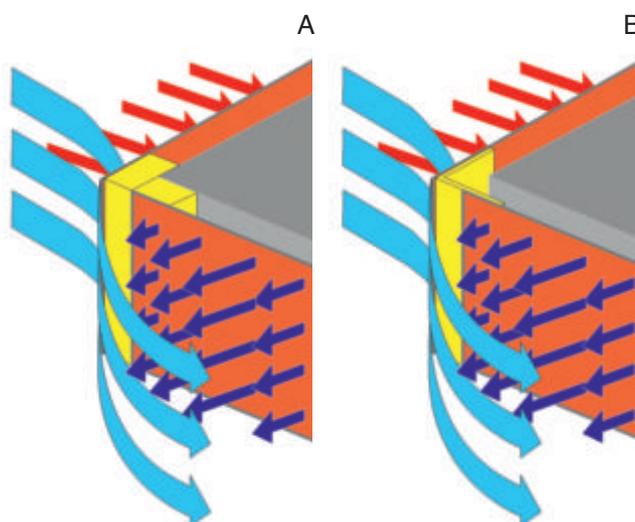
Façade d'une station supérieure de téléphérique endommagée par une tempête. Photo: Etablissement cantonal d'assurance des Grisons

Comment peut-on améliorer la résistance au vent d'une façade ventilée aux angles d'un bâtiment?

Lorsque des façades ventilées sont composées de grands panneaux, il faut toujours s'efforcer d'en fermer les angles; la liaison entre les espaces ventilés par-delà les angles doit donc être coupée (A; en jaune). S'il n'est pas possible de fermer les angles pour des raisons de construction, il faut tenir compte des forces élevées subies par les panneaux des façades (B).

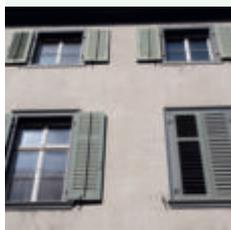
D'une manière générale, on doit:

- poser des points de fixation supplémentaires dans les bordures
- utiliser impérativement des fixations de qualité supérieure, résistantes à la corrosion. L'expérience montre que les ancrages insuffisamment résistants sont fortement corrodés en peu de temps, si bien qu'ils ne peuvent plus guère transmettre de charges. Source: [12]



6.3 A quel point les volets et les stores résistent-ils au vent et aux tempêtes?

Classes de résistance au vent (CRV) applicables aux volets battants, aux volets à rouleaux et aux stores à lamelles selon la norme SIA 342



Les **volets battants** (nommés aussi **contrevents**) se composent d'un ou plusieurs battants qui pivotent, coulissent ou se replient sur eux-mêmes à l'ouverture.



Dans les **volets à rouleaux**, l'écran est composé de lames horizontales reliées les unes aux autres qui sont enroulées ou repliées sur elles-mêmes à l'ouverture. Ils coulissent dans des glissières latérales.

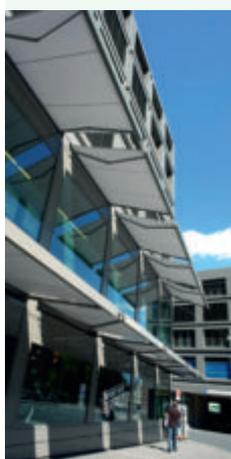


Dans les **stores à lamelles**, l'écran est composé de lamelles horizontales pivotantes qui s'empilent à l'ouverture.

D'après la norme SIA 342 «Protection des baies contre le soleil et les intempéries» (édition 2009), les volets battants, les volets à rouleaux et les stores à lamelles sont subdivisés en classes 1 à 6 de résistance au vent selon leur aptitude à en supporter les effets (voir page de droite). Les produits de la classe la plus élevée supportent un vent de vitesse jusqu'à 92 km/h (rafales). Source: [22]

Notons que les volets battants, les volets à rouleaux et les stores à lamelles de grande taille sont plus vulnérables que les petits. C'est juste devant la vitre, dans l'embrasure, que ces dispositifs sont le moins vulnérables au vent.

Classes de résistance au vent (CRV) applicables aux stores solaires et aux systèmes d'ombrage verticaux selon la norme SIA 342



Les **stores solaires** (nommés aussi **stores bannes**) se composent d'une toile déployée sur un châssis, qu'on peut enrouler ou replier.

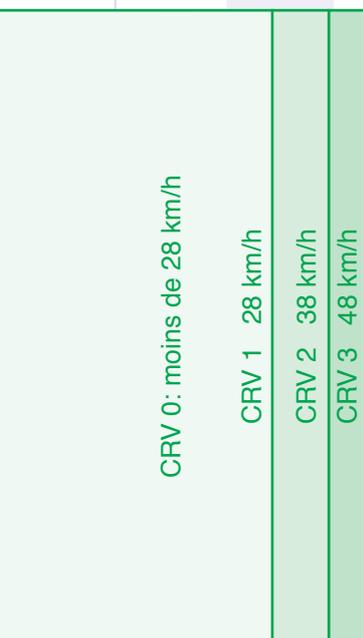
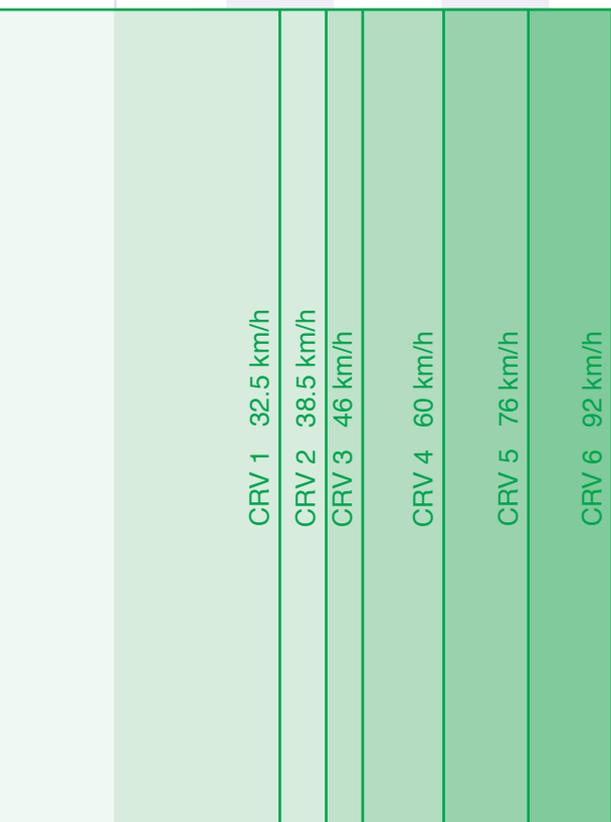
D'après la norme SIA 342 «Protection des baies contre le soleil et les intempéries» (édition 2009), les stores solaires sont aussi conçus pour supporter des vents de vitesse maximale donnée. Ils sont subdivisés en classes 0 à 3 de résistance au vent, en fonction des normes et de la garantie des fabricants (voir page de droite). Les produits les plus résistants (CRV 3) supportent des pointes de rafales de 48 km/h au maximum.

Les stores solaires doivent être relevés avant que le vent atteigne la vitesse maximale tolérable selon la classe de résistance au vent!

Si vous décidez d'acquérir des stores solaires: ● sachez qu'ils sont vulnérables et risquent d'être endommagés – même s'ils répondent aux standards techniques les plus récents ● tenez compte du fait que les grands stores sont beaucoup plus vulnérables que les petits ● n'utilisez les systèmes de protection solaire qu'en cas de soleil, donc relevez-les systématiquement pendant la nuit, en cas d'absence ou de mauvais temps.

Vitesse des rafales en km/h

0 20 40 60 80 100 120



0 20 40 60 80 100 120



Les dommages infligés par le vent aux stores solaires et aux systèmes d'ombrage verticaux sont-ils indemnisés par les Etablissements cantonaux d'assurance?

D'après la définition de l'Union intercantonale de réassurance (UIR), une tempête est un «mouvement de l'air d'une extraordinaire violence».

Ce mouvement de l'air est suffisamment fort pour découvrir entièrement ou partiellement la toiture de plusieurs bâtiments construits et entretenus correctement ou pour endommager fortement des arbres sains dans une région donnée («dommage collectif»; voir aussi page 46).

Si un bâtiment est isolé dans un secteur donné, qu'il n'y a donc ni autre bâtiment ni arbre aux alentours, même la tempête la plus violente n'occasionnera aucun dommage collectif au sens de l'UIR.

Dans cette situation, l'Etablissement d'assurance des bâtiments peut couvrir un sinistre subi par un bâtiment isolé

- si la vitesse moyenne du vent était de 63 km/h au moins pendant dix minutes, ou

- si des rafales d'une vitesse de 100 km/h au moins ont été mesurées.

Les rafales de 48 km/h, susceptibles d'endommager même les stores solaires les plus résistants, sont beaucoup trop faibles pour générer le dommage collectif décrit précédemment. Elles sont aussi beaucoup trop faibles pour être considérées à proprement parler comme des «forces de la nature génératrices de dommages». Si elles sont capables d'abîmer des stores solaires, c'est seulement parce qu'ils sont extrêmement fins par rapport à d'autres éléments de l'enveloppe du bâtiment. C'est pourquoi plusieurs Etablissements cantonaux d'assurance ne remboursent pas les dommages aux stores solaires dus au vent. Source: [14]

Pointes de rafales
d'au moins 100 km/h

6.4 Systèmes de veille pour stores solaires et à lamelles

Il incombe au propriétaire du bâtiment d'empêcher que les stores solaires soient endommagés par le vent. Le propriétaire (ou le locataire) est donc tenu d'observer les conditions de vent locales et de relever les stores en actionnant une manivelle ou en pressant sur un bouton (entraînement à moteur) avant que le vent ait atteint la vitesse maximale tolérable selon la classe de résistance des stores.

Depuis une vingtaine d'années, les stores solaires motorisés sont de plus en plus souvent équipés d'un système de veille, qui comprend un anémomètre et un détecteur solaire.

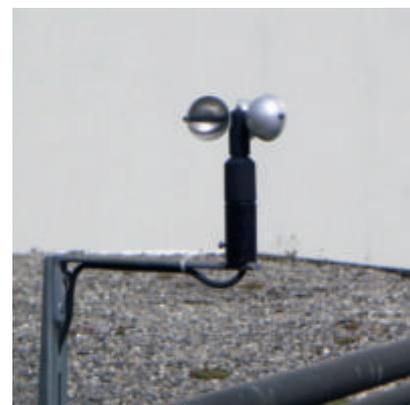
L'anémomètre mesure la vitesse locale du vent et fait automatiquement relever les stores dès qu'elle dépasse 30 km/h. Le détecteur solaire mesure la luminosité ambiante et fait relever les stores lorsque le ciel s'assombrit – ce qui est généralement le cas avant qu'un vent violent se lève.

Il incombe aux installateurs des stores solaires et à lamelles de positionner au mieux les systèmes de veille contre le vent.

Actuellement, la remontée automatique des stores solaires est commandée de plus en plus souvent non par un système de veille, mais par un SMS diffusé par une station radar ou par une station météorologique proche.



Stores solaires endommagés par le vent. Les systèmes d'accrochage sont suffisamment robustes pour supporter le poids des stores ouverts, mais ils sont trop faibles et fins pour les retenir en plein vent. Donc: lorsque le vent se lève, «il ne faut pas déployer la voile, mais plutôt la ramener». Photos: Etablissement cantonal d'assurance d'Argovie / Etablissement cantonal d'assurance des Grisons



Anémomètre. Photo: Etablissement cantonal d'assurance des Grisons

6.5 Contrôle et entretien des façades, des volets et des stores

L'entretien déficient est l'une des causes majeures des dommages infligés par le vent aux façades, aux volets et aux stores.

Façade

Lorsque le bâtiment comprend, en particulier, des façades complexes et un système moderne de volets ou de stores, il vaut la peine de confier les travaux de contrôle et d'entretien à des spécialistes (voir aussi page 33). «Enveloppe des édifices Suisse», l'Association suisse des entrepreneurs de l'enveloppe des édifices, mentionne les travaux suivants concernant les façades dans le «Contrat de contrôle et d'entretien de l'enveloppe du bâtiment»:

Petit contrôle de la façade

- a) Contrôle visuel de toute la surface de la façade: ● panneaux défectueux ● état de la surface ● déformations du revêtement ● modification de l'aspect des joints ● fixations desserrées ou manquantes
- b) tablettes / châssis des fenêtres: ● état de la surface ● corrosion / fissuration ● étanchéité au contact avec les fenêtres
- c) terminaisons: ● embrasures ● linteaux ● raccords et terminaisons ● liaisons avec le socle ● entrées d'air / profilés de ventilation.

Grand contrôle de la façade

a) Dans le cadre d'un grand contrôle, moins fréquent que le petit, des panneaux sont notamment démontés dans la façade à différents endroits et à différentes hauteurs (ouvertures de sondage). Les points fixes de la sous-construction doivent aussi pouvoir être vérifiés à cette occasion. Les panneaux démontés sont inscrits dans les plans des façades; des panneaux différents sont démontés à chaque contrôle.

Les points suivants sont contrôlés dans les ouvertures de sondage: ● état des fixations des panneaux (vis, rivets, attaches, clous) ● corrosion des fixations ● tensions dans les panneaux (points fixes et points de dilatation) ● état des trous dans les panneaux.

b) Sous-construction en aluminium: ● vérification des profilés en aluminium (corrosion, altération, dilatation, etc.) ● déformations dues à la dilatation thermique ● capacité de glissement aux points de dilatation ● vérification des rivets / vis entre les consoles et les profilés verticaux.

c) Contrôle de l'ancrage dans le substrat: ● corrosion des vis et des attaches ● contrôle visuel des chevilles; en cas de déformation, des tests d'arrachage des chevilles devraient être ordonnés. Démontez des chevilles et examinez si elles sont fissurées ou déformées.

d) Sous-construction en bois-métal et sous-construction en bois: ● contrôle du lattage (degré d'humidité, pourriture, présence de parasites, déformation des lattes en bois) ● corrosion des fixations ● vérification des profilés porteurs et des consoles (corrosion, fixations, dilatation).

e) Isolation thermique: ● attaches des panneaux encore présentes ● tassement des panneaux d'où apparition de joints dans l'isolation thermique ● surface des panneaux ● degré d'humidité ● autres influences (chlorops, souris, etc.).

Source: Enveloppe des édifices Suisse: Unterhaltsverträge über Kontroll- und Unterhaltsarbeiten an der Gebäudehülle (Fassade). Commande: www.ghschweiz.ch

Volets, stores

Une fois par année, il y a lieu de vérifier les fixations et de remplacer les anciens matériaux devenus cassants (toiles, lamelles).

Dans les stores à lamelles, les rubans de traction vieillis devraient être remplacés à temps – car le vent les use.

Prévenu des intempéries grâce à l'Alarme-Météo



Pour savoir si une tempête se prépare, on peut s'abonner gratuitement à l'Alarme-Météo. Ce service signale les intempéries imminentes par SMS, e-mail ou fax jusqu'à 24 heures à l'avance.

Il est facile de s'abonner au service par SMS: envoyez un SMS avec le texte START AM <numéro postal> au numéro 4666. Exemple: pour s'abonner à l'Alarme-Météo par SMS quand on habite en ville de Berne, on envoie le texte START AM 3000.

7.1 Arbres voisins en cas de tempête



Les arbres situés à proximité immédiate d'un bâtiment peuvent l'endommager lors d'une tempête:

- des branches agitées en tous sens heurtent le toit ou la façade
- des branches brisées endommagent des éléments sensibles de la façade
- l'arbre entier est renversé en direction du bâtiment.

Les plus menacés sont le toit et les balcons.



Un arbre a raclé le bord du toit d'un bâtiment voisin en tombant.



La tempête n'a pas pu ébranler cette maison, mais elle a réussi à renverser deux arbres proches dans sa direction.

Comment éviter qu'un bâtiment soit endommagé par des arbres voisins?

Faites tailler les arbres et les branches selon le précepte «lorsque le vent agite les arbres, les branches ne devraient pas toucher la maison».

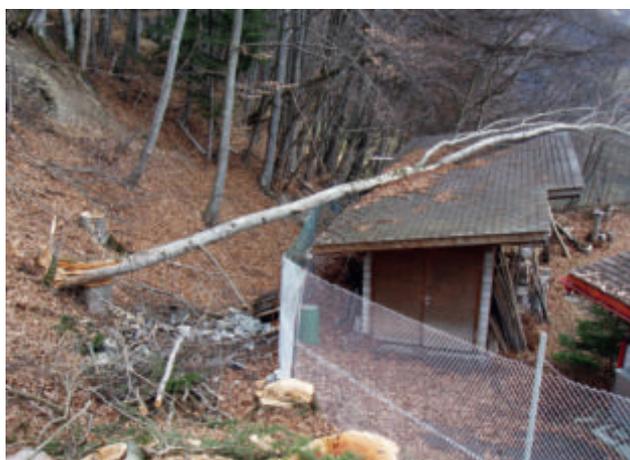
Contrôlez régulièrement les arbres proches de votre maison en vous posant les questions suivantes:

- Les arbres sont-ils abîmés?
- Sont-ils envahis de champignons?
- Y a-t-il des branches mortes?

Les branches et les arbres abîmés ou morts devraient être ôtés. Si vous n'êtes pas sûr que les arbres résisteront aux tempêtes, vous pouvez les faire contrôler par un spécialiste.

Encore un conseil au sujet des travaux de construction: si on doit enlever une grande partie des racines d'un arbre, il est judicieux d'examiner auparavant l'incidence de cette intervention sur la stabilité de l'arbre vis-à-vis des tempêtes.

Sources: [09], [23]



Des dommages aux arbres (photo du haut) aux dégâts d'eau (photo du bas) en passant par le toit abîmé. Toutes les photos des pages 42/43: Etablissement cantonal d'assurance des Grisons

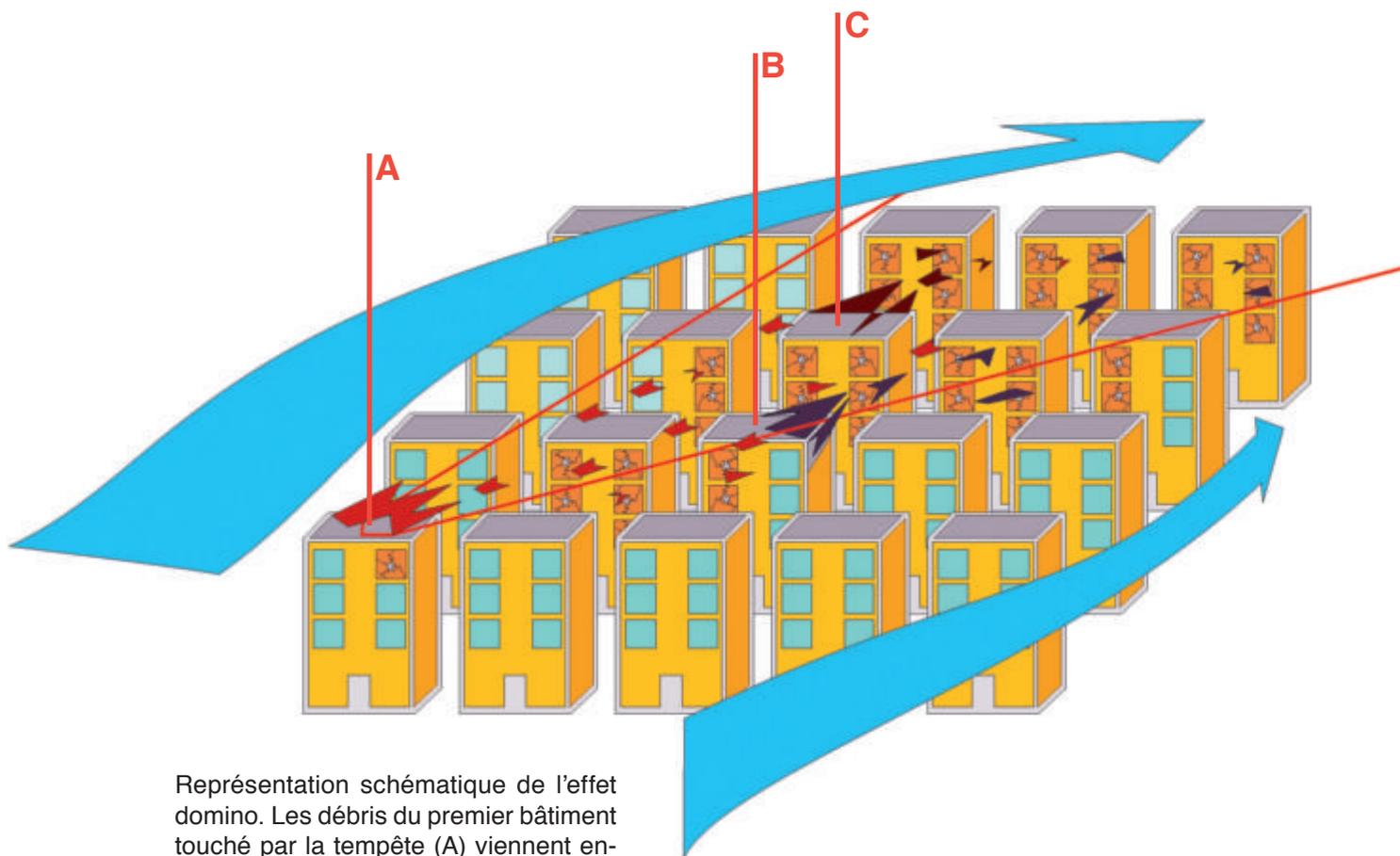
7.2 Quand les dommages se propagent: l'effet domino

Lorsque des rafales de tempêtes atteignent un bâtiment et l'endommagent, il est fort probable qu'elles emportent des objets: tuiles, plaques d'Eternit, éléments de façades, couvertures en tôle, pots de fleurs et autres débris.

Lorsque ces objets sont projetés sur des bâtiments voisins intacts et leurs infligent à leur tour des dommages, on parle d'«effet domino». Les fenêtres, les vitrines, les parements de façades et les revêtements de toitures sont les plus touchés par cet effet.

Plus les bâtiments voisins sont nombreux et rapprochés, plus l'effet domino se propage loin. Un sinistre partant de la périphérie d'une zone bâtie peut par exemple s'étendre exponentiellement pour générer une lourde facture globale.

Au cours des cent dernières années, non seulement la densité de construction, mais aussi la vulnérabilité des toits et des façades modernes ont augmenté considérablement sur le Plateau suisse; en conséquence, l'effet domino figure désormais parmi les causes majeures des dommages importants occasionnés par les tempêtes. Sources: [09], [12]

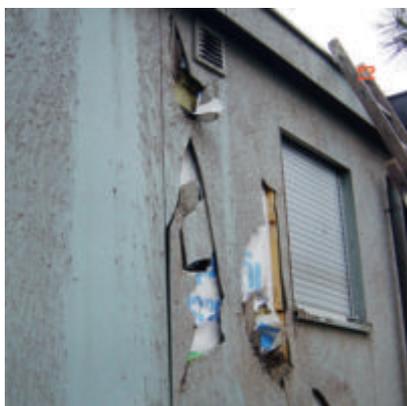


Représentation schématique de l'effet domino. Les débris du premier bâtiment touché par la tempête (A) viennent endommager les bâtiments B et C situés à l'intérieur d'un cône ouvert de 30° environ, qui peuvent à leur tour générer des dégâts.



12 mars 2008: tempête dans le canton de Nidwald. Ce quartier résidentiel de Dallenwil a subi un effet domino classique: des débris arrachés aux toits ont

endommagé des façades et des toits de bâtiments voisins (cercles rouges).



Gros plans de façades endommagées. Dans la photo de gauche, des fragments de plaques profilées en fibres-ciment arrachés par le

vent sont venus s'encaster dans la façade. Ces images montrent que l'effet domino menace aussi gravement les personnes.

Toutes les photos de cette page: Nidwaldner Sachversicherung

8.1 Comment définit-on un «vent tempétueux»?

L'Union intercantonale de réassurance (UIR), qui regroupe les dix-neuf Etablissements cantonaux d'assurance (ECA), applique une définition propre à la branche selon laquelle une tempête est définie en premier lieu par l'existence d'un dommage collectif: Une tempête assurée a eu lieu «... lorsque, dans les environs d'un objet endommagé, plusieurs bâtiments construits et entretenus correctement ont notamment vu leur toiture découverte entièrement ou partiellement, ou lorsque des arbres sains ont été fortement endommagés.»

Ainsi, en cas de tempête assurée, plusieurs bâtiments sont touchés simultanément par le même événement.

Si un bâtiment se trouvant dans un secteur donné n'est entouré ni d'autres bâtiments ni d'arbres et qu'aucun dommage collectif ne peut dès lors se produire, une tempête assurée a eu lieu lorsque

- un vent de vitesse au moins égale à 63 km/h (moyenne sur dix minutes) a été mesuré (à partir de 63 km/h, le vent a la capacité d'occasionner des dommages selon l'échelle de Beaufort; voir pages 6/7), ou
- des rafales de vitesse au moins égale à 100 km/h ont été mesurées (les rafales de vitesse supérieure à 100 km/h sont loin d'être rares – la plupart des stations météorologiques en mesurent au moins une fois tous les dix ans; voir pages 10/11).



Image classique d'un dommage collectif: plusieurs bâtiments endommagés à Dallenwil, dans le canton de Nidwald (12 mars 2008; voir aussi page 45).
Photo: Nidwaldner Sachversicherung

Cette définition de la tempête selon l'Union intercantonale de réassurance s'applique à tous les éléments du bâtiment – structure porteuse, toiture et façades.

Les Etablissements cantonaux d'assurance ne couvrent pas seulement la réparation des dommages aux bâtiments dus aux tempêtes, mais aussi les frais de démolition, de déblaiement et d'élimination qui en découlent (avec en règle générale une limite proportionnelle à la valeur d'assurance du bâtiment).

La couverture d'assurance concrète se conforme aux législations régissant les dix-neuf Etablissements cantonaux d'assurance.



Bâtiments endommagés par une tornade en 2004.
Photo: Etablissement cantonal d'assurance
des bâtiments, Fribourg

A1.1 Concevoir, construire et entretenir pour résister aux tempêtes: Qui est compétent et qui est responsable de quoi?

Architecte

En cas de construction neuve, il agit au titre d'**auteur du projet**.

Dans le cadre de cette fonction,

- il tient compte du vent dans le choix de la forme et de l'orientation du bâtiment
- il est compétent pour le choix des matériaux (qui doit être arrêté avant l'appel d'offres); le choix de produits appropriés pour les façades relève ainsi de sa responsabilité
- il est compétent pour la stratégie d'entretien et de protection.

En cas de construction neuve, il en contrôle l'exécution au titre de **directeur des travaux**.

L'auteur des plans d'exécution ou du projet (selon le contrat) répond de la justesse du dimensionnement.

En élaborant les plans, son auteur devrait respecter les normes en vigueur et les indications des fabricants.

Ingénieur

L'ingénieur est responsable du **dimensionnement de la structure porteuse** et des **fixations de l'enveloppe du bâtiment**. Il tient compte du vent au titre d'action extérieure et il connaît ses mécanismes d'action ainsi que les bases mathématiques et physiques permettant de dimensionner les éléments porteurs et les fixations.

L'ingénieur civil est compétent pour la stabilité de l'ensemble du bâtiment (fondations, structure porteuse, dalles, parois). Il dimensionne les appuis et les fixations. L'ingénieur chargé des façades et leur constructeur sont compétents pour les détails de leur exécution.

Entrepreneur

L'entrepreneur est compétent pour l'**exécution des travaux**. Il prévoit des fixations conformes aux directives de l'ingénieur ou du fabricant.

L'entrepreneur est souvent entièrement responsable vis-à-vis de l'architecte et du maître de l'ouvrage en ce qui concerne le type et le nombre de fixations par unité de surface.

La qualité de la construction d'un bâtiment (et son niveau d'entretien) dépend de l'entrepreneur; ce point joue un rôle crucial dans le risque de dommages à la toiture et aux façades dus aux tempêtes.

Les concepteurs sont responsables du dimensionnement vis-à-vis du vent.

Le chef de projet doit requérir les vérifications pertinentes. De nombreux sinistres sont imputables à des négligences dans ces vérifications ou à des carences dans les contacts entre les intervenants.

Maître de l'ouvrage / propriétaire

En cas de **construction neuve**, le **maître de l'ouvrage** choisit à qui il va confier le projet et l'exécution des travaux.

La responsabilité des entrepreneurs qui réalisent les toitures et les façades est énorme. Le travail est souvent bâclé lorsque la pression sur les coûts et sur les délais est extrême, et ne laisse guère de temps pour les contrôles. Si l'on veut une construction de qualité, il faut diminuer la pression sur les coûts de réalisation et faire contrôler l'exécution des travaux par un spécialiste.

Le maître de l'ouvrage ne devrait pas choisir l'entrepreneur uniquement en fonction du montant de son offre. Dans la plupart des cas, l'augmentation de prix à consentir pour avoir une construction de bonne qualité est largement inférieure au coût des dommages pouvant être infligés par une tempête à une construction de qualité médiocre.

Le maître de l'ouvrage devrait aussi être conscient du fait que la fonction première de l'enveloppe du bâtiment est de protéger l'édifice et son contenu contre le vent et les intempéries. Elle doit parfaitement jouer ce rôle même lorsqu'on accorde de l'importance à l'esthétique et au design.

En cas de **construction existante**, le **propriétaire** est responsable de l'**entretien** de son bâtiment (check-lists en page 33 et 41).

Il y a plusieurs bonnes raisons pour entretenir un bâtiment de manière à ce qu'il résiste aux tempêtes:

- Les dommages dus aux tempêtes génèrent des frais et des tracas.
- Les dommages dus aux tempêtes induisent souvent des frais subséquents; par exemple, des dégâts à la toiture peuvent être à l'origine de dégâts d'eau à l'intérieur du bâtiment en cas de forte pluie.
- Les dommages dus aux tempêtes peuvent avoir des suites judiciaires; par exemple, si des personnes se trouvant à proximité immédiate du bâtiment sont touchées par des débris ou si un effet domino se produit (voir pages 44/45). Le propriétaire du bâtiment est responsable si des éléments de son édifice portent préjudice à des tiers lors d'une tempête!

La responsabilité de prévenir les dommages aux stores solaires incombe dans tous les cas au propriétaire du bâtiment (devoir de diligence).

Les locataires comme les propriétaires doivent agir correctement avant une tempête (relever les stores solaires à temps, fermer les portes et les fenêtres) et après la tempête (vérifier s'il y a des dommages).

Sources: [09], [12]



Ce toit d'une nouvelle maison, insuffisamment fixé, a été soulevé par une rafale de tempête et projeté sur la place de parc. Qui est responsable? Principe de base: la responsabilité incombe au maître de l'ouvrage (responsabilité causale si son bien occasionne un préjudice). Photo: Etablissement cantonal d'assurance d'Argovie

A1.2 Répartition des responsabilités entre les spécialistes

Lorsqu'il choisit les spécialistes, le maître de l'ouvrage doit veiller à ce que les différents intervenants (architecte, ingénieur, constructeur et entrepreneur) travaillent en équipe dans son intérêt.

Les dommages occasionnés par les tempêtes sont souvent dus à des défauts dans les transitions entre la structure porteuse et l'enveloppe du bâtiment. Ces défauts sont fréquemment imputables à un manque de clarté dans l'attribution des compétences entre les spécialistes pendant la conception et l'exécution des transitions. C'est pourquoi il est important, dans le cas d'un grand ouvrage, que l'équipe en charge de la conception résolve conjointement les problèmes liés au vent, pour éviter toute déficience aux passages entre les différentes étapes de la conception.

Il est aussi important que le maître de l'ouvrage s'informe au sujet de la forme d'organisation appliquée lors du processus de conception et de construction.

Les interfaces entre les différents intervenants, concernant notamment l'enveloppe du bâtiment (toiture, façades), doivent être définies clairement. C'est le cas lorsque:

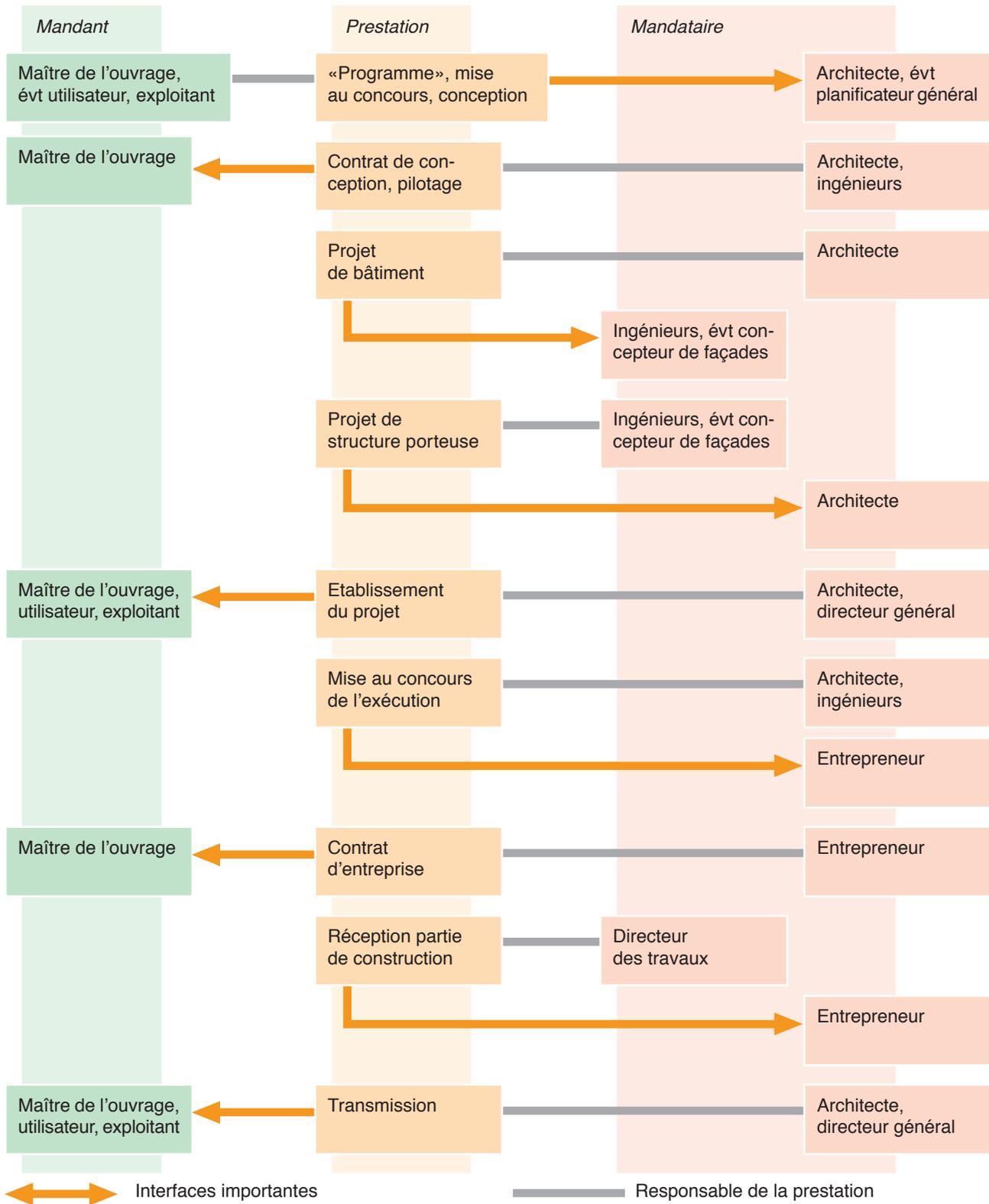
- les responsabilités relatives au dimensionnement des divers éléments sont attribuées clairement
- les transitions sont traitées conjointement par les différents spécialistes
- les informations sont transmises aux exécutants.

Alors seulement, les divergences d'interprétation entre les intervenants pourront être décelées et levées à temps. Source: [27]



Un bâtiment est particulièrement vulnérable au vent à certains stades de sa construction; ces deux photos de maçonnerie renversée par des rafales sont très parlantes à cet égard. Par conséquent, la prévention concrète des dommages dus au vent commence avec la pose de la première pierre. Photos: Etablissement cantonal d'assurance des Grisons





Organisation en prestataires sectoriels et répartition des tâches. Dans cette forme d'organisation, l'architecte joue le rôle de directeur général. Le

graphique signale les points faibles concernant les responsabilités des intervenants lors de la réalisation d'un bâtiment. Graphique tiré de [27]

A1.3 Le projet «Réduction des dommages à l'enveloppe du bâtiment dus aux actions extrêmes du vent»: résumé et conclusions des auteurs

Jacques-André Hertig, *dr sc. techn., ing. civil dipl. EPF, Wind Engineering EFLUM – EPFL, Lausanne*
Bruno Zimmerli, *prof. dr sc. techn., ing. civil dipl. EPF, Haute école de Lucerne – Technique & architecture*

Cette étude a montré que le dimensionnement de l'enveloppe des bâtiments (façades et toitures) soumis à l'action du vent était un sujet essentiel pour l'assurance des bâtiments en raison du coût très élevé des dommages dus au vent.

Système porteur

L'examen des dommages survenus durant les grandes tempêtes ayant traversé la Suisse à la fin du 20^e siècle (Vivian, Lothar, Martin) montre clairement que le dimensionnement des structures porteuses, lorsqu'il est effectué conformément aux dispositions de la norme SIA 160 (aujourd'hui SIA 260 et 261), est de bonne qualité et de nature à assurer la sécurité structurale et l'aptitude au service des constructions lors de tels événements. Ils n'ont provoqué aucun dommage structurel coûteux pour les assurances et pour la société.

Enveloppe du bâtiment

Le même examen montre en revanche clairement que les vents tempétueux frappent principalement les forêts, les arbres isolés et l'enveloppe des bâtiments. Les dommages à l'enveloppe sont imputables à une insuffisance dans la fixation d'éléments de toitures et de façades et à des carences dans la conception, la réalisation et l'entretien des bâtiments. L'effet domino génère aussi des dommages considérables. Dans ce cas, des débris et des objets transportés par le vent percutent et endommagent des constructions intactes se trouvant sur leur trajectoire. Les fenêtres, les vitrines et les revêtements de façades ou de toitures sont les plus touchés par cet effet.

Les dommages à l'enveloppe des bâtiments dus à l'action du vent revêtent une grande importance économique en raison des nombreux sinistres mineurs à modérés devant être indemnisés par les assurances.

Effets du vent et situation (exposition) des bâtiments

Cette étude a aussi rappelé que les effets du vent diffèrent beaucoup et dépendent de la situation (exposition) des bâtiments. Leur variation spatiale est importante en raison de la topographie de la Suisse et de la diversité des tissus bâtis. Ainsi, la situation régionale

et locale, les effets d'écran et de protection dus aux différents obstacles ainsi que les forêts jouent un rôle important dans l'ampleur des dommages potentiels. Relevons que toutes les constructions présentant des défauts ne subissent pas forcément des actions extrêmes du vent lors des grandes tempêtes.

Dimensionnement des façades

Les réponses sont complexes et nécessitent une approche ciblée impliquant plusieurs protagonistes du secteur de la construction.

Le dimensionnement des façades comporte des incertitudes dans l'évaluation des pressions internes et des différences de pression instantanées entre les divers éléments (effets de la vitesse du vent à l'intérieur de la façade). Des études de l'action du vent sur les constructions fournissent de bonnes images de la répartition spatiale des pressions externes locales. Et les essais en soufflerie portant sur de très grandes constructions livrent habituellement des répartitions spatiales utiles pour le dimensionnement des façades. Par contre, ces études ne permettent pas de définir valablement les pressions s'exerçant sur la face intérieure de l'enveloppe et surtout leurs variations temporelles.

Modèles de calcul: tests et nouveautés

Les modèles proposés dans les différentes normes et publications scientifiques se sont avérés lacunaires dans ce cas. C'est pourquoi les modèles existants ont été testés et complétés par de nouveaux dans le cadre du projet «Réduction des dommages à l'enveloppe du bâtiment dus aux actions extrêmes du vent». Trois modèles de calcul ont été développés pour déterminer les actions du vent sur les éléments de façades. Ils prennent en compte la simultanéité des pressions intérieures et extérieures, la porosité des façades, le volume des cavités et leur cloisonnement intérieur, tant au niveau des éléments que des volumes situés entre les différentes peaux ou surfaces des façades.

Etude de la pression intérieure

La question de la pression intérieure a fait l'objet d'une part importante des investigations effectuées dans le cadre du projet «Réduction des dommages à l'enveloppe du bâtiment dus aux actions extrêmes du vent». La méthodologie développée permet de déterminer les pressions et de calculer les fixations des façades et des toitures pour tous les cas rencontrés

dans la réalité. Il a été montré que les pressions intérieures dépendent principalement des ouvertures dans l'enveloppe, de leur position et de leurs dimensions. Elles dépendent aussi du volume intérieur. Lorsque la section totale des ouvertures est importante par rapport au volume intérieur, la pression intérieure est égale à la moyenne des pressions extérieures agissant sur les ouvertures.

Lorsque la section des ouvertures est faible, la pression intérieure dépend du volume se trouvant derrière la façade. C'est là que les conditions diffèrent et varient le plus. Il convient de distinguer les façades simples, sans circulation d'air entre la paroi extérieure et la paroi intérieure, et les façades ventilées ou façades sandwich, dans lesquelles de l'air circule librement entre deux ou plusieurs parois.

Dans le cas des façades simples, les pressions intérieures suivent un modèle classique. Dans le cas des façades ventilées, l'égalisation des pressions dépend de la porosité des façades et du volume de l'espace ventilé ainsi que de la position et de la section des ouvertures qu'il comporte éventuellement. Le volume de l'espace ventilé joue un rôle considérable. Lorsqu'il est grand, l'égalisation des pressions prend du temps et se trouve déphasée par rapport aux pressions extérieures. Il en résulte des actions importantes sur la paroi externe de la façade.

Lorsque le volume de l'espace ventilé est petit, l'égalisation des pressions est très rapide. La pression résultante exercée sur la façade reste faible dans tous les régimes de pression extérieure. Il ne faut évidemment pas que la pression puisse se transmettre sur un autre côté du bâtiment par-delà ses angles ou en empruntant des ouvertures.

Essais sur des lamelles

Enfin, des lamelles d'installations de protection contre le soleil et les intempéries ont subi des essais visant à déterminer les charges extrêmes induites par le vent. Ces tests ont permis de mettre à la disposition des ingénieurs des outils facilitant le calcul des actions exercées sur les éléments fixés horizontalement devant les façades.

Approche selon trois axes

Ce projet a montré que la réduction des dommages infligés par le vent à l'enveloppe des bâtiments est une question très complexe. Trois axes ont été suivis pour faire face à cette difficulté.

- Le premier a consisté à analyser les dommages causés par les tempêtes passées, à examiner les dispositions des normes et des recommandations en vigueur et à rassembler des informations tirées de la littérature et de mesures effectuées en soufflerie.

- Le deuxième a consisté à réinterpréter les résultats de mesures antérieures en vue d'améliorer les connaissances au sujet de l'action du vent sur les façades. Cette amélioration a été couplée avec de nouveaux développements théoriques et modèles de calcul.

- Le troisième a consisté à pratiquer de nouveaux essais sur certains éléments fixés aux façades. Ils ont notamment permis de définir les effets du vent sur les stores à lamelles.

Les enseignements tirés de ces études ont passé dans la pratique avec le rapport concluant le projet «Réduction des dommages à l'enveloppe du bâtiment dus aux actions extrêmes du vent». Ce rapport est d'abord destiné aux architectes et aux concepteurs. L'architecte doit pouvoir montrer au maître de l'ouvrage, en usant d'arguments convaincants, que la qualité de l'enveloppe du bâtiment a un prix.

Aperçu des documents relatifs au projet

Rapport final

Hertig, J.-A.; Zimmerli, B.: Réduction des dommages à l'enveloppe du bâtiment dus aux actions extrêmes du vent, 2009

Résumé à l'intention des maîtres d'ouvrages

Zimmerli, B.; Hertig, J.-A.: Prévention des dommages dus au vent – Devoirs des maîtres d'ouvrages, 2009

Support de formation pour praticiens

Boog, P.: Prévention des dommages dus au vent – Support de formation pour praticiens, 2009

Ces documents peuvent être téléchargés sur Internet à l'adresse www.praeventionsstiftung.ch

A2.1 Tempêtes hivernales (tempêtes de vent d'ouest)

Les tempêtes hivernales (aussi nommées tempêtes de vent d'ouest) atteignent la Suisse en venant du secteur ouest (nord-ouest à sud-ouest). On les désigne ainsi parce qu'elles se produisent pendant la période hivernale, entre octobre et avril.

Les tempêtes hivernales soufflent sur de vastes périmètres – leur trajectoire peut avoir 1000 à 2000 km de longueur et traverser plusieurs pays. Durant généralement un à plusieurs jours, elles touchent toute la Suisse, le sud et l'est un peu moins souvent toutefois que le nord et l'ouest.

Aucun autre type de tempête n'est capable de causer autant de dommages en Suisse lors d'un événement unique.

En décembre 1999, la tempête hivernale Lothar a sévi sur la Suisse pendant deux heures et demie. Arrivant par le Jura, elle a traversé le Plateau, le centre et le nord-est du pays; les vallées internes des Alpes ainsi que le sud et le sud-est de la Suisse ont été épargnés. Des rafales supérieures à 140 km/h ont été relevées même dans certaines vallées.

L'Oberland bernois a subi un fort föhn, qui a soufflé à des vitesses proches de celles de la tempête hivernale elle-même. Sources: [09], [11]



Etable dont le toit et la façade ont été sérieusement endommagés par Lothar en 1999. Photo: Etablissement cantonal d'assurance des bâtiments, Fribourg



Pylône en béton armé «abattu» par Lothar près de Stans (NW).
Photo: Andreas Walker

A2.2 Tempêtes orageuses

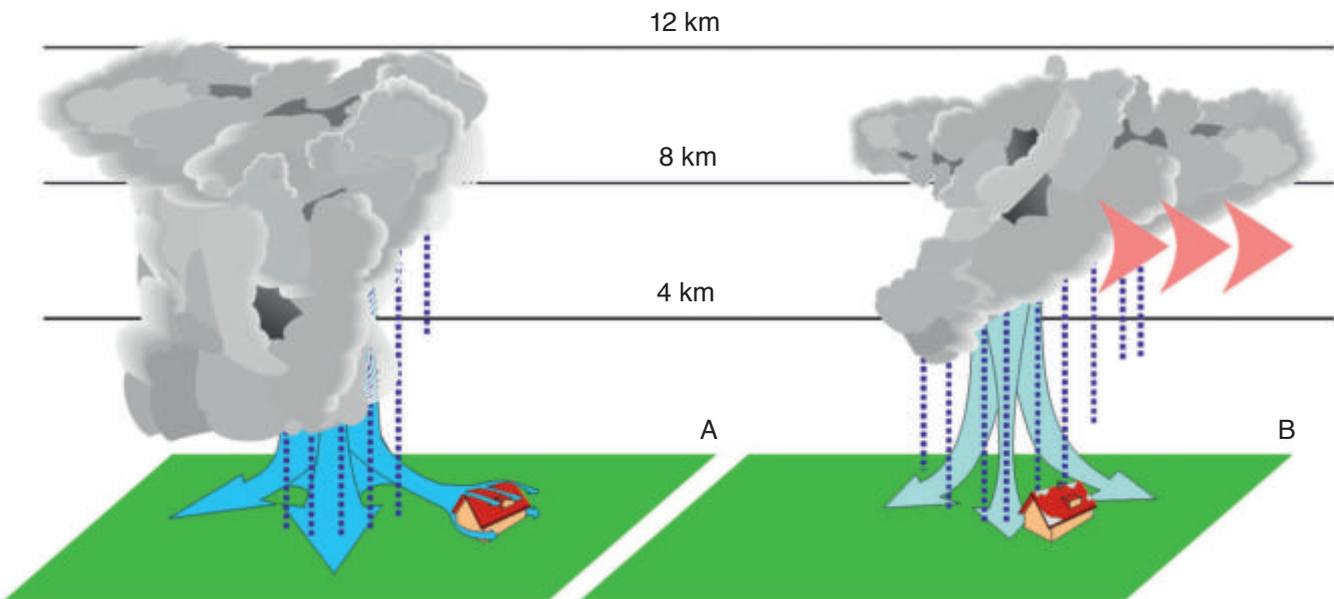
Les tempêtes orageuses se produisent là où un mouvement ascendant d'air chaud et humide provoque la formation de grands nuages en forme de tours. Elles surviennent à toute saison. Les orages de chaleur éclatent principalement l'été, en début de soirée.

Ces orages peuvent se former dans l'intervalle d'une demi-heure, puis se développer et se déplacer pendant plusieurs heures. Les violentes tempêtes orageuses sont parfois accompagnées de forts vents descendants, de grêle et de tornades.

Pendant les orages, des mouvements d'air descendants se produisent notamment dans la partie inférieure des nuages; ils sont renforcés par les gouttes d'eau tombantes, qui entraînent l'air avoisinant par frottement.

L'air froid s'écoulant vers le bas se répand à la surface du sol, comme de l'eau versée avec un seau (figure A). Il s'écoule à l'intérieur d'une masse d'air pratiquement immobile – c'est le proverbial «calme avant la tempête». Puis la vitesse du vent augmente brusquement entre l'air en mouvement et l'air immobile («première rafale») – un phénomène caractéristique des tempêtes orageuses.

La masse d'air froid descendante génère un vent en rafales extrêmement irrégulières pendant cinq à dix minutes. Puis le nuage d'orage se déplace ou se dissipe (figure B).



Développement d'une tempête orageuse. Représentation d'après un graphique de [26]



Heure: 15:20:17



Heure: 15:25:29



Heure: 15:27:19



Heure: 15:28:20



Heure: 15:29:41



Heure: 15:30:43



Heure: 15:32:53



Heure: 15:34:23



Heure: 15:38:44



Heure: 15:49:05

Tempête orageuse à Montreux en 2005

18 juillet 2005: une violente tempête orageuse provenant du lac Léman atteint Montreux et traverse la ville. La webcam de l'hôtel «Splendid» illustre son approche et son passage. Une demi-heure après, le calme est revenu.

15h20: il n'y a presque pas de vagues sur le lac, le soleil brille encore à Montreux

15h29: le front de rafales de la tempête orageuse atteint Montreux

15h34: la tempête passant sur Montreux recouvre la ville de grêlons.

Photos: Hôtel «Splendid», Montreux

A2.3 Tempêtes de föhn

Le föhn est un vent chaud et sec plus ou moins violent qui descend sur le versant nord des Alpes, de la crête principale à la bordure, en empruntant certaines «vallées à föhn» bien définies (voir graphique). Dans de rare cas, il parvient sur le Plateau; il s'avance au maximum jusque dans la région du lac de Constance. Plus fréquent au printemps (mars, avril, mai), le föhn peut aussi se manifester en automne et en hiver.

D'après MétéoSuisse, les rafales des tempêtes de föhn atteignent des pointes de 130 à 160 km/h dans les vallées alpines. Elles peuvent souffler à 200 km/h sur les sommets, voire à plus de 250 km/h sur les crêtes très exposées – des vitesses comparables à celles des tempêtes hivernales Vivian et Lothar.

Lorsque le föhn souffle sur le versant sud des Alpes, en s'engouffrant dans les vallées à partir du nord, on le nomme «föhn du nord». Sources: [03], [09], [17]

Vitesses de pointe de rafales de föhn

Adelboden (BE)	17.12.1983	133 km/h
Altdorf (UR)	13.12.1981	158 km/h
Brienz (BE)	27.5.2008	132 km/h
Elm (GL)	16.1.2008	124 km/h
Engelberg (OW)	8.11.1983	158 km/h
Evionnaz (VS)	17.12.1997	126 km/h
Giswil (OW)	8.11.1983	148 km/h
Glaris (GL)	10.10.1987	141 km/h
Meiringen (BE)	17.12.1997	139 km/h
Vaduz (FL)	6.1.1994	149 km/h

Source: [25]



Dans le périmètre orangé, le föhn est chez lui. Les flèches indiquent comment il souffle vers la bordure nord des Alpes en empruntant des «vallées à föhn». Parmi ces vallées à föhn, on trouve notamment le Vorderrheintal et le Hinterrheintal, l'Oberhalbstein, la vallée de Lenzerheide et le Churer Rheintal dans le canton des Grisons. Citons également ● le Rheintal saint-gallois, la vallée de la Seez (Walensee) et le pays glaronais ● la haute et la basse vallée de la Reuss ● la

vallée d'Engelberg et le Brünig ● la haute et la basse vallée de l'Aar ● les vallées de la Kander, de la Simme et de la Sarine ● le Valais.

Lorsqu'il souffle en tempête, le föhn a souvent suffisamment d'énergie pour passer par-dessus l'air froid du Plateau jusqu'aux crêtes du Jura, où il est ressenti comme un vent du sud-est à sud (flèches rouges au nord-ouest de la Suisse). Graphique: J.-A. Hertig, Hertig & Lador SA

A2.4 Tornades

Une tornade est un tourbillon d'air vertical extrêmement violent d'un diamètre de 200 à 300 mètres. Elle se déplace à une vitesse de 30 à 100 km/h par rapport au sol et dure en moyenne quelques minutes. Sa trajectoire, large de quelques centaines de mètres et longue de quinze à vingt kilomètres, est généralement dirigée vers le nord-est en Suisse.

Les tornades naissent à l'intérieur de tempêtes orageuses comportant des vents descendants. La probabilité qu'il s'en forme est la plus grande durant les chaudes journées d'été à tendance orageuse marquée. Elles sont les plus fréquentes en août et un peu moins en juin.

Il ne faut pas confondre les tornades avec les cyclones ou les typhons; ces tempêtes tropicales, qui ravagent des régions bien plus vastes que les tornades, ne peuvent pas se produire chez nous.

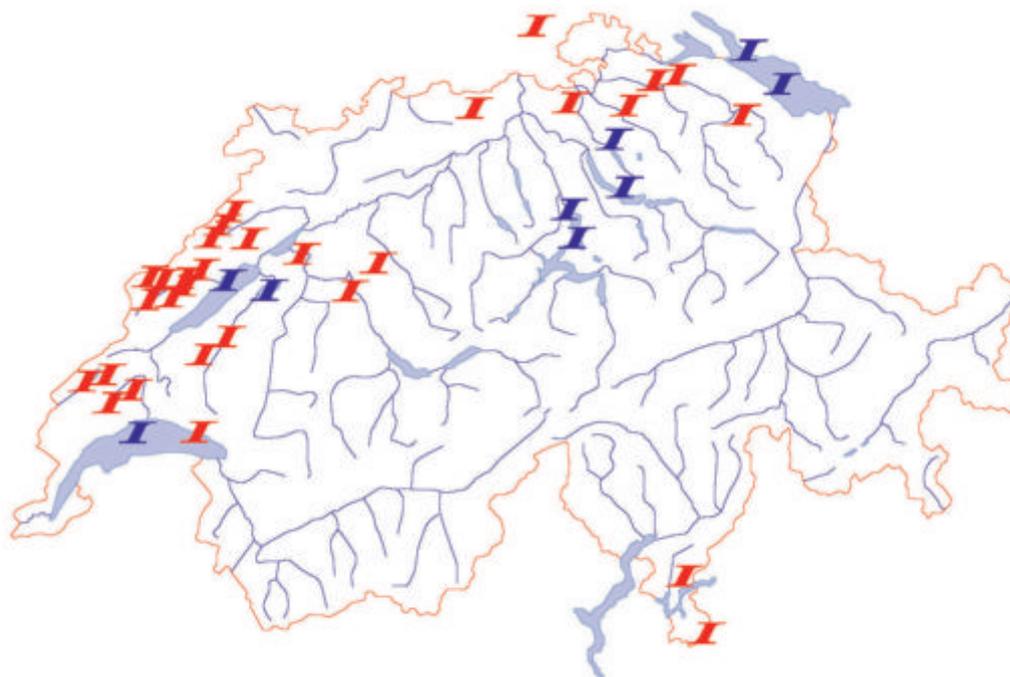
Les plus fortes tornades qui touchent la Suisse sont généralement moins intenses que celles qui se déplacent sur terre aux Etats-Unis. En Suisse, il faut s'attendre à ce qu'une à cinq tornades par décennie occasionnent des dégâts matériels plus ou moins importants. Comme la surface sur laquelle les tornades sévissent dépasse rarement quelques kilomètres carrés, les dommages qu'elles causent sont globalement modes-

tes – notamment par rapport aux tempêtes hivernales telles que Lothar ou Vivian. Mais si les aléas de la météo veulent que la trajectoire d'une tornade traverse une ville suisse densément peuplée, il faut s'attendre à des dommages de grande ampleur.

Sources: [03], [04], [26]



Une tornade se formant sur une vaste étendue d'eau est nommée «trombe d'eau». Photo: trombes d'eau apparues le 4 août 2006 sur la partie orientale du lac de Constance. Photo: Hans-Peter Milt, Rorschacherberg.



Tornades (en rouge) et trombes d'eau (en bleu) répertoriées en Suisse. Il semble que les tornades se développent en particulier dans l'ouest du Jura, notamment dans la vallée de Joux et dans la région

de La Chaux-de-Fonds. Les plus anciennes mentions de tornades dans le Jura datent de 1624. Graphique / source: [03]

Les effets d'une tornade ont une extension très limitée. Mais elle peut s'avérer dévastatrice à l'intérieur de ce périmètre, même en Suisse. Par le passé, quelques tornades ont eu un impact comme on n'en connaît en

principe qu'à l'étranger: tranchées en forêt longues de plusieurs kilomètres, bâtiments mis en pièces, véhicules projetés dans les airs. Source: [03]

La Chaux-de-Fonds en 1926

Le 12 juin 1926, une tornade s'est formée au nord-est de La Chaux-de-Fonds, puis elle a longé le nord de la ville. Elle a parcouru une trajectoire presque rectiligne de vingt-deux kilomètres (direction SW-NE), en quittant le sol après sept kilomètres pour reprendre contact trois kilomètres plus loin.

Plusieurs personnes ont été happées et grièvement blessées; un enfant de huit ans a succombé à ses blessures. D'innombrables bâtiments ont été endommagés ou détruits, ainsi que de grandes surfaces boisées.

Le 23 août 1934, la région de La Chaux-de-Fonds a été de nouveau frappée par plusieurs tornades, qui ont fait trois victimes.



Cet événement est également illustré aux pages 19 et 30. Photo ci-dessus: Perrochet-Matile, Lausanne (carte postale); photo ci-dessous: Arts graphiques Haefeli & Co., La Chaux-de-Fonds (carte postale).



Vallée de Joux en 1971

Le 26 août 1971, une tornade s'est formée au-dessus de la vallée de Joux. Elle a touché le sol près du village du Brassus, puis elle a dévasté, à près de 60 km/h, une bande rectiligne pratiquement continue d'une vingtaine de kilomètres de longueur.

Bilan: 79 bâtiments endommagés, dont 18 sérieusement. Trois granges et plusieurs véhicules ont été totalement détruits. Source: [03]



Là où la tornade a touché des bâtiments, elle a emporté une partie ou la totalité des toits.



Vue d'une partie de la trajectoire de la tornade, allant du milieu de l'image vers l'observateur.
Photo: J.-A. Hertig



Elle a ainsi laissé des témoignages visibles de sa force destructrice. Photos: J.-A. Hertig



La scène laissée par la tornade évoquait une guerre – en particulier là où gisaient des véhicules démolis après avoir été projetés dans les airs. Photo: J.-A. Hertig.

Liste des sources bibliographiques

- [01] Albisser, P.: [Wasserhosen über dem Bodensee](#). MétéoSuisse, 2006. www.meteosuisse.admin.ch
- [02] Aller, D.; Egli, T.; Rüttimann, D.; Stucki, M.: [Guide PLANAT du concept de risque. Teil B: Anwendung des Risikokonzepts: Prozess Sturm](#). Version provisoire, février 2009
- [03] Bader, S.: [Klima und Wasserkreislauf](#). Cours, partie «Climat». Institut de géographie de l'Université de Zurich, février 2009
- [04] Bader, S.: [Tornados in der Schweiz](#). MétéoSuisse, juin 2001
- [05] Barredo, J.I.: [No upward trend in normalised windstorm losses in Europe: 1970-2008](#). *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 10, 97-104, 2010
- [06] Boog, P.: [Prévention des dommages dus au vent – Support de formation pour praticiens](#), 2009
- [07] Cook N.J.: [The Designers Guide to Wind Loading of Building Structures](#), BRE, Butterworths, Part 1, 1985, and Part 2, 1990
- [08] Duding, O.: [Bise tempétueuse et froid glacial](#). MétéoSuisse, 2010. www.meteosuisse.admin.ch
- [09] Egli, T.: [Recommandations – Protection des objets contre les dangers naturels météorologiques](#), Association des Etablissements cantonaux d'assurance incendie (éd.), Berne, 2007
- [10] Institut fédéral de recherches WSL; Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage OFEFP (éd.): [Lothar. Der Orkan 1999. Ereignisanalyse](#). Birmensdorf, Berne, 2001 (remarque de l'expert B. Zimmerli: cette publication contient plusieurs erreurs relatives aux normes et au dimensionnement – notamment l'affirmation erronée selon laquelle les normes ne considèrent pas les rafales de telles tempêtes.)
- [11] Institut fédéral de recherches WSL; Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage OFEFP (éd.): [Lothar. Der Orkan 1999. Ereignisanalyse. Résumé](#). Téléchargement sous www.waldwissen.net
- [12] Hertig, J.-A.; Zimmerli, B.: [Réduction des dommages à l'enveloppe du bâtiment dus aux actions extrêmes du vent](#). Rapport final, 2009
- [13] Lowinski, L.: [Daten und Fakten zu Tornados in Deutschland](#). Info-Blatt, Meteos GmbH, Skywarn Bayern, 2004
- [14] Meile-Müller, L.: [Der Sturmwind im Gebäudeversicherungsrecht – Besprechung eines Entscheides des Zürcher Verwaltungsgerichtes](#). *Sicherheit&Recht*, 3/2009, 206-209
- [15] MétéoSuisse: [Orkan Lothar](#). MétéoSuisse, 1999. www.meteosuisse.admin.ch
- [16] Müller, E.; Bader, S.; Hächler, P.: [Ouragan Lothar – 10 ans après](#). MétéoSuisse, 2009. www.meteosuisse.admin.ch
- [17] Norme SIA 261 (2003): [Actions sur les structures porteuses](#). Société suisse des ingénieurs et des architectes, Zurich
- [18] Stoll, M.; Hostettler, A.; Gerstgrasser, D.: [Wasserhose über dem Zugersee](#). MétéoSuisse, 2009. www.meteosuisse.admin.ch
- [19] Stoller, P.: [Principes de l'enveloppe du bâtiment](#). 1^{re} édition, 2006. [grafitext-verlag](http://grafitext-verlag.com), Treiten. www.grafitext.ch
- [20] Association professionnelle suisse pour des façades ventilées: [Windeinwirkung im Fassadenbau](#). Ventilator 1, 2007
- [21] Association professionnelle suisse pour des façades ventilées (éd.): [SFHF-Richtlinien für vorgehängte, hinterlüftete Fassaden. Grundsätze und Hinweise für die Projektierung, Bemessung, Konstruktion und Ausführung](#). 2. Auflage, 2005
- [22] Association des fournisseurs suisses de systèmes pour la protection contre le soleil et les intempéries VSR: [Notice VSR sur l'influence des vitesses du vent sur les systèmes de protection contre le soleil et les intempéries](#). Version de janvier 2010. www.storen-vsr.ch
- [23] Association des Etablissements cantonaux d'assurance incendie AEAI: [Comment protéger un bâtiment contre la tempête](#). Guide à l'intention des

propriétaires de maisons (téléchargement sous www.kgvonline.ch)

[24] Association des Etablissements cantonaux d'assurance incendie AEAI: [Séminaire «Protection des bâtiments contre le vent»](#). Documentation du séminaire, 2009

[25] Z'graggen, L.; Gerstgrasser, D.: [Heftiger Föhnsturm, vor allem im Berner Oberland](#). MétéoSuisse, 2008. www.meteosuisse.admin.ch.

[26] Zimmerli, B.; Hertig, J.-A.: [Documentation D 0188: Wind](#) – Kommentar zum Kapitel 6 der Normen SIA 261 und 261/1 (2003) Einwirkungen auf Tragwerke. SIA, Zurich, 2006

[27] Zimmerli, B.; Hertig, J.-A.: [Prévention des dommages dus au vent – Devoirs des maîtres d'ouvrages](#). Résumé à l'intention des maîtres d'ouvrages, 2009

Sources sur Internet

[30] www.kgvonline.ch
Etablissements cantonaux d'assurance: Protection des objets contre les dangers naturels – Conseils aux propriétaires en cas de tempête

[31] www.naturgefahr.ch
Egli Engineering

[32] www.gvb.ch
Assurance immobilière Berne

[33] www.ecab.ch
Etablissement cantonal d'assurance des bâtiments, Fribourg

[34] www.gvg.gr.ch
Etablissement cantonal d'assurance des Grisons

[35] www.gvasg.ch
Etablissement cantonal d'assurance de St-Gall

[36] www.gvz.ch
Etablissement cantonal d'assurance de Zurich

[37] www.hev-schweiz.ch
Association suisse des propriétaires fonciers

[38] www.svv.ch
Association Suisse d'Assurances

[39] www.wikipedia.org
Wikipedia

Aperçu des documents relatifs au projet

Hertig, J.-A.; Zimmerli, B.: [Réduction des dommages à l'enveloppe du bâtiment dus aux actions extrêmes du vent](#), 2009

Zimmerli, B.; Hertig, J.-A.: [Prévention des dommages dus au vent – Devoirs des maîtres d'ouvrages](#), 2009

Boog, P.: [Prévention des dommages dus au vent – Support de formation pour praticiens](#), 2009

Ces documents peuvent être téléchargés sur Internet à l'adresse www.praeventionsstiftung.ch

Normes

Normes de la société suisse des ingénieurs et des architectes, Zurich (éditeur):

- Norme SIA 180 (1999): [Isolation thermique et protection contre l'humidité dans les bâtiments](#)
- Norme SIA 232 (2000): [Toitures inclinées](#) (norme SIA 232/1 à partir de 2011)
- Norme SIA 233 (2000): [Revêtements de façades – Bardages](#) (norme SIA 232/2 à partir de 2011)
- Norme SIA 260 (2003): [Bases pour l'élaboration des structures porteuses](#)
- Norme SIA 261 (2003): [Actions sur les structures porteuses](#)
- Norme SIA 261/1 (2003): [Actions sur les structures porteuses – Spécifications complémentaires](#)
- Norme SIA 329 (2008): [Façades préfabriquées](#)
- Norme SIA 331 (2008): [Fenêtres](#)
- Norme SIA 342 (2009): [Protection des baies contre le soleil et les intempéries](#)
- Norme SIA 343 (2010): [Portes](#)

SN EN 1991-1-4: 2005. [Eurocode 1 – Actions sur les structures – Partie 1.4: Actions générales – Actions du vent](#)

Bibliographie complémentaire

Association professionnelle suisse pour des façades ventilées (éd.): [SFHF-Richtlinien für vorgehängte, hinterlüftete Fassaden](#). Grundsätze und Hinweise für die Projektierung, Bemessung, Konstruktion und Ausführung. 2. Auflage, 2005

Association suisse de l'industrie de la terre cuite: [Le toit en tuiles de terre cuite](#). 2^e édition, 2002

Association suisse et liechtensteinoise de la technique du bâtiment (suissetec): [Guide pour le calcul des fixations des revêtements métalliques en tôle fine](#). CD-ROM, 2003. Diffusé sur le site www.suissetec.ch

Britschgi, H.; Egli, S.; Gadola, M.; Kesselring, S.; Walker, M.; Weyermann, M.: [Fassadenbau. Planung und Ausführung vorgehängter hinterlüfteter Fassaden \(VHF\)](#). Bildungszentrum Polybau, Uzwil, 2. Auflage, 2009

Egli, T.: [Recommandations – Protection des objets contre les dangers naturels météorologiques](#). Association des Etablissements cantonaux d'assurance incendie (éd.), Berne, 2007
Téléchargement sous www.vkf.ch

Enveloppe des édifices Suisse: [Wegleitung zur Norm SIA 271 Abdichtung im Hochbau](#), 2010

Fallot, J.-M.; Roten, M.: [La tempête de foehn des 7 et 8 novembre 1982](#). Cahier de l'Institut de géographie de l'Université de Fribourg «UKPIK» n° 3, 63-79, 1985

Hanselmann, B.; Kuster, A.; Stoller, P.: [L'étanchéité du bâtiment. Planification et exécution](#). grafitext-verlag, Treiten, 2009. www.grafitext.ch

Heneka, P.: [Schäden durch Winterstürme – das Schadenrisiko von Wohngebäuden in Baden-Württemberg](#). Dissertationsreihe am Institut für Hydromechanik der Universität Karlsruhe (TH), Heft 2006/4

Herzog, J.-L.; Golaz, C.: [Le cyclone orageux du 12 juin 1926](#). Annales de l'Institut suisse de météorologie, 1926, annexe 3

Kraus, H.; Ebel, U.: [Risiko Wetter – Die Entstehung von Stürmen und anderen atmosphärischen Gefahren](#). Springer Verlag, Berlin, 2003

Piaget, A.: [L'évolution orageuse au nord des Alpes et la tornade du Jura vaudois du 26 août 1971](#). Publications de l'Institut suisse de météorologie n° 35, 1976

Stoller, P.: [Toits à pans inclinés. Connaissances professionnelles pour couvreurs](#). grafitext-verlag, Treiten, 2004. www.grafitext.ch

Stoller, P.: [Principes de l'enveloppe du bâtiment](#), 1^{re} édition, 2006. grafitext-verlag, Treiten, 2002. www.grafitext.ch

Stucki, M.; Egli, T.: [Répertoire de la protection contre la grêle](#). Recherches sur le danger de grêle et la résistance de l'enveloppe des bâtiments. Fondation de prévention des Etablissements cantonaux d'assurance, 2007

Vanomsen, P.: [Windlastprüfung von Rollläden und Raffstoren](#). Association des Etablissements cantonaux d'assurance incendie AEAI / Egli Engineering. Téléchargement sous www.kgvonline.ch

Compléments sur Internet

www.praeventionsstiftung.ch

Fondation de prévention des Etablissements cantonaux d'assurance

www.vkf.ch

Association des Etablissements cantonaux d'assurance incendie

www.wetteralarm.ch

Alarme-Météo

www.meteosuisse.admin.ch

MétéoSuisse

www.sia.ch

Société suisse des ingénieurs et des architectes

www.webnorm.ch

Distributeur online de la SIA pour les normes suisses sur la construction

www.gh-schweiz.ch

Enveloppe des édifices Suisse (Association suisse des entrepreneurs de l'enveloppe des édifices)

www.suissetec.ch

suissetec (Association suisse et liechtensteinoise de la technique du bâtiment)

www.storen-vsr.ch

Association des fournisseurs suisses de systèmes de protection contre le soleil et les intempéries

www.tordach.org

TorDACH. Kompetenzzentrum für lokale Unwetter in Deutschland, Österreich und der Schweiz

www.sturmarchiv.ch

Archives sur les tempêtes en Suisse

www.sturmarchiv.ch/index.php/Tornados

www.tordach.org/ch

Tornades en Suisse

www.naturgewalten.de

Thomas Sävert: Naturgewalten

www.infomaison.ch

Infomaison: le bon conseil au bon moment

Une nouvelle tempête arrivera certainement.
Votre bâtiment est-il prêt?
Photo: Etablissement cantonal
d'assurance des bâtiments, Fribourg



Une victime de la tempête hivernale Lothar



Ce rapport de synthèse fait le tour des différents vents susceptibles d'occasionner des dommages en Suisse: tempête hivernale, bise, föhn, tempête orageuse, tornade.

Il explique pour quelle raison et de quelle manière ces vents et leurs rafales endommagent des bâtiments – et comment on peut éviter ces dégâts en agissant préventivement.

Il propose aux architectes, projeteurs et maîtres d'ouvrages une introduction claire et compréhensible aux fondements scientifiques et techniques du rapport concluant le projet «Réduction des dommages à l'enveloppe du bâtiment dus aux actions extrêmes du vent».

