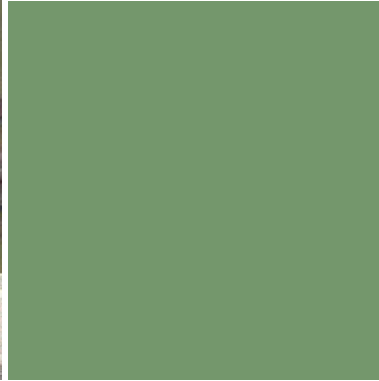
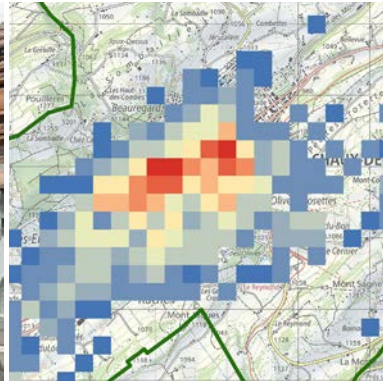
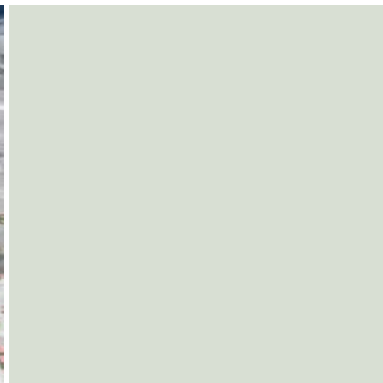
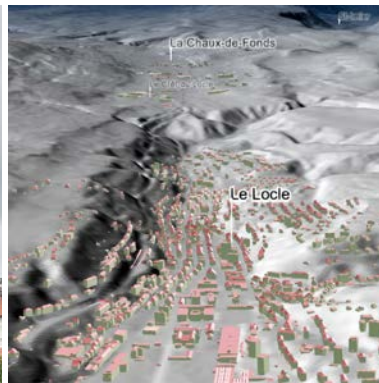


Analyse d'événement

Tempête estivale à La Chaux-de-Fonds
en 2023



Éditeur

Tous droits réservés © 2026
Association des établissements cantonaux d'assurance AECA
Bundesgasse 20
CH-3001 Berne
www.vkg.ch



Auteur

Markus Imhof

Conseil technique

Massimo Vitalba, Établissement cantonal d'assurance et de prévention de Neuchâtel
Martin Jordi, AECA

Coordination

Markus Imhof

Traduction française

Service Traduction de l'AECA, Berne

Modèle de mise en page

Rickli+Wyss AG, Berne

Tirage

Le présent document est publié uniquement au format numérique.

Sources de données et d'informations

Statistique des dommages de l'Union intercantonale de réassurance UIR
Établissement cantonal d'assurance et de prévention de Neuchâtel ECAP
Géoportail du canton de Neuchâtel SITN
Office fédéral de météorologie et climatologie MétéoSuisse
Office fédéral de topographie swisstopo
Office fédéral de la statistique OFS

Sources photographiques

Établissement cantonal d'assurance et de prévention de Neuchâtel ECAP
Les photos reproduites afin d'illustrer les dommages causés aux bâtiments sont utilisées avec l'autorisation de l'ECAP. Dans la mesure du possible, elles ont été anonymisées. Les photos ne comportent aucune personne qui soit reconnaissable. Pour des raisons évidentes, on ne peut exclure que certains bâtiments figurant sur les photos puissent être localisés sur la base de la vue extérieure.
Géoportail du canton de Neuchâtel SITN
Les photos assorties de l'indication de source « UIR » sont fournies par l'auteur.

Mentions légales	2
Table des matières	3
Résumé	4
1. Introduction	4
2. Secteur géographique étudié	5
3. Contexte météorologique	6
4. Relevé des dommages par vues aériennes	10
5. Cadre légal de l'ECAP en matière de tempêtes et de dommages dus au vent	11
6. Données relatives aux dommages et données de portefeuille utilisées pour réaliser l'analyse d'événement	12
7. Analyse géographique des dommages causés aux bâtiments, à l'aide d'un SIG	13
8. Analyse statistique des dommages causés aux bâtiments	18
9. Aperçu des tempêtes estivales dévastatrices antérieures	52
10. Mesures de prévention	60
11. Résultats, conclusions et perspectives	62
12. Remerciements	64
13. Bibliographie	65
Annexe : Code d'affectation	66

Résumé

Le 24 juillet 2023, un puissant orage supercellulaire transite le long du Jura neuchâtelois en provenance de la région française du Doubs (au nord de Pontarlier) pour atteindre le Vallon de Saint-Imier (canton de Berne), où il finit par s'affaiblir. Il atteint son intensité maximale à 11h30 HEEC dans la région de La Chaux-de-Fonds (NE), où de violentes rafales causent des dommages matériels considérables en l'espace de quelques minutes. À la station de mesure automatique que MétéoSuisse exploite sur le site de l'aérodrome régional des Éplatures, au sud-ouest de La Chaux-de-Fonds, une rafale maximale de 217 km/h sur 1 seconde a été enregistrée, ce qui est la valeur la plus élevée jamais mesurée à cet endroit. Probablement, des particularités topographiques ont encore renforcé la violence de la tempête : il est vraisemblable qu'au niveau du rétrécissement situé vers le Crêt-du-Loclc, la canalisation des vents dans le vallon de La Chaux-de-Fonds / Le Locle ait généré un effet Venturi, qui a pu causer une accélération supplémentaire des masses d'air.

Les orthophotos qui ont été prises peu après l'événement révèlent clairement différentes orientations de la couchée des arbres selon les endroits : sur le flanc situé au sud de la trajectoire, les arbres couchés sont principalement orientés dans une même direction, ce qui est un effet typique des rafales descendantes, tandis que le long du flanc situé au nord, des motifs convergents suggèrent plutôt une circulation tornadique. MétéoSuisse en a conclu que cette tempête constituait un événement hybride, à savoir la combinaison d'une tornade et de violentes rafales descendantes.

Notamment dans les communes de La Chaux-de-Fonds et du Locle, les vents tempétueux ont causé des dommages matériels de grande envergure à des bâtiments, à des véhicules, à des infrastructures (secteurs des transports ainsi que de l'approvisionnement en énergie), à des arbres isolés et dans les forêts. Une personne a perdu la vie de manière tragique, et plus de quarante autres ont été blessés.

L'Établissement cantonal d'assurance et de prévention de Neuchâtel ECAP a enregistré plus de trois mille déclarations de sinistre, pour un montant total dépassant 130 millions de francs. Il s'agit donc de l'événement naturel le plus dévastateur qu'a connu le canton de Neuchâtel depuis le début du recensement de ces événements, en 1930. Pour cet événement, la moyenne des montants de dommage (montant par dossier) s'est établie à 43 000 francs, ce qui est largement supérieur à la moyenne pluriannuelle : au cours de la période de vingt ans qui précède l'année 2023, soit sur les années 2003 à 2022, la moyenne des dommages dus aux tempêtes s'élevait à seulement 2680 francs

par cas dans le canton de Neuchâtel (valeur indexée). Cela montre bien l'extraordinaire intensité de la tempête qui s'est produite en juillet 2023.

Outre la charge du vent en elle-même, les impacts de débris emportés ont également joué un rôle important : en effet, de nombreux dommages secondaires ont été causés par des éléments de construction arrachés et emportés par la tempête, en particulier dans les quartiers présentant une densité de construction élevée.

Les analyses statistiques ont démontré que les divers types de bâtiments présentent des différences considérables en termes de degré de vulnérabilité caractéristique. Ainsi, les bâtiments d'habitation, les bâtiments administratifs, de même que les bâtiments servant à la formation ont subi des dommages supérieurs à la moyenne. Inversement, les garages, les bâtiments consacrés au sport, ainsi que les bâtiments agricoles ont été moins touchés que la moyenne, ce qui peut dans la majorité des cas s'expliquer par une exposition plus faible ou par un mode de construction plus robuste. Il est en outre frappant de constater que les bâtiments plus récents ont tendance à présenter des degrés d'endommagement (rapport entre le montant du dommage et la valeur d'assurance) plus élevés que les constructions plus anciennes, ce qui s'explique probablement par la plus grande vulnérabilité des façades et des toitures dans l'architecture moderne.

L'événement examiné confirme l'importance de la prévention des dommages éléments naturels. Font notamment partie des mesures pertinentes : des choix constructifs axés sur la résistance des enveloppes de bâtiment (façades et toitures), une planification soignée de l'entretien, ainsi que la prise en compte, au niveau de l'aménagement du territoire et des exigences relatives à la construction, des spécificités topographiques pouvant développer des effets aggravants. La présente analyse fournit des résultats pouvant être exploités dans le cadre des futures stratégies de prévention axées sur les tempêtes estivales.

1. Introduction

Au fil des vingt dernières années, l'Union intercantonale de réassurance UIR a d'une part elle-même publié plusieurs analyses portant sur des événements naturels hors du commun et d'autre part collaboré à la réalisation d'autres analyses de ce type : par exemple au sujet de la tempête hivernale Lothar (en 1999), des inondations estivales de 2005 et 2007, des averses de grêle survenues en 2009 et en 2011, ainsi que de la série d'intempéries qui s'est produite en 2021 (WSL & OFEFP, 2001 ; Aller et al., 2005 ; Imhof & Heuberger, 2008 ; Imhof & Choffet, 2012,

2. Secteur géographique étudié

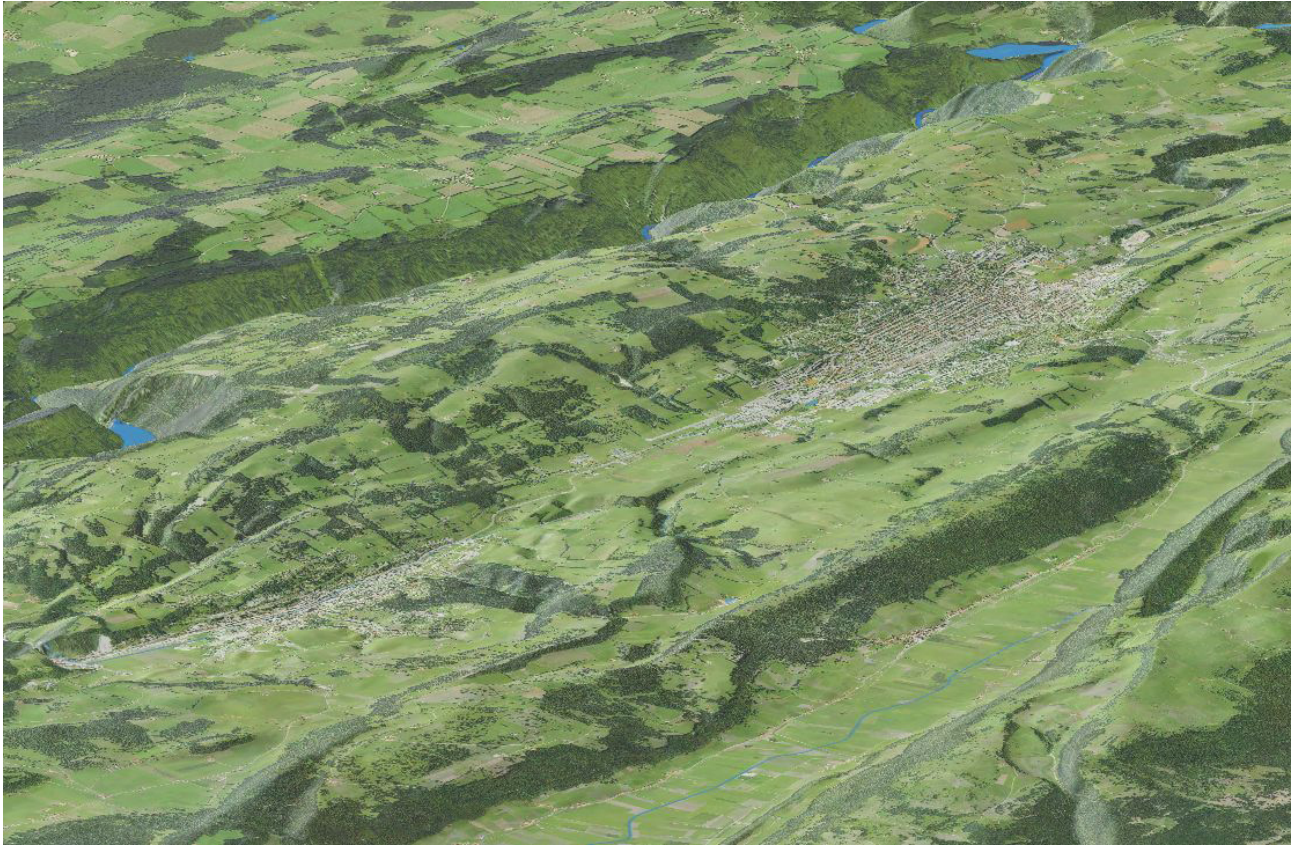


Illustration 1 : Vue aérienne (image de synthèse), depuis le sud, sur le vallon d'altitude de La Chaux-de-Fonds / Le Locle. Sur la gauche se trouve la cuvette du Locle, plus basse en altitude (environ 920 m), d'où la route serpente en montée le long du flanc de coteau en passant par Le Pied-du-Crêt et le Crêt-du-Locele pour atteindre le vallon de La Chaux-de-Fonds (à environ 1000 m d'altitude), situé sur la droite. (Atlas de la Suisse, version 3)

Imhof et al., 2015 ; Imhof, 2023). Une étude portant spécifiquement sur une tempête estivale n'avait jusqu'à présent pas été réalisée. La tempête qui a sévi le 24 juillet 2023 dans le Jura neuchâtelois a ainsi fourni l'occasion d'examiner en détail un tel événement.

La vaste collection de données ainsi que les nombreux documents photographiques que l'Établissement cantonal d'assurance et de prévention de Neuchâtel ECAP a pu mettre à disposition ont permis de réaliser de multiples analyses statistiques, entre autres en s'appuyant sur un système d'information géographique (SIG). Ces analyses ont permis de rassembler des informations précieuses sur l'intensité des dommages et sur la vulnérabilité des bâtiments. Et dans une certaine mesure, des conclusions utiles en matière de prévention des dommages éléments naturels peuvent être dérivées à partir de ces résultats.

2. Secteur géographique étudié

La Chaux-de-Fonds¹

Parmi les moyennes et grandes villes de Suisse, La Chaux-de-Fonds est la plus haut située, étant construite à environ 1000 mètres d'altitude. Constituant près des deux tiers du secteur géographique étudié, le territoire de la commune s'étend sur presque 56 km², entre 610 et 1330 mètres d'altitude environ. Un peu plus de 37 000 personnes résident dans la commune ; en très grande majorité, elles habitent dans la ville de La Chaux-de-Fonds. Avec Olives-Crosettes et Éplatures-Crêt du Locle, la commune comprend aussi deux centres d'urbanisation secondaires.

Sur le reste du territoire communal, l'habitat rural dispersé prédomine. Selon les chiffres de l'Établissement cantonal

¹ Étymologie : « Chaux » de la racine gauloise « calm(is) » ; terrain désert, peu productif ou séchard, le plus souvent en pré (plutôt dans un fond du vallon) ; « Fonds » d'origine incertaine et controversée. (d'après : Bossard & Chavan, 2006)

3. Contexte météorologique

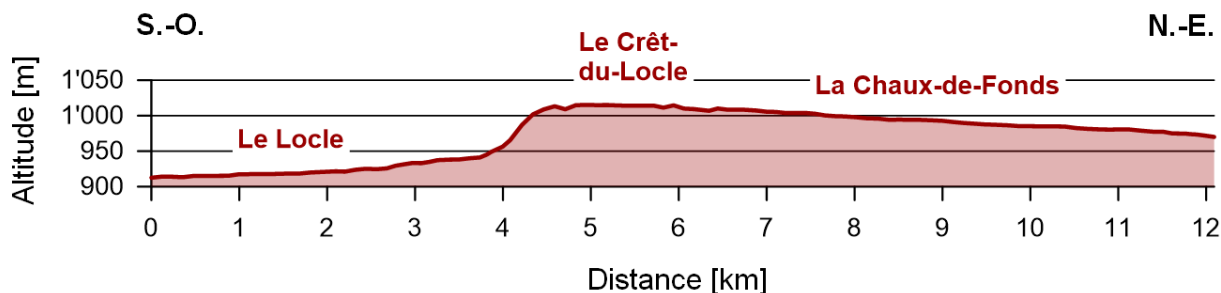


Illustration 2 : Profil longitudinal (à échelles différentes) depuis l'extrémité sud-ouest du Locle, le long de l'axe du vallon, et jusqu'à l'extrémité nord-est de La Chaux-de-Fonds. La forte dénivellation dans le secteur du kilomètre 4 est très frappante. (source des données : SITN)

d'assurance et de prévention de Neuchâtel ECAP, la commune comptait près de 7100 bâtiments au 1^{er} janvier 2024, dont 2769 ont subi des dommages, soit environ 39 %.

Le Locle²

Un bon tiers du secteur géographique étudié se trouve sur le territoire de la commune du Locle, qui présente une superficie de presque 35 km² située entre 710 et 1330 mètres d'altitude environ. La population de la commune s'élève à quelque 11 000 personnes, qui vivent principalement dans la ville du Locle (environ 920 m d'altitude) et dans la localité des Brenets (environ 840 m d'altitude). La ville du Locle se trouve dans le prolongement du vallon de La Chaux-de-Fonds, mais au-delà de la ligne de partage des eaux qui se situe vers le Crêt-du-Locle (illustrations 1 et 2). Quant au village des Brenets, il se trouve sur un coteau surplombant le lac des Brenets, et il se situe de ce fait déjà dans la vallée voisine.

Le reste du territoire communal est caractérisé par un habitat dispersé. Constituant autrefois une commune indépendante, Les Brenets ont fusionné avec la commune du Locle en 2021. Au 1^{er} janvier 2024, la commune du Locle comptait environ 3400 bâtiments, dont 243 ont subi des dommages, soit environ 7 %.



Illustration 3 : Les nuages rendent le cisaillement du vent visible. Un « nuage d'orage » (cumulonimbus) s'est formé au-dessus de l'Oberland bernois, dans une masse d'air dans laquelle le vent est faible ; plus haut, l'enclume (couche de cristaux de glace) qui s'est constituée au sommet du nuage est décalée latéralement sur une grande distance par rapport à la zone de convection, ce qui révèle la présence de forts vents d'altitude. On peut donc observer un fort gradient de vent vertical. (photo : UIR)

3. Contexte météorologique

(Les explications qui suivent sont basées sur le rapport technique MétéoSuisse N° 287 : Peyraud et al., 2024.)

Durant la matinée du 24 juillet 2023, l'ouest de la Suisse se trouve sous l'influence d'un puissant courant de sud-

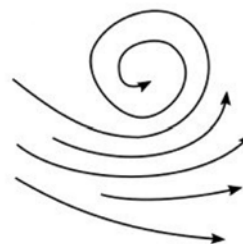


Illustration 4 : Schéma conceptuel montrant les flux de vents proches du sol dans le cas d'un événement hybride. (tiré de : Peyraud et al., 2024)

2 Étymologie : du gaulois « lokos » ou du latin « lacus » ; petite mare, étang ; par extension, terrain marécageux. (d'après : Bossard & Chavan, 2006)

ouest en altitude dans une masse d'air préfrontale modérément instable à l'avant d'un front froid situé sur le quart nord-est de la France. Au niveau du sol, la progression de ce front froid engendre un soulèvement de basses couches d'air et favorise la formation de cellules orageuses. Ces masses d'air étaient caractérisées par des cisaillements verticaux du vent³ particulièrement prononcés (illustration 3). Le fort gradient des vents, aussi bien en termes de directions que de vitesses, a favorisé l'apparition de violentes rafales au sol ainsi que d'une circulation tornadique.

La structure supercellulaire s'était déjà constituée avant l'arrivée du front à La Chaux-de-Fonds. Elle a suivi les reliefs du Jura, qui sont connus pour être un « couloir à orages ». La topographie des versants et du fond du vallon entre Le Locle et La Chaux-de-Fonds a alors canalisé la supercellule. En effet, en direction du nord-est, le vallon se rétrécit entre Le Locle et le Crêt-du-Locle, aussi bien dans l'horizontale (entre les deux crêtes qui le délimitent) que dans la verticale (fond du vallon), ce qui a probablement contribué à renforcer les rafales (illustrations 1 et 2).

Une telle accélération d'un flux d'air lors de son passage par un rétrécissement est appelée effet Venturi ou effet d'entonnoir. Il est dès lors plausible que le relief du Jura ait contribué à renforcer la cellule orageuse par des processus de soulèvement de masses d'air. Par ailleurs, il n'est pas impossible que le bâti et l'architecture urbaine particuliers de la ville de La Chaux-de-Fonds, construite en damier, avec des axes de circulation orientés du sud-ouest au nord-est, parallèlement à l'axe du vallon, aient pu jouer un rôle quant à la canalisation des rafales et aux modifications de la vitesse des vents (illustration 5), mais l'ampleur de cet effet est très difficile à évaluer. Le cas échéant, ce phénomène aurait principalement concerné le centre-ville.

Les données fournies par le réseau suisse de radars météorologiques montrent clairement une rotation à l'échelle de la cellule orageuse. Certains dommages forestiers observés le long de la frange nord de la trajectoire de l'orage, à la hauteur de La Chaux-de-Fonds, soutiennent également la thèse d'un renforcement des rafales au sol par la présence d'une circulation tornadique, ce qui permet de

³ La notion de cisaillement du vent désigne des variations brusques et importantes de la vitesse et/ou de la direction du vent, engendrées par le fait que deux masses d'air présentant des caractéristiques distinctes se rencontrent et se croisent. Le cisaillement peut être horizontal ou vertical. Un cisaillement vertical apparaît à la surface de contact entre deux masses d'air immédiatement superposées, lorsque les flux d'air présents aux surfaces limites de ces deux masses d'air présentent des directions ou des vitesses différentes. (d'après le glossaire météorologique et climatologique du service météorologique allemand, Deutscher Wetterdienst DWD, consulté le 29 octobre 2025, ainsi que [pour la traduction française] le site www.meteoi.re, consulté le 23 février 2026)



Illustration 5 : Vue vers le sud-ouest depuis la plateforme panoramique de la tour « Espacité » de La Chaux-de-Fonds, en direction du Locle, le long de l'Avenue Léopold-Robert. La ligne d'horizon dessine le profil transversal de la vallée. (photo : UIR)

conclure, avec un haut degré de probabilité, à un événement de nature hybride (illustration 4).

Cependant, les données radar ne permettent pas de confirmer de manière directe la présence d'une circulation tornadique à proximité du sol, le 24 juillet 2023 à La Chaux-de-Fonds, étant donné que quatre des cinq radars qui constituent le réseau d'observation se situent au-dessus de 1600 m d'altitude (à savoir ceux de La Dôle, de la Pointe de la Plaine Morte, du Monte Lema et du Weissfluhgipfel) et, par conséquent, ne sondent l'atmosphère qu'au-dessus de cette altitude (élévation la plus basse, c.-à-d. angle de détection le plus bas de l'antenne radar : $-0,2^\circ$; Schröer et al., 2022). Seule la station radar de l'Albis (938 m d'altitude) se trouve à une altitude comparable à celle de La Chaux-de-Fonds.

Comme le montrent aussi bien les observations sur le terrain que l'analyse de photos aériennes, les dommages forestiers constatés le long de la frange nord de la trajectoire de l'orage, depuis le nord-ouest du Locle jusqu'au nord de La Chaux-de-Fonds, font apparaître des motifs convergents, ce qui suggère le passage d'une tornade : les arbres couchés y sont orientés dans toutes les directions, de manière désordonnée (illustrations 6 et 8).

Sur le flanc sud du vallon, l'orientation des arbres couchés est sensiblement plus homogène, à savoir plus ou moins parallèle (illustrations 7 et 8) : ici, les cimes des arbres pointent principalement dans une direction située entre



Illustration 6 : À proximité du Lycée Blaise-Cendrars, situé dans la bordure sud-ouest de La Chaux-de-Fonds, les troncs d'arbres sont couchés dans une grande variété de directions. (le nord se trouve en haut de l'image ; source : SITN)



Illustration 7 : Dans la Combe des Enfers, au nord-est du Locle, les troncs d'arbres sont en grande partie couchés de manière parallèle à la trajectoire de la cellule orageuse. (le nord se trouve en haut de l'image ; source : SITN)

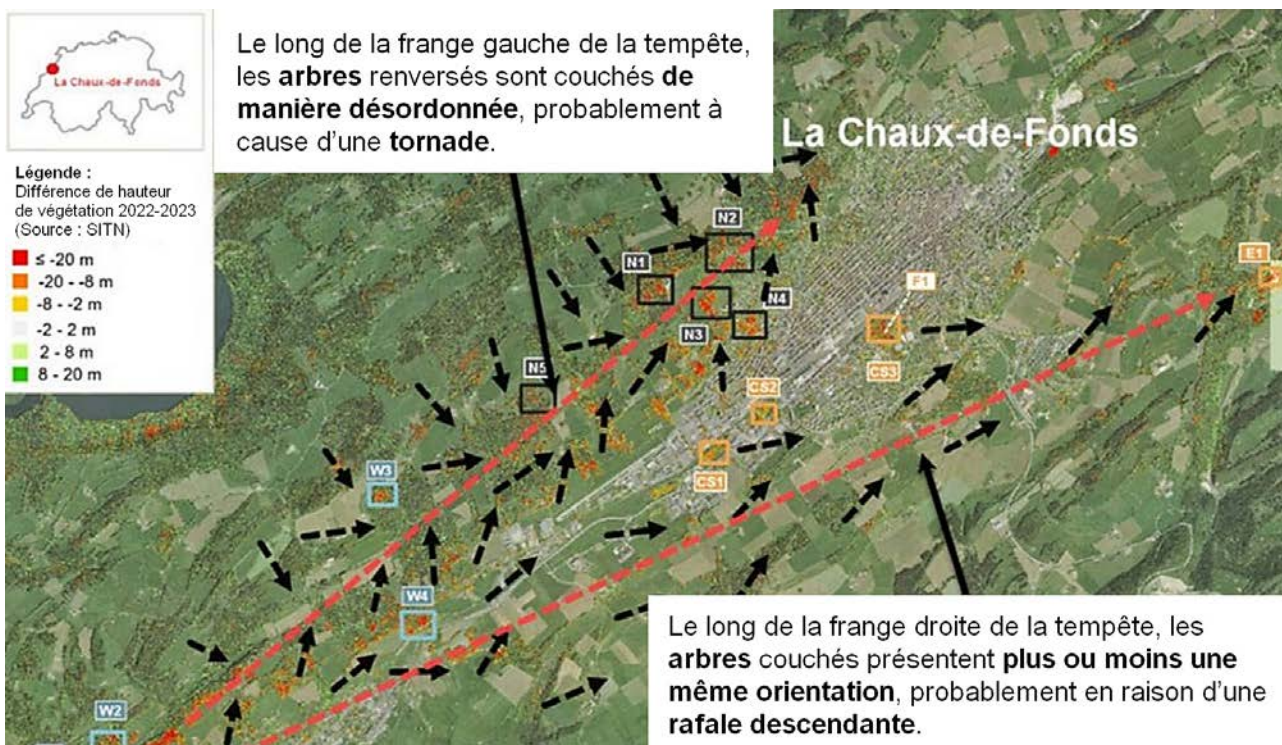


Illustration 8 : Analyse de l'orientation d'effondrement des arbres (vecteurs traitillés noirs) dans la zone centrale de l'événement orageux, ainsi qu'interprétations qui en ont été faites. (le nord se trouve en haut de l'image ; source : Peyraud et al., 2024 ; illustration modifiée)



Illustration 9 : La station de mesure MétéoSuisse de La Chaux-de-Fonds, aux Éplatures, avec son anémomètre à coupelles avec girouette à double lame, de la marque Lambrecht, type 14512, monté sur un mât de 10 mètres. (photo : UIR)

l'est et le nord-est, indiquant pour ainsi dire l'orientation qu'avaient les vents descendants qui ont causé ces dommages. Ces observations invitent à supposer la présence d'une microrafale (microburst) dans la bordure sud de la supercellule. On parle de microrafale lorsqu'une rafale descendante (downburst) se déploie peu dans l'espace, soit sur moins de 4 kilomètres (article du 25 juillet 2023 dans le MétéoSuisse-Blog). Le phénomène examiné ici correspond plus ou moins à cette définition.

La station de mesure automatique que MétéoSuisse exploite à La Chaux-de-Fonds, aux Éplatures, a enregistré une rafale maximale de 217 km/h sur 1 seconde. Bien que cette valeur se situe juste en dehors du champ de validité de l'instrument de mesure (un anémomètre à coupelles avec girouette à double lame, Lambrecht, type 14512 ; illustration 9), le déroulement de l'événement, le contrôle opérationnel de la station de mesure, les données récoltées, les comparaisons avec des mesures effectuées par des stations voisines, ainsi que l'analyse des dommages rendent cette valeur plausible. Au moment des rafales maximales, les anémomètres les plus proches, à savoir deux anémomètres à ultrasons installés sur la tour de contrôle de l'aérodrome régional, n'ont pas été en mesure d'enregistrer les données. Par contre, 4,5 minutes après la rafale maximale observée aux Éplatures, une rafale maximale de 166 km/h pendant 3 secondes a été enregistrée par la station de mesure située sur le Mont-Cornu, à 5,5 kilomètres au nord-est, sur un mât d'émission de Swisscom.

La station de mesure des Éplatures est en service depuis 1980. Jusqu'à l'été 2023, la rafale la plus forte qui y avait été enregistrée était de 135 km/h ; toutefois, elle a été mesurée au passage de la tempête hivernale Lothar, le 26 décembre 1999, et il n'y a donc aucun rapport avec une cellule orageuse. MétéoSuisse considère que, statistiquement, la rafale maximale mesurée le 24 juillet 2023 constitue un événement avec une période de retour de 100 à 300 ans.

Également depuis 1980, seules cinq stations de mesure (à savoir Grand Saint-Bernard, Jungfrauoch, Weissfluhjoch, Säntis et Gütsch / Andermatt) ont relevé des rafales sur 1 seconde qui étaient plus fortes que celles de l'orage de La Chaux-de-Fonds. Cependant, toutes ces stations sont situées sur des sommets ou des cols alpins, à plus de 2000 m d'altitude, et les rafales évoquées ont été mesurées lors de tempêtes hivernales ; cela rend difficile toute comparaison avec la rafale enregistrée aux Éplatures. La plus forte rafale jamais enregistrée en Suisse était de 268 km/h. Cette valeur a été observée au Grand Saint-Bernard le 27 février 1990, au passage de la tempête hivernale Vivian (MétéoSuisse).

Les données historiques révèlent qu'aussi bien des rafales descendantes que des tornades, plus particulièrement, se sont produites à une fréquence notable dans le Jura vaudois et neuchâtelois, frappant le plus souvent la Vallée de Joux et la région de La Chaux-de-Fonds. Selon Piaget (1976), la plus ancienne mention écrite d'une tornade observée dans cette région remonte à l'année 1624 et concerne un événement qui est survenu dans la Vallée de Joux. D'autres événements similaires se sont produits dans cette région en 1890, 1926, 1930, 1934, 1971, 1956 et 2015 (www.sturmarchiv.ch, consulté le 15 décembre 2025). Apparemment, lors de conditions météorologiques propices aux orages, les reliefs du Jura favorisent le cisaillement du vent et donc la formation de tornades. À ce sujet, Peyraud et al. (2024) s'expriment en ces termes :

« Bien qu'il soit difficile de déterminer à quel point la topographie a pu influencer la production des violentes rafales mesurées à La Chaux-de-Fonds, le relief du Jura est connu comme étant un couloir à orages. En plus de la convergence naturelle qui se produit par l'effet du réchauffement diurne en saison chaude le long de la crête, par vent de gradient d'W à SW, une convergence dynamique se produit. Cela favorise ainsi souvent le déclenchement d'orages dans les masses d'air instables et aide également à piloter leur déplacement. De plus, les vents de secteur sud dans les basses couches sont facilités le long de la topographie des crêtes du Jura comparée à celle des Préalpes, ce qui contribue à augmenter le cisaillement directionnel du vent. »

4. Relevé des dommages par vues aériennes

Nous concluons ici l'exposé du contexte météorologique dans lequel s'inscrit l'événement examiné ; pour toute information plus détaillée sur le sujet, nous renvoyons à l'analyse météorologique présentée dans le rapport technique MétéoSuisse N° 287 (Peyraud et al., 2024).

4. Relevé des dommages par vues aériennes

(Les explications qui suivent sont principalement basées sur le rapport de Riedo et al., 2024.)

Par le biais d'une cartographie et d'une documentation post-événementielles détaillées, il est possible de mettre de précieuses informations à disposition de divers groupes d'utilisateurs. Ainsi, immédiatement après la tempête, les autorités du canton de Neuchâtel et l'Établissement d'assurance et de prévention de Neuchâtel ECAP ont conjointement chargé la société Sixense Helimap SA de réaliser des relevés aériens des dommages occasionnés. Les zones urbaines principalement touchées par les dommages s'étendaient sur plus de 30 km², comprenant les deux villes du Locle et de La Chaux-de-Fonds, ainsi que les surfaces de forêts avoisinantes. La récolte de données sur cette vaste superficie a été effectuée au moyen de survols en hélicoptère. Cette solution a permis de collecter des orthophotos avec des résolutions de 2, 5 et 10 cm, des images obliques et des données LiDAR (Light Detection and Ranging) avec une résolution de 100 pts/m².

Un des enjeux majeurs était de pouvoir mettre à disposition rapidement les produits issus des données collectées. Le 27 juillet, soit seulement trois jours après la tempête, un premier survol couvrant les 30 km² de zones urbaines a pu être réalisé, fournissant près de 5000 photos aériennes avec une résolution de 2 cm et un nuage de points LiDAR présentant une densité d'environ 60 pts/m². Ainsi, les services d'intervention (Service Incendie Secours SIS) disposaient déjà des premières images brutes dès le 28 juillet et d'orthophotos le lendemain, ce qui leur a considérablement facilité la planification des travaux de déblaiement des toitures endommagées.

Peu après, des versions affinées grâce à l'intégration des données LiDAR ont été livrées. Deux autres survols ont suivi pour compléter les données déjà récoltées. Au total, près de 15 000 images et 25 milliards de points LiDAR ont été collectés. Ces données ont ensuite été traitées par les spécialistes du système d'information du territoire neuchâtelois (SITN), avant d'être publiées sur le géoportail de ce service.

En parallèle, une application dédiée a été mise en place pour l'ECAP sur la base du SITN, afin de lui permettre de localiser les plus de 3000 bâtiments sinistrés ainsi que d'accéder directement aux données saisies dans les dossiers de dommages correspondants. En outre, les orthophotos ont facilité l'évaluation correcte des dommages par l'ECAP, lui permettant d'estimer la perte de valeur grâce à des comparaisons « avant / après ». Enfin, les orthophotos ont fourni une vue d'ensemble de l'événement, ce qui a d'une part permis de plus aisément chiffrer le coût total de la tempête, et d'autre part facilité la définition de zones de traitement des dommages et leur répartition entre les estimateurs de dommages disponibles.

Le Service de la faune, des forêts et de la nature SFFN a également pu profiter d'informations précieuses grâce aux orthophotos, notamment pour identifier les zones forestières touchées. Il n'aurait pas été possible d'obtenir ces mêmes informations au moyen de relevés au sol. En outre, les géodonnées ont été très utiles pour déterminer les interventions prioritaires, pour évaluer l'accessibilité des zones concernées, pour planifier les emplacements pertinents pour les places de dépôt provisoires, ainsi que pour identifier les sections de sentiers pédestres et chemins forestiers qu'il convenait de fermer pour des raisons de sécurité.

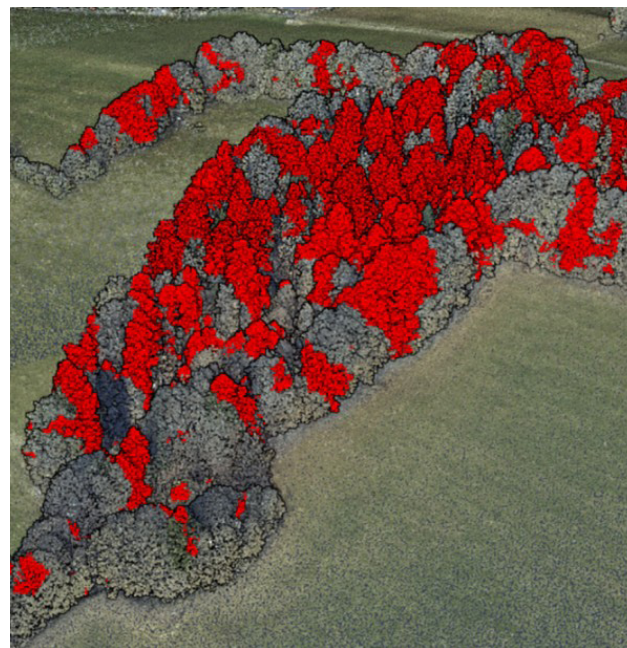


Illustration 10 : Différence de modélisation LiDAR 2022 / 2023 pour un bosquet situé au-dessus des Éplatures. La résolution est remarquablement fine : l'image permet d'identifier même des arbres qui n'ont subi des dommages que sur une petite portion de leur couronne. (source : Géoportail 3D LiDAR)

5. Cadre légal de l'ECAP en matière de tempêtes et de dommages dus au vent

Quant aux données LiDAR, elles ont pu être croisées avec des données LiDAR antérieures, datant de 2022, qui ont toutefois dû être auparavant retravaillées par swisstopo à cet effet. Au moyen de cette superposition, il a été possible de réaliser un calcul tridimensionnel des modifications de canopée dans les zones forestières touchées ainsi que pour les arbres situés dans les zones urbanisées. Dans un deuxième temps, cela a permis d'estimer les volumes de bois mis à terre en fonction des emplacements (illustration 10).

Pour sa part, l'office fédéral MétéoSuisse a pu utiliser les orthophotos pour déterminer les schémas d'orientation des arbres tombés, obtenant ainsi des indices décisifs pour qualifier la tempête d'« événement hybride ». Des informations à ce sujet ont déjà été présentées plus haut (illustration 8).

5. Cadre légal de l'ECAP en matière de tempêtes et de dommages dus au vent

Dans le Règlement d'exécution de la loi sur la préservation et l'assurance des bâtiments (RLAB, version du 15 mars 2017), les conditions pour la reconnaissance, par l'assurance, d'un dommage dû à une tempête sont définies comme suit :

Art. 19

1 Est considéré comme ouragan un mouvement de l'air d'une violence extrême provoqué par les conditions atmosphériques.

2 L'existence d'un ouragan est présumée lorsque, dans le voisinage de l'objet assuré, une majorité des bâtiments construits et entretenus de façon adéquate ont vu notamment leur toit arraché partiellement ou en totalité, ou que des arbres sains ont été considérablement endommagés.

3 En l'absence de faits au sens de l'alinéa 2, l'établissement indemnise les dommages si, en ce qui concerne l'objet assuré, la vitesse du vent a atteint au minimum 63 km/h (moyenne établie sur 10 minutes) ou que les rafales ont atteint des pointes à 100 km/h minimum.

L'Établissement cantonal d'assurance et de prévention de Neuchâtel ECAP se base donc en premier lieu sur l'existence de dommages collectifs à proximité du bâtiment potentiellement endommagé par une tempête, et seulement de manière subsidiaire sur des résultats de mesures météorologiques. Cela s'explique par le fait que le réseau de stations de mesure ne permet de renseigner

que de manière limitée sur les vitesses du vent localisées, qui varient fortement d'un emplacement à l'autre. Par exemple, dans le canton de Neuchâtel, le réseau d'anémomètres de MétéoSuisse et de ses partenaires ne comprend que treize stations. Cela représente une moyenne d'une station par 62 km² du territoire cantonal, ou encore un rayon de 4,4 km autour de chaque station. Ce dispositif ne permet donc pas de relever de manière fiable les conditions de vent localisées, telles qu'elles régnaient par exemple dans chacune des rues de la ville de La Chaux-de-Fonds.

En ce qui concerne la tempête estivale du 24 juillet 2023, aussi bien le critère de la « violence extrême » que celui des dommages collectifs étaient clairement remplis, tout du moins pour la zone centrale de l'événement. De surcroît, les valeurs enregistrées par les stations de mesure situées sur le Mont-Cornu ainsi qu'à l'aérodrome des Éplatures ont également largement dépassé les valeurs-seuil définies.

Conformément aux dispositions de l'ECAP, les preneurs d'assurance sont tenus d'annoncer les dommages immédiatement après leur découverte. Les déclarations de sinistre peuvent être communiquées par téléphone, par courrier électronique ou encore au moyen d'un formulaire en ligne. Après réception d'une déclaration de sinistre, l'Établissement cantonal d'assurance décide s'il convient de procéder à une estimation du dommage sur place ou si le montant du dommage peut être déterminé sur la seule base des informations disponibles. S'agissant de dommages éléments naturels, les propriétaires touchés doivent dans tous les cas assumer une franchise, qui s'élève en principe à 10 % du montant du dommage, mais au moins 300 francs et au plus 1000 francs.

En outre, les propriétaires sinistrés sont tenus de mettre en place, de leur propre initiative et dès la découverte du sinistre, des mesures appropriées en vue d'éviter l'aggravation des dommages, par exemple empêcher les dégâts secondaires que pourraient causer des précipitations. Dans le contexte des dommages causés par une tempête, de telles mesures consistent par exemple à recouvrir les surfaces de toiture qui ne sont plus étanches ou à rendre les fenêtres endommagées à nouveau étanches avec des solutions provisoires.

Une autre obligation des propriétaires est de veiller à ce que les éventuels dangers pour le public (p. ex. des tuiles détachées se trouvant encore sur le toit) fassent l'objet d'une sécurisation, si possible immédiate :

« C'est la première chose à faire s'il y a des éléments instables, comme une cheminée ou des tuiles prêtes à tomber. »

6. Données relatives aux dommages et données de portefeuille utilisées pour réaliser l'analyse d'événement

(Cédric Richard, expert sinistres à l'ECAP, dans le quotidien ArclInfo, le 24 juillet 2023)

6. Données relatives aux dommages et données de portefeuille utilisées pour réaliser l'analyse d'événement

Grâce à leur degré de détail, les données de l'Établissement cantonal d'assurance et de prévention de Neuchâtel ECAP relatives aux dommages permettent de réaliser toute une variété d'analyses. Il en va de même pour les données de portefeuille, qui sont constituées par les informations déterminantes en matière d'assurance pour chacun des bâtiments. Au moyen des numéros d'assurance immobilière, qui identifient chacun des bâtiments, il est possible de croiser les données relatives aux dommages avec les données de portefeuille, ce qui permet d'exploiter des informations supplémentaires pour chacun des sinistres. Dans le cadre de l'analyse de l'événement, les types d'informations suivants se sont avérés utiles et intéressants :

- **Numéro du dommage :**
Numéro attribué de manière individuelle à chacun des sinistres et permettant de l'identifier de manière univoque.
- **Numéro d'assurance immobilière :**
Numéro attribué de manière individuelle à chacun des bâtiments assurés par l'ECAP. Ce numéro permet de croiser les données relatives aux dommages avec les données de portefeuille de l'établissement cantonal d'assurance ; ainsi, il est par exemple possible de déterminer les coordonnées géographiques de chaque dommage et donc de le localiser.
- **Cause du dommage :**
Désignation du processus qui est à l'origine du dommage ; dans le cas de l'événement examiné, il s'agit de « vents tempétueux ». Dans le cadre de la présente étude, les dommages individuels causés par la grêle ou par une inondation n'ont pas été pris en compte.
- **Date du dommage :**
Date à laquelle le dommage est survenu ; cette information permet d'identifier les sinistres qui ont été causés par la tempête du 24 juillet 2023.
- **Code d'affectation :**
Cette information indique de quelle manière le bâtiment considéré est utilisé ; par exemple pour l'habitation, à des fins agricoles, ou pour l'industrie ou l'artisanat (cf. annexe).
- **Année de construction :**
Année au cours de laquelle la construction du bâtiment assuré a été achevée (ou plus précisément, au cours de laquelle l'assurance des travaux en cours a été remplacée par la couverture d'assurance ordinaire). Cette information doit faire l'objet d'une certaine réserve, étant donné qu'un bâtiment d'un certain âge peut avoir été modifié de manière substantielle, à une date plus récente, par des agrandissements ou des transformations, de sorte que l'année de construction n'est plus significative pour l'ensemble du bâtiment. Néanmoins, l'année de construction constitue en règle générale un indice utile quant à la technique de construction et au niveau d'équipement du bâtiment considéré.
- **Mode de construction :**
Cette information indique la classification attribuée au bâtiment en fonction de la part de matériaux de construction combustibles utilisés et donc du risque d'incendie ; cette classification a une incidence sur la prime d'assurance.
- **Valeur d'assurance :**
Montant déterminé par l'établissement cantonal d'assurance et qui correspond à la somme qui serait versée aux propriétaires du bâtiment en cas de dommage total afin de le reconstruire.
- **Montant du dommage (estimé / provisionné / versé, après déduction de la franchise) :**
Cette valeur indique la hauteur de l'indemnisation que l'établissement cantonal d'assurance versera ou a versée aux propriétaires du bâtiment en lien avec le dommage concret considéré.
- **Franchise :**
Pour chaque sinistre, un certain montant, qui dépend du montant du dommage, doit être pris en charge par les propriétaires du bâtiment. Par rapport à l'événement qui nous intéresse, la franchise s'élève en principe à 10 % du montant du dommage, mais au minimum à 300 francs et au maximum à 1000 francs.
- **Description des dommages :**
Il s'agit d'un champ de texte destiné à l'inscription du type de dommages ainsi que des éléments de construction concernés, par exemple : « couverture du toit endommagée ».
- **Adresse du bâtiment :**
Adresse postale de l'emplacement où se trouve le bâtiment.

7. Analyse géographique des dommages causés aux bâtiments, à l'aide d'un SIG

- **Coordonnées géographiques :**
Coordonnées géographiques de l'emplacement où se trouve le bâtiment ; cette information permet d'effectuer des analyses de répartition géographique à l'aide d'un système d'information géographique (SIG).

7. Analyse géographique des dommages causés aux bâtiments, à l'aide d'un SIG

Les données de portefeuille de l'Établissement cantonal d'assurance et de prévention de Neuchâtel ECAP comprennent notamment les coordonnées nationales de chaque objet recensé, ce qui permet de localiser très précisément chaque bâtiment. Grâce à cela, il est possible d'effectuer des analyses à l'aide d'un système d'information géographique, et par exemple de faire ressortir des liens et coïncidences géographiques dans le secteur touché par la tempête.

Pour la visualisation SIG des résultats des analyses géographiques portant sur les dommages causés aux bâtiments, la résolution a été fixée à un maillage de 250 × 250 m (soit 6,25 ha). Cette taille du maillage découle du compromis trouvé dans le cadre de négociations avec l'ECAP : d'une part, il s'agissait d'éviter que des bâtiments individuels puissent être identifiés (protection des données à caractère personnel), mais d'autre part, la résolution devait rester suffisante pour permettre de reconnaître les structures spatiales de l'événement dommageable.

Nombre de sinistres par unité de surface

L'illustration 11 permet de reconnaître dans quelles zones le nombre de bâtiments endommagés par unité de surface est le plus élevé. L'analyse du nombre de sinistres par unité de surface fait ressortir une nette concentration dans la zone centrale de La Chaux-de-Fonds, avec deux maxima localisés.

L'un de ces maxima est situé au nord de la gare, tandis que l'autre se trouve dans le nord-est de la ville. Ces deux points focaux font partie d'une zone allongée qui couvre tout le centre-ville et dans laquelle le nombre de sinistres par unité de surface est élevé.

La forte concentration de sinistres dans cette zone peut en partie s'expliquer par le fait que la tempête estivale hybride y a atteint son intensité maximale, mais elle est avant tout une conséquence de la densité de bâtiments particulièrement élevée dans cette zone : en effet, les sinistres sont

généralement annoncés séparément pour chaque bâtiment individuel. En conséquence, plus la densité de bâtiments est élevée, plus la densité des sinistres annoncés l'est aussi. Les carrés colorés en rouge foncé indiquent les mailles pour lesquelles plus de 70 sinistres ont été annoncés (cela représente ≥ 11 sinistres/ha). En outre, lorsque la densité de bâtiments est élevée, le phénomène des impacts de débris emportés est particulièrement fort (voir encadré ; Owen, 2015). Il est remarquable que la plus vieille partie de la ville, soit le quartier Ville Ancienne, ne se trouve pas dans une maille rouge foncé, alors qu'elle est composée de bâtiments anciens qui sont très serrés les uns aux autres. Des considérations pouvant expliquer pourquoi les bâtiments historiques sont manifestement moins touchés que les bâtiments modernes seront présentées au chapitre 8.

Un autre maximum localisé peut être observé dans la zone industrielle et artisanale du Crêt-du-Loche, où plus de 30 sinistres ont été annoncés par unité de surface (soit ≥ 5 sinistres/ha). En raison d'une configuration urbanistique plus aérée ainsi que de la plus grande superficie moyenne des bâtiments (bâtiments industriels et artisanaux), les valeurs restent ici bien en dessous de celles observées en ville de La Chaux-de-Fonds, alors que l'intensité de la tempête y était pour le moins comparable.

« Effet domino » ? – Non : « impacts de débris emportés » !

Dans le cadre de leurs relevés des dommages, les spécialistes de l'Établissement cantonal d'assurance et de prévention de Neuchâtel ECAP ont observé une proportion exceptionnellement élevée de dommages secondaires qui ont été causés aux bâtiments par des débris arrachés sur des bâtiments voisins. Ils estiment que ce phénomène a sensiblement accru les montants des dommages en comparaison avec les dommages directs causés par la tempête.

Weidmann (2010) qualifie ce phénomène d'« effet domino » ; selon sa définition, il se présente « *[lorsque d]es objets sont projetés sur des bâtiments voisins intacts et leur infligent à leur tour des dommages. [...] Les débris du premier bâtiment touché par la tempête (A) viennent endommager les bâtiments B et C [...], qui peuvent à leur tour générer des dégâts. Plus les bâtiments voisins sont nombreux et rapprochés, plus l'effet domino se propage loin. Un sinistre [...] peut s'étendre exponentiellement [sic !] pour générer une lourde facture globale.* »

Pour notre part, nous refusons la notion d'« effet domino », car elle fait spontanément surgir l'image d'un processus linéaire et répétitif qui se déroule de manière continue dans une direction définie : un domino qui renverse celui

qui est placé après lui, ce dernier renversant le prochain dans la file, et ainsi de suite. Dans cette image, l'action d'un domino ne s'exerce que sur un seul autre domino. En revanche, Weidmann décrit un phénomène en cascade qui prend de l'ampleur : un nombre croissant de débris qui génère un nombre toujours croissant de nouveaux débris. Cependant, compte tenu des lois de la physique, il est permis de douter que les premiers débris soient en mesure de transférer leur énergie à plusieurs débris subséquents, de manière à ce que le processus s'amplifie au point d'expliquer les nombreux dommages secondaires observés. À notre sens, il s'agit plutôt d'une « tempête de débris », à savoir un flux d'air chargé de débris, lesquels ne sont rien d'autre que les éléments de construction qui sont le plus facilement susceptibles d'être arrachés par les rafales (illustration 23).

Le fait que l'on observe moins d'impacts de débris sur les bâtiments se trouvant dans la bordure de la zone urbanisée qui est immédiatement exposée au vent que sur les bâtiments situés plus loin dans le sens de l'écoulement du flux d'air apparaît comme une évidence. Toutefois, cette observation ne s'explique pas par une cascade de débris qui développerait une dynamique propre, mais bien plus par le fait que plus la tempête progresse à travers l'environnement bâti, plus elle arrache et emporte des éléments de construction supplémentaires, à l'instar d'un vent initialement sec qui se charge de plus en plus de vapeur d'eau au fur et à mesure qu'il traverse une vaste étendue d'eau (p. ex. mer ou océan). Les variations au niveau de la direction du vent expliquent, quant à elles, la propagation des débris dans un cône de 30° environ, telle que décrite par Weidmann.

Dès lors, nous privilégions, dans le cadre de la présente publication, le terme d' « **impacts de débris emportés** » par analogie aux notions « impact d'oiseaux » (p. ex. dans l'aviation) ou « impact de pierres » (p. ex. sur le pare-brise d'un véhicule).

Pourcentage de bâtiments endommagés par unité de surface

Le pourcentage de bâtiments endommagés par maille (illustration 12) indique la proportion, à l'intérieur de chaque maille de 250 × 250 m ou de 6,25 ha, des bâtiments qui ont subi un dommage, par rapport à la totalité des bâtiments situés dans la maille. Dans le cadre de cette analyse, les montants des dommages ne sont pas pris en compte : tous les sinistres sont comptabilisés avec une même pondération, indépendamment du fait que le sinistre ne porte que sur quelques tuiles cassées ou qu'il s'agisse d'une destruction quasi totale du bâtiment. Cette analyse révèle clairement les endroits où l'intensité de

l'événement était la plus élevée. Ainsi, les carrés rouge foncé sont concentrés au Crêt-du-Locele, où les vitesses du vent générées par la tempête ont probablement encore été augmentées par l'effet Venturi. On peut observer que les valeurs calculées pour le centre de La Chaux-de-Fonds sont, quant à elles, légèrement plus basses. De manière éparse, certaines mailles et certains groupes de mailles présentent également une coloration rouge foncé ; il s'agit d'emplacements topographiquement exposés, tels que les versants latéraux du vallon et les faces de reliefs exposées au vent. Ce phénomène apparaît de manière particulièrement claire au Locle : dans le centre de la ville, les valeurs sont relativement basses, tandis qu'aux Monts, sur le flanc du vallon, on trouve des valeurs élevées.

Toutefois, l'interprétation des mailles isolées qui sont colorées en rouge foncé s'avère quelque peu délicate. En effet, si une maille ne contient qu'un seul bâtiment et que celui-ci a subi un dommage, le carré correspondant sera affiché en rouge foncé puisque, dans un tel cas, 100 % des bâtiments situés dans la maille ont été touchés. En d'autres termes, il convient de faire preuve de prudence pour l'interprétation des carrés rouges situés dans les zones d'habitat dispersé.

Montant total des dommages par unité de surface

L'analyse du montant total des dommages par unité de surface, en francs suisses, permet de visualiser les dommages subis en les exprimant en termes financiers (illustration 13) : les couleurs indiquent la hauteur des pertes de valeur totales subies à l'intérieur de chaque maille. Les zones les plus touchées étaient Le Crêt-du-Locele, avec ses bâtiments industriels et artisanaux de grande taille, ainsi que le centre-ville de La Chaux-de-Fonds, où la densité de valeurs assurées est la plus élevée.

Cette observation ne reflète donc pas seulement l'intensité de la tempête, mais également les zones de forte concentration de valeurs. Atteignant par endroits plusieurs centaines de milliers de francs par hectare, les montants totaux affichés sont comparables à ceux que l'on peut observer dans les zones centrales des trajectoires d'averses de grêle intenses. Par ailleurs, les effets de la tempête ont également été comparables à ceux de la grêle en termes de pouvoir de destruction, les dommages ayant aussi été causés en l'espace de quelques minutes seulement (p. ex. Imhof et al., 2015).

Montant de dommage moyen par unité de surface

L'illustration 14 montre la distribution des montants de dommage moyens ; la valeur calculée pour chacune des

mailles est le montant moyen des sinistres annoncés dans la maille considérée. Les valeurs affichées dépendent en premier lieu de l'intensité de la tempête, c'est-à-dire de son pouvoir de destruction : plus l'intensité est élevée, plus le dommage moyen par bâtiment est important. Dans le cadre de cette analyse, les valeurs élevées n'apparaissent pas dans les zones qui présentent le plus grand potentiel de dommages, mais dans les zones dans lesquelles la tempête a déployé le plus de force.

C'est notamment le cas au Crêt-du-Loclé, mais également sur les versants latéraux du vallon et sur les faces de reliefs exposées au vent.

Cependant, les valeurs affichées pour les mailles dépendent également de la vulnérabilité des bâtiments concernés et, dans une moindre mesure, de la valeur totale des bâtiments ; en effet, les bâtiments qui ont moins de valeur ne peuvent pas atteindre les mêmes montants de dom-

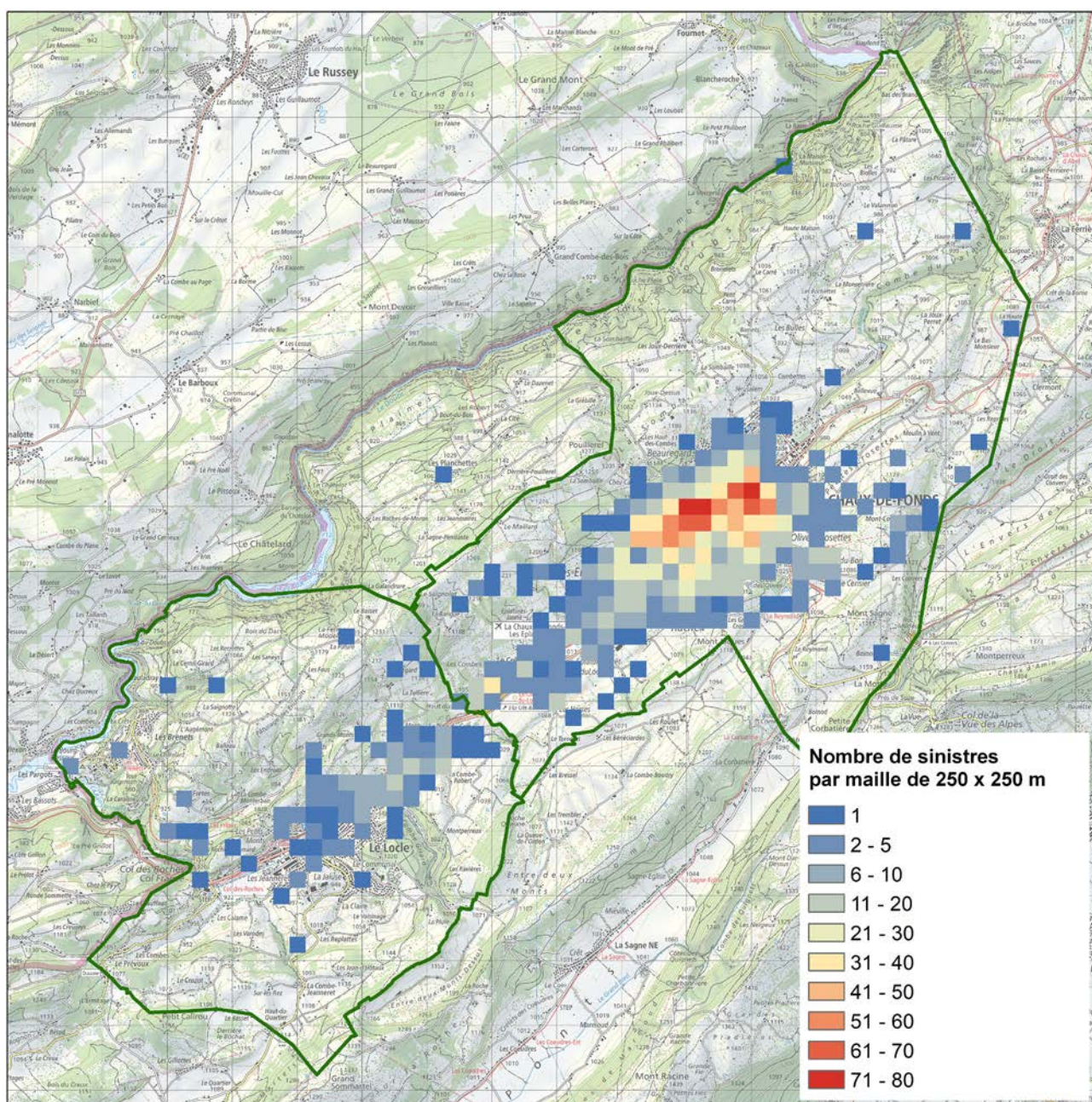


Illustration 11 : Nombre de bâtiments endommagés par maille de 250 x 250 m (6,25 ha). Une nette concentration apparaît dans la zone centrale de La Chaux-de-Fonds (teintes orange et rouge). Un autre maximum localisé peut être observé au Crêt-du-Loclé (en jaune). Il existe une forte corrélation entre la densité de sinistres (nombre de bâtiments endommagés) et la densité de bâtiments. (sources des données : ECAP et swisstopo)

mage que des bâtiments présentant une valeur d'assurance plus élevée (cf. illustration 19). Ainsi, au Crêt-du-Loche, il y a manifestement eu une coïncidence entre le pic d'intensité de la tempête et la présence de bâtiments de grande valeur mais de résistance limitée, à savoir les grands bâtiments industriels, avec leurs enveloppes en construction légère, qui présentent une vulnérabilité élevée (illustration 15).

Degré d'endommagement moyen par unité de surface

L'illustration 16 propose également une visualisation de la distribution géographique des effets destructeurs de la tempête estivale. À la différence de l'illustration 14, les valeurs ne sont pas exprimées en chiffres absolus (francs), mais sous forme de rapports, établis individuellement pour chaque bâtiment, entre le montant du dommage et la

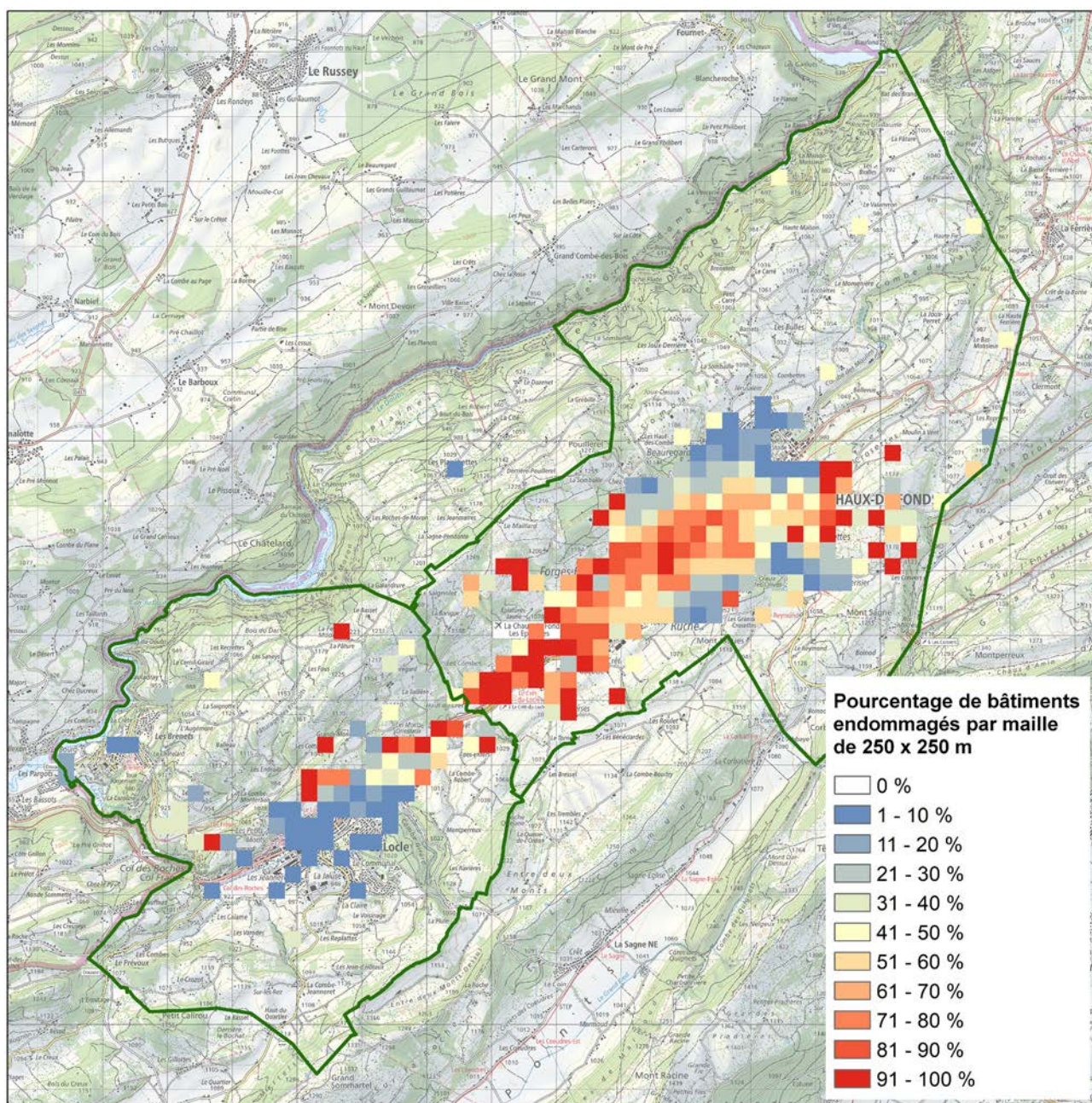


Illustration 12 : Pourcentage de bâtiments endommagés par maille de 250 x 250 m (6,25 ha). En comparaison avec l'illustration 11, l'influence de la densité de bâtiments est ici neutralisée : les valeurs peuvent également être élevées dans des emplacements présentant un faible nombre de bâtiments. Cette analyse fournit une représentation assez précise de la manière dont l'intensité de l'événement dommageable a évolué. (sources des données : ECAP et swisstopo)

valeur d'assurance. Cette analyse rend le degré de vulnérabilité des bâtiments encore plus manifeste : même au plus fort de la tempête, la perte de valeur que subit un bâtiment robuste par rapport à sa valeur d'assurance sera proportionnellement moins importante que la perte de valeur subie par un bâtiment vulnérable. Malgré la différence apparente, qui est due aux différences entre les échelles de coloration, la distribution affichée par l'illustration 16 présente, à y regarder de plus près, des

motifs similaires à ceux de l'illustration 12 : la zone focale la plus étendue, affichant des degrés d'endommagement moyens supérieurs à 20 %, se situe au Crêt-du-Loclé, tandis que d'autres maxima apparaissent le long des versants latéraux du vallon et sur les faces de reliefs exposées au vent (Les Monts, au-dessus du Loclé ; Le Pied-du-Crêt, au bas de la côte qui mène au Crêt-du-Loclé ; Pouillerel-Positiers-Chevreuils, dans les hauts de La Chaux-de-Fonds, au nord-ouest).

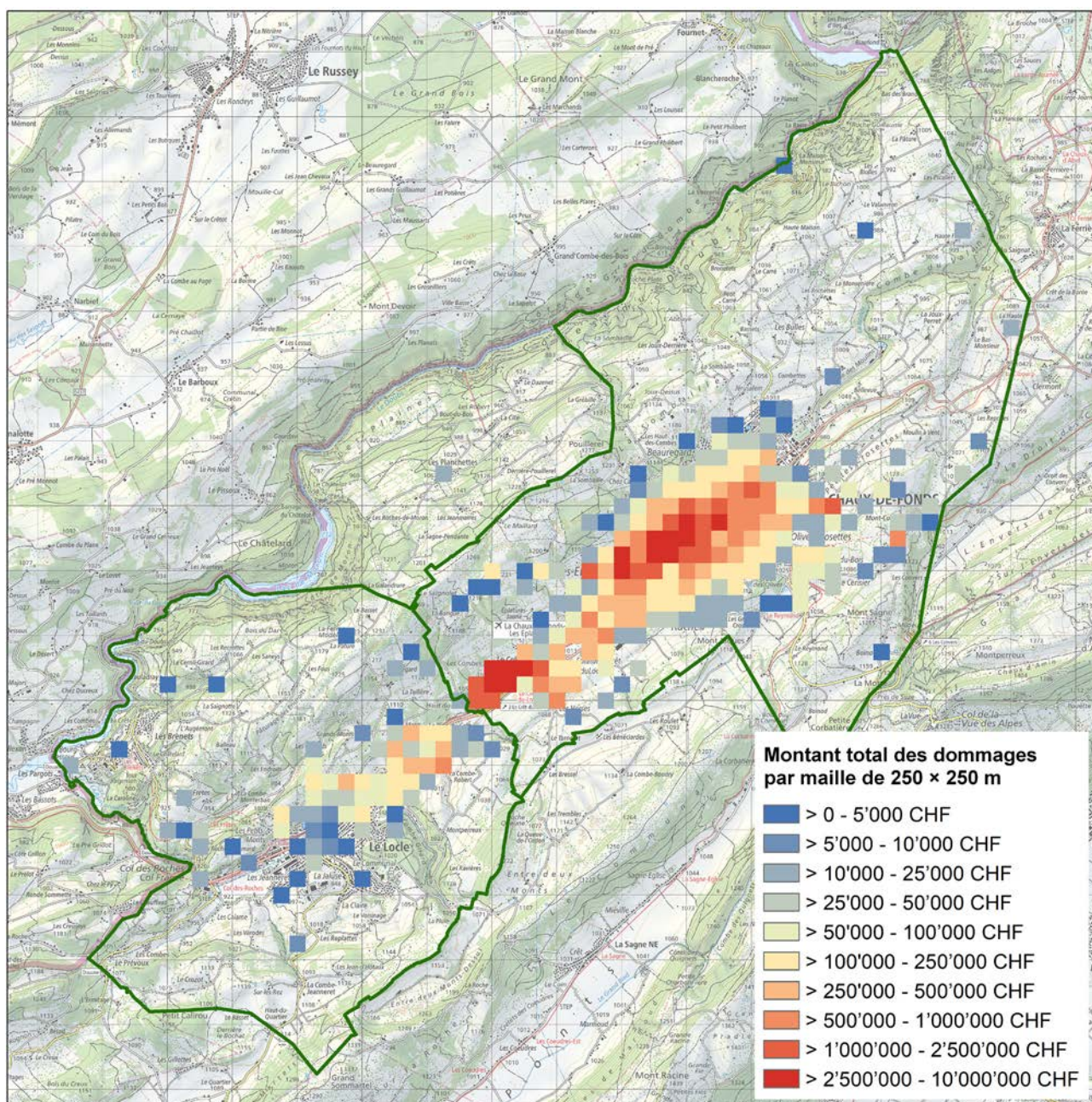


Illustration 13 : Montant total des dommages par maille de 250 × 250 m (6,25 ha). On reconnaît clairement deux points focaux, l'un au Crêt-du-Loclé et l'autre dans le centre-ville de La Chaux-de-Fonds. La distribution des valeurs est fortement influencée par la densité des valeurs d'assurance cumulées. (sources des données : ECAP et swisstopo)

8. Analyse statistique des dommages causés aux bâtiments

En revanche, les valeurs calculées pour le centre de La Chaux-de-Fonds sont nettement plus basses. On remarque aisément que les valeurs les plus élevées ne concernent pas les zones qui présentent la plus grande densité de construction, mais principalement des zones moins denses. On peut supposer qu'il s'agit de zones qui comprennent une part importante de bâtiments en construction légère, qui sont donc relativement vulnérables.

8. Analyse statistique des dommages causés aux bâtiments

En Suisse, l'objectif de protection suivant a été défini dans le contexte des dommages aux bâtiments causés par les tempêtes :

« La norme SIA 261 définit un événement d'une périodicité de 50 ans comme objectif de protection contre le vent pour

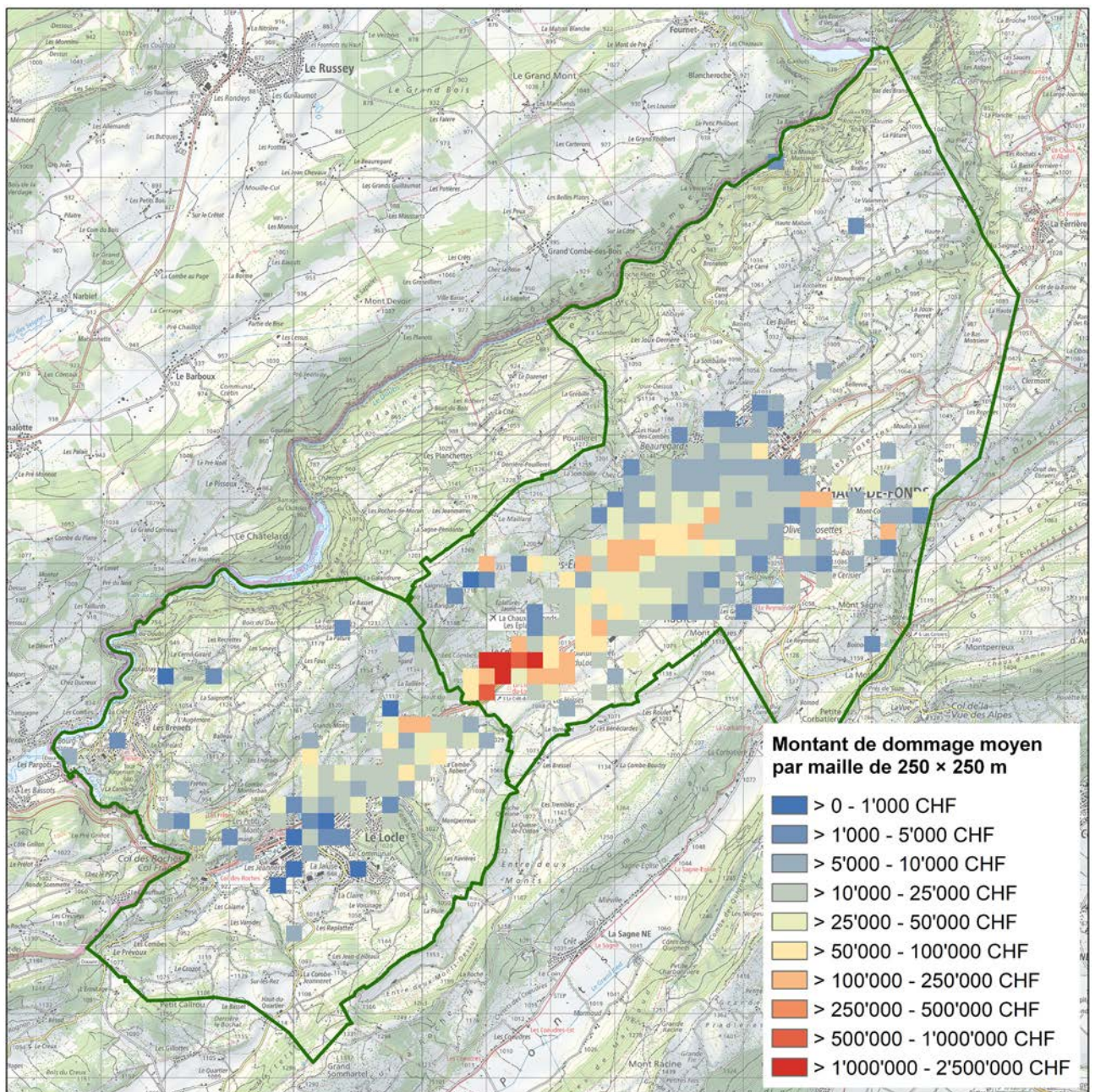


Illustration 14 : Montant de dommage moyen par maille de 250 x 250 m (6,25 ha). La moyenne des montants de dommage par bâtiment est de loin la plus élevée au Crêt-du-Loche, où cette valeur dépasse 1 million de francs dans certaines mailles (colorées en rouge foncé). Cette analyse fournit une représentation assez précise de la manière dont l'intensité de l'événement dommageable a évolué. Comme dans l'illustration 13, le point focal des dommages se situe au Crêt-du-Loche. (sources des données : ECAP et swisstopo)

les bâtiments résidentiels et commerciaux standard. Les bâtiments, les parois extérieures et le toit doivent résister aux charges importantes qui en découlent, et aucun élément de construction ne doit être arraché, p. ex. les éléments de façade ou éléments en saillie, tels que les antennes ou les installations solaires. Lorsque l'ensemble des coefficients de sécurité est pris en compte, l'objectif de protection s'avère sensiblement plus élevé (vent d'une périodicité d'env. 150 ans). »

(www.protection-dangers-naturels.ch, consulté le 28 novembre 2025)

Conformément à la carte « Valeur de référence de la pression dynamique », qui fait partie de la norme SIA 261 (2014), Le Locle, la partie nord-ouest de La Chaux-de-Fonds ainsi qu'une grande partie du fond du vallon situé entre les deux villes se trouvent dans une zone dans laquelle, en terrain découvert et à une hauteur de 10 m, il faut statistiquement s'attendre à une pression dynamique de 1,1 kN/m² (soit des rafales de 168 km/h), une fois tous les 50 ans. Weidmann (2010) indique que pour La Chaux-de-Fonds, il faut s'attendre à des pointes de rafales de 141 km/h une fois tous les 50 ans, et à des pointes de 150 km/h une fois tous les 100 ans. Dans le cadre des vérifications de la sécurité des structures porteuses, les

ingénieurs intègrent une marge de sécurité permettant de tenir compte des forces susceptibles d'être générées par le vent une fois tous les 100 ans (Weidmann, 2010). La rafale de 217 km/h mesurée aux Éplatures était toutefois bien au-delà de ces valeurs de référence, ce qui signifie que même les bâtiments construits en conformité avec les normes SIA étaient susceptibles de subir des dommages. En ce sens, il serait réducteur d'affirmer de manière générale que les bâtiments touchés n'étaient pas construits de manière robuste. Malgré cette réserve, il est intéressant d'examiner plus précisément les dommages qui se sont produits.

Influence du mode de construction sur la vulnérabilité des bâtiments

Il serait extrêmement intéressant d'examiner la vulnérabilité des bâtiments de manière très détaillée dans le secteur géographique concerné par le présent rapport, mais une saisie objet par objet serait très compliquée et coûteuse, et elle dépasserait le cadre de notre étude. Malheureusement, les données de l'Établissement cantonal d'assurance et de prévention de Neuchâtel ECAP ne contiennent pas d'indicateurs véritablement parlants quant à la vulnérabilité des bâtiments.



Illustration 15 : Point focal des dommages, au Crêt-du-Locle. Les grands bâtiments industriels en construction légère n'ont pas été en mesure de résister à la tempête, et ils ont subi d'importants et coûteux dommages au niveau de leurs enveloppes, voire même au niveau des structures porteuses. (source : ECAP)

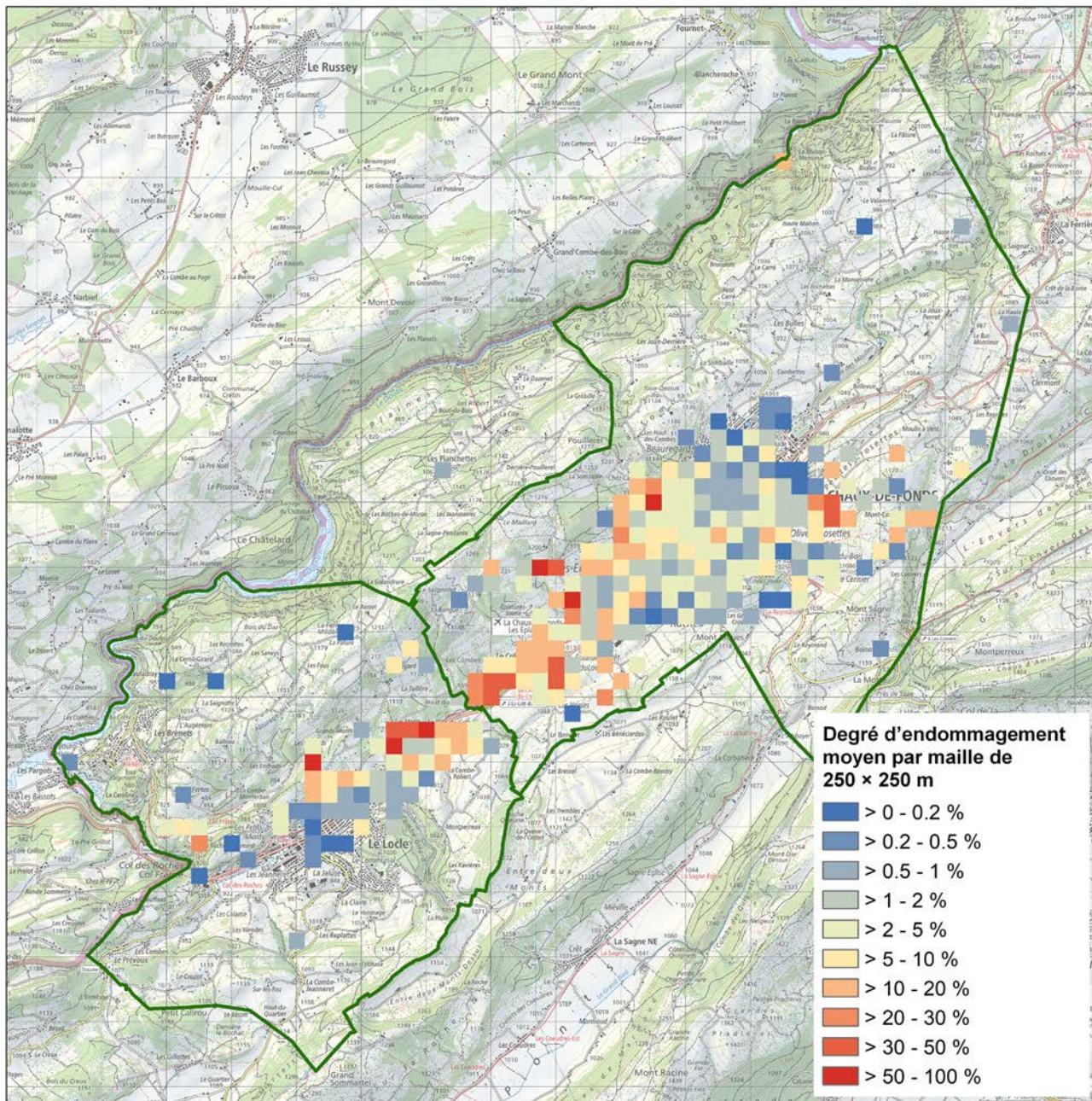


Illustration 16 : Degré d'endommagement moyen par maille de 250 × 250 m (6,25 ha). Le degré d'endommagement d'un bâtiment correspond au quotient obtenu par la division du montant du dommage par la valeur d'assurance. Il s'exprime en %, et il représente donc la part de la valeur du bâtiment qui a été « anéantie » par l'événement dommageable. Il n'y a pas de point focal évident, mais les valeurs les plus élevées sont à nouveau localisées au Crêt-du-Loche, les autres valeurs élevées ayant tendance à être situées le long des flancs du vallon. (sources des données : ECAP et swisstopo)

À première vue, l'attribut « Mode de construction » semble intéressant, mais il ne distingue que les trois catégories « massif », « intermédiaire » et « non massif », ce qui ne fournit que peu d'informations exploitables. En outre, la notion de « mode de construction » se rapporte exclusivement à la proportion d'éléments de construction combustibles dans la structure du bâtiment, et elle ne donne aucun

renseignement au sujet des propriétés architecturales du bâtiment. En d'autres termes : pour un bâtiment dont le mode de construction est qualifié de « non massif », il est impossible de savoir, sur la base de cette catégorisation, s'il est vulnérable par rapport aux tempêtes ou s'il est construit de manière résistante.

Définitions données par l'ECAP pour les différentes catégories de l'attribut « mode de construction » :

- **Massif** : part incombustible entre 100 % et 80 % compris
- **Intermédiaire** : part incombustible entre 80 % non compris et 50 %
- **Non-massif** : part combustible supérieure à 50 %

(Règlement tarifaire de l'ECAP, état au 21 mars 2023)

L'analyse des bâtiments endommagés effectuée sous l'angle du mode de construction a donné le résultat suivant :

- La valeur médiane des degrés d'endommagement des bâtiments en **mode de construction massif** est de 0,77 %.
- La valeur médiane des degrés d'endommagement des bâtiments en **mode de construction intermédiaire** est de 0,63 %.
- La valeur médiane des degrés d'endommagement des bâtiments en **mode de construction non-massif** est de 1,14 %.

(Nous avons opté pour la valeur médiane, plus robuste, plutôt que pour la moyenne arithmétique, étant donné que les degrés d'endommagement présentent une très grande variabilité.)

Il semblerait donc que les dommages par rapport à la valeur d'assurance du bâtiment soient le plus important pour les bâtiments non-massifs, suivis des bâtiments massifs. La valeur médiane la plus basse se rapporte aux bâtiments présentant un mode de construction intermédiaire, ce qui signifie que les bâtiments appartenant à cette catégorie ont été le moins fortement touchés.

L'interprétation de ces résultats pose toutefois problème. Au vu de ce que suggère la désignation de la catégorie, il peut sembler tout à fait logique que les bâtiments non-massifs présentent les degrés d'endommagement les plus élevés. En revanche, le fait que les degrés d'endommagement soient plus élevés pour les bâtiments massifs que pour les bâtiments présentant un mode de construction intermédiaire défie le bon sens.

En fait, la grande majorité des dommages causés par une tempête concernent l'enveloppe du bâtiment. En conséquence, la vulnérabilité d'un bâtiment par rapport au vent dépend en premier lieu de la qualité de l'enveloppe, et

non des matériaux de construction utilisés à l'intérieur du bâtiment. En conclusion, l'attribut « mode de construction » ne constitue pas une valeur de mesure exploitable en matière de vulnérabilité des bâtiments. Plutôt que la proportion de matériaux combustibles dans le bâtiment, les facteurs déterminants sont la conception de l'enveloppe ainsi que son état d'entretien.

Dommages en fonction de l'utilisation du bâtiment

Une autre manière d'examiner les dommages consiste à effectuer une analyse sous l'angle de l'utilisation des bâtiments touchés : quels sont les types de bâtiments qui ont été endommagés plus fortement que la moyenne, et quels sont ceux qui ont été largement épargnés ?

L'illustration 17 montre, pour le secteur géographique étudié, la part de chaque type d'affectation dans l'ensemble du parc immobilier, ainsi que sa part dans l'ensemble des bâtiments touchés par la tempête. Les catégories sont définies par les types d'affectation (habitation, agriculture, industrie et artisanat, etc. ; cf. description dans l'annexe).

Cette analyse révèle des différences considérables :

- Les **bâtiments d'habitation**, qui constituent de loin la part la plus importante dans le parc immobilier, sont également ceux qui arrivent en tête parmi les bâtiments sinistrés, en y étant surreprésentés d'un facteur de 1,2. Manifestement, les bâtiments d'habitation sont plus vulnérables aux tempêtes que la moyenne des bâtiments. Ce même constat a déjà été fait en lien avec la vulnérabilité à la grêle (Imhof & Choffet, 2012 ; Imhof et al., 2015). Il semble donc que les bâtiments d'habitation sont plus susceptibles que d'autres types de bâtiments de subir des dommages causés par les dangers météorologiques. Ce qu'il n'est pas possible de savoir ici, c'est dans quelle mesure le résultat statistique est également influencé par des attentes plus élevées de la clientèle : un dommage sur la maison que l'on habite soi-même est par exemple plus douloureux qu'un dommage sur une étable.
- Pour les bâtiments relevant de l'affectation **Hébergement et restauration**, la surreprésentation est pratiquement identique. Étant donné que leur mode de construction est souvent comparable à celui des bâtiments d'habitation, ce résultat n'a rien de surprenant. Toutefois, dans cette catégorie, seuls quatorze bâtiments ont été touchés, ce qui est trop peu pour permettre une interprétation sérieuse. Les bâtiments concernés se trouvent principalement dans le centre-ville de La Chaux-de-Fonds ainsi qu'aux Éplatures-Crêt du Locle.

- Pour les **bâtiments administratifs**, la surreprésentation affiche même un facteur de 1,8. D'ordinaire, les bâtiments administratifs modernes sont dotés de vitrages et de stores couvrant de grandes surfaces ; en outre, ils présentent souvent des revêtements de façade vulnérables. De ce point de vue, le résultat apparaît comme plausible. Sur les photos de dommages fournies par l'ECAP, l'apparence de nombreux bâtiments administratifs corrobore cette interprétation. À cela s'ajoute que le centre-ville de La Chaux-de-Fonds présente une forte concentration de bâtiments administratifs, qui étaient donc particulièrement exposés aux impacts de débris emportés.
- Les **bâtiments commerciaux** sont légèrement sous-représentés (facteur de 0,9). Dans de nombreux cas, il s'agit de bâtiments utilitaires relativement simples, avec une architecture plus fonctionnelle que sophistiquée (boutiques et magasins, centres commerciaux, supermarchés, kiosques, stations-service, halles de foire). Cela semble donc les rendre plus résistants aux rafales. Toutefois, les petits magasins (boutiques) sont souvent situés dans des bâtiments qui abritent

principalement des logements ou des locaux administratifs. Lorsque c'est le cas, ils n'apparaissent pas dans la catégorie des bâtiments commerciaux dans les statistiques. Les bâtiments commerciaux qui ont subi des dommages lors de la tempête du 24 juillet 2023 sont concentrés le long de la route principale du vallon, entre le bord nord-est du Locle (La Jambe-Ducommun) et le quartier Charrière de La Chaux-de-Fonds.

- Les bâtiments appartenant à la catégorie **Communication et transport** sont représentés de manière identique dans l'ensemble du parc immobilier et dans l'ensemble des bâtiments sinistrés ; en ce sens, ils ne présentent pas de particularité dans le cadre de cette analyse. Ils sont principalement situés le long des axes de circulation principaux (route principale, ligne ferroviaire).
- Les bâtiments relevant de l'affectation **Garages** sont extrêmement sous-représentés : leur part dans l'ensemble des bâtiments endommagés ne constitue qu'un bon tiers de leur part dans l'ensemble du parc

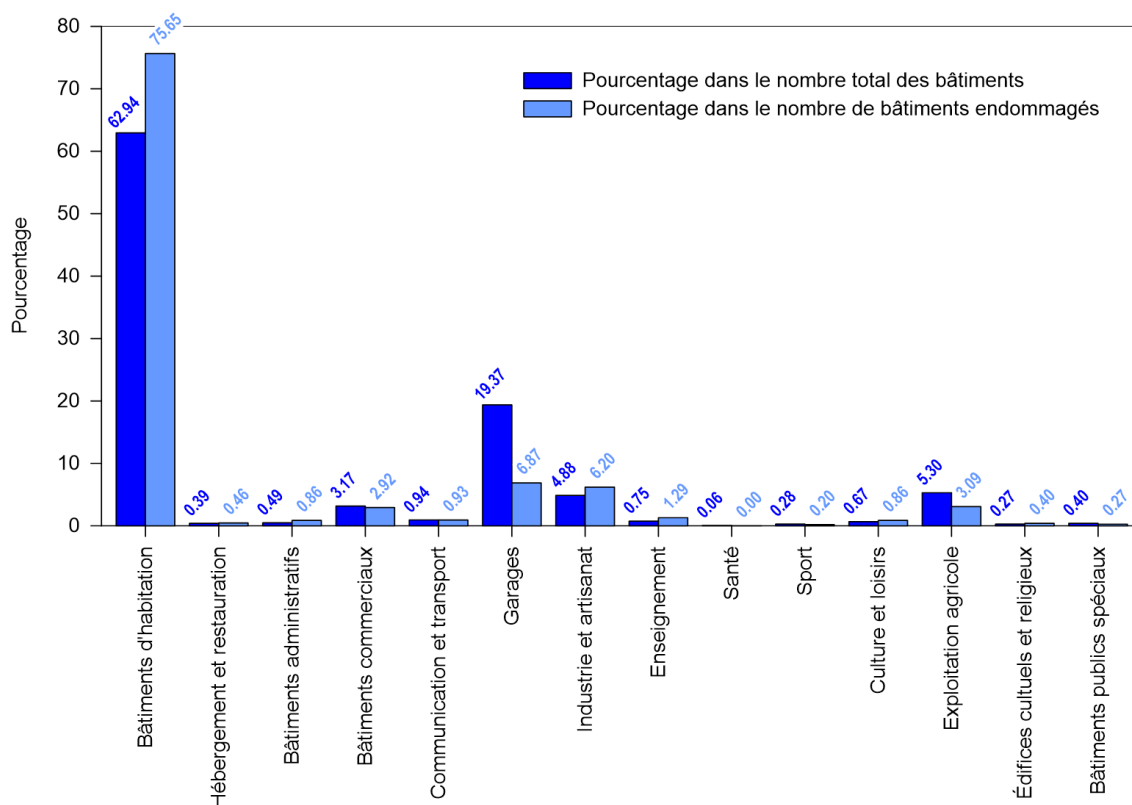


Illustration 17 : Comparaison, pour l'ensemble du territoire des deux communes concernées, de la part de chaque type d'affectation dans l'ensemble du parc immobilier (colonnes foncées) avec sa part dans l'ensemble des bâtiments endommagés (colonnes claires) : si la colonne claire est plus haute que la foncée, cela signifie que le type d'affectation concerné était surreprésenté dans les déclarations de sinistre par rapport à sa part dans le parc immobilier. (source des données : ECAP)

immobilier. L'explication est évidente : une très grande partie de ces objets sont des bâtiments souterrains (parkings et garages souterrains), notamment dans les zones urbaines présentant une densité de construction élevée. De ce fait, ils étaient largement protégés contre les rafales et les impacts de débris emportés. Quant aux bâtiments construits hors terre à des fins de stationnement de véhicules, il s'agit en règle générale de bâtiments utilitaires simples, sans revêtements de façades, sans surfaces vitrées, ni superstructures de toit, c'est-à-dire sans éléments architecturaux particulièrement vulnérables. Les bâtiments concernés sont en majeure partie dispersés dans toute la ville de La Chaux-de-Fonds, tandis qu'un certain nombre se trouvent au Crêt-de-Loche et quelques-uns dans le nord-est du Locle. En revanche, la cellule orageuse n'a causé que très peu de dommages aux garages individuels et auvents pour voiture, qui existent en grand nombre en dehors des deux villes.

- Au sein de l'ECAP, les **entrepôts** ne font pas l'objet d'une saisie séparée, mais ils sont intégrés dans les autres catégories d'affectation (bâtiments commerciaux, bâtiments industriels ou artisanaux, bâtiments agricoles, etc.). De ce fait, cette catégorie n'apparaît pas dans le graphique présenté à l'illustration 17.
- Pour les bâtiments relevant de l'affectation **Industrie et artisanat**, le facteur de surreprésentation est de 1,3. À première vue, il peut paraître surprenant que cette valeur ne soit pas plus élevée, tant les grandes halles du Crêt-du-Loche avaient frappé les esprits dans les médias, avec leurs éléments de façade arrachés, installations photovoltaïques démolies, matériaux d'isolation mis à nu et surfaces vitrées enfoncées. Toutefois, en grande partie, les bâtiments appartenant à cette catégorie sont en fait des constructions utilitaires et fonctionnelles, avec des enveloppes dépourvues d'éléments de construction saillants ou particulièrement vulnérables. De plus, bon nombre de ces objets ont probablement bénéficié de leur emplacement à l'extérieur de la ville, dans une zone industrielle ou artisanale présentant une densité de construction plutôt faible, et où ils étaient de ce fait moins exposés aux impacts de débris emportés.
- Les bâtiments consacrés à l'**enseignement** affichent un facteur de surreprésentation de 1,7. Leur mode de construction étant largement comparable à celui des bâtiments administratifs, il n'est pas surprenant que les deux facteurs de surreprésentation soient similaires. Les bâtiments endommagés se situent principalement dans la zone urbaine de La Chaux-de-Fonds, tandis que quelques-uns se trouvent au Locle.
- Manifestement, dans le secteur géographique étudié, aucun des six bâtiments relevant des services de la **santé** n'a subi de dommages. Compte tenu de leur part extrêmement faible dans le parc immobilier total, nous renonçons à formuler une quelconque interprétation pour ce constat.
- Affichant un facteur de 0,7, les bâtiments dédiés au **sport** ont été moins touchés que la moyenne des bâtiments. Les six bâtiments sportifs endommagés sont deux salles de sport, une patinoire, une halle de tennis, une salle de bowling et un stand de tir. Tous ceux-ci sont des bâtiments utilitaires relativement simples, construits de manière fonctionnelle et sans particularités architecturales, et tous sont situés dans la zone urbaine de La Chaux-de-Fonds, mais pas dans le centre-ville à proprement parler. Compte tenu du très faible nombre de bâtiments concernés, nous nous gardons de formuler une quelconque interprétation.
- **Culture et loisirs** : Les bâtiments relevant de cette affectation sont surreprésentés d'un facteur de 1,3, mais les types de construction sont tellement variés qu'il est difficile de tirer des conclusions valables pour l'ensemble des bâtiments concernés. Les bâtiments endommagés sont principalement des musées, des galeries d'art, des théâtres, des cinémas, des salles de concert, ainsi que des salles polyvalentes. Ils se trouvent en majorité dans le centre-ville, où l'intensité des impacts de débris emportés a été particulièrement élevée.
- Affichant un facteur de 0,6, les bâtiments appartenant à la catégorie **Exploitation agricole** sont sous-représentés de manière marquée. Ce constat peut s'expliquer par le fait que ces types de bâtiments sont situés presque exclusivement à l'extérieur des villes, tandis que les zones focales des dommages se situent au Crêt-du-Loche et dans la ville de La Chaux-de-Fonds, où les bâtiments agricoles sont très peu nombreux⁴. Les bâtiments agricoles qui ont été endommagés sont principalement situés à proximité des zones focales mentionnées, et les bâtiments plus éloignés ont été épargnés par la cellule orageuse en raison de leur localisation périphérique. En raison de la faible densité de construction aux emplacements concernés, les bâtiments endommagés n'ont pratiquement pas été exposés à des impacts de débris emportés.

⁴ Situés en bordure de la ville, les bâtiments du parc zoologique « MUZOO » de La Chaux-de-Fonds constituent l'exception qui confirme la règle : dans les données de portefeuille, ces bâtiments sont de manière erronée classés dans la catégorie « Exploitation agricole », alors que conformément au « Guide du nouveau code d'affectation » (Imhof, 2017), ils font partie de la catégorie « Culture et loisirs ».

- Les **édifices culturels et religieux**, tels que les églises, les synagogues, les maisons paroissiales ou les funérariums, sont surreprésentés d'un facteur de 1,5. Compte tenu de leur très faible part dans le parc immobilier total, il convient de faire preuve de prudence pour l'interprétation de ce résultat. Cependant, en examinant les données de plus près, on constate que six des douze édifices culturels ou religieux endommagés sont des bâtiments dotés d'une structure assimilable à une tour (clocher, clocheton, coupole), soit collée au bâtiment, soit située sur le toit de celui-ci. Au vu de sa position exposée, une telle structure architecturale augmente la vulnérabilité du bâtiment. À titre d'exemples, on peut évoquer ici le clocheton arraché du Temple des Éplatures ou le Temple de l'Abeille, dont la pointe servant de support au coq a été tordue (illustration 18). À quelques exceptions près, tous les édifices culturels ou religieux endommagés se trouvent dans la zone urbaine de La Chaux-de-Fonds.
- À l'instar des bâtiments consacrés à la culture ou aux loisirs, les **bâtiments publics spéciaux** présentent une grande variété au niveau des types de construc-

tion : l'éventail va des toilettes publiques aux établissements pénitentiaires en passant par les casernes de sapeurs-pompiers. Affichant un facteur de 0,7, les bâtiments de cette catégorie sont clairement sous-représentés par rapport à leur nombre total. Les bâtiments publics spéciaux qui ont été endommagés se situent en très grande majorité dans la zone urbaine de La Chaux-de-Fonds, tandis que quelques-uns se trouvent au Crêt-du-Loclle. Au regard du fait que seuls huit objets appartenant à cette catégorie ont été endommagés, soit un très faible nombre, nous renonçons à formuler une quelconque interprétation.

De manière générale, les résultats présentés ci-dessus doivent être interprétés avec une certaine prudence : dans un bon nombre de cas, les bâtiments regroupés dans une même catégorie d'affectation présentent des degrés de résistance très divers. Il s'ensuit que l'analyse ne peut fournir que des indications très approximatives sur la vulnérabilité des groupes de bâtiments considérés. De plus, les résultats d'analyse présentés ci-dessus sont influencés par les impacts de débris emportés qui se sont produits, comme déjà mentionné à plusieurs reprises, dans



Illustration 18 : La pointe posée sur la flèche du Temple de l'Abeille et servant de support au coq doré a été tordue par la tempête. La photo a été prise le jour même de l'événement, juste après le passage de la tempête, comme le prouve l'heure affichée par l'horloge. (source : ECAP)

les zones à forte densité de construction : ainsi, dans de nombreux cas, des bâtiments situés dans le centre-ville et qui étaient en soi résistants à la charge directe du vent n'ont pas résisté aux impacts de débris emportés, ce qui les a fait apparaître comme plus vulnérables qu'ils le sont vraiment par rapport à l'action du vent prise pour elle-même.

Montant de dommage moyen en fonction de la valeur d'assurance et de l'utilisation du bâtiment

Les données de l'ECAP relatives aux dommages permettent de croiser les montants de dommage moyens avec les valeurs d'assurance moyennes pour chacune des catégories d'affectation des bâtiments (illustration 19).

Cette analyse révèle une corrélation faible ($R^2 = 0,39$) entre les deux grandeurs : les types de bâtiments présentant une valeur d'assurance moyenne faible (p. ex. les bâtiments destinés au stationnement de véhicules) ont eu tendance à subir des dommages plutôt modérés, tandis qu'inversement, les types bâtiments dont la valeur d'assurance moyenne est élevée (p. ex. les bâtiments consacrés à l'enseignement) ont eu tendance à subir des dommages plutôt importants. Il semble évident que sur les bâtiments de grande valeur, on doit s'attendre à des dommages qui représentent eux aussi des montants plus importants que dans le cas des bâtiments dont la valeur d'assurance est moindre. Toutefois, certaines catégories de bâtiments se démarquent par un grand éloignement de leurs valeurs respectives par rapport à la droite de régression : ainsi, les catégories « Hébergement et restauration », « Sport » et « Industrie et artisanat » présentent des montants de dommage moyens très élevés par rapport à leurs valeurs d'assurance moyennes.

Inversement, les catégories « Bâtiments publics spéciaux », « Culture et loisirs » et « Bâtiments administratifs » affichent de faibles montants de dommage moyens par rapport à leurs valeurs d'assurance moyennes. La distance par rapport à la droite de régression constitue donc un indicateur de la sensibilité des différentes catégories aux dommages causés par la tempête.

Cependant, la fiabilité de cet indicateur varie fortement en fonction du nombre de bâtiments endommagés au sein de chacune des catégories : dans les données relatives aux dommages, des bâtiments consacrés au sport ainsi que des bâtiments publics spéciaux apparaissent moins de dix fois respectivement. Ainsi, les valeurs moyennes obtenues ne sont que faiblement étayées. À l'inverse, les bâtiments d'habitation apparaissent avec une fréquence particulièrement élevée, ce qui permet de supposer que les résultats obtenus sont robustes.

Degré d'endommagement moyen en fonction de l'année de construction

En divisant le montant du dommage par la valeur d'assurance, on obtient un rapport qui renseigne sur la part de la valeur d'assurance du bâtiment qui a été « anéantie » par l'événement dommageable : c'est le degré d'endommagement (cf. légende de l'illustration 16).

Le graphique présenté à l'illustration 20 montre les degrés d'endommagement moyens des bâtiments sinistrés le 24 juillet 2023, en fonction de leur année de construction. Les bâtiments construits avant 1950 n'ont pas été pris en compte dans cette analyse, car les nombres absolus correspondants sont trop faibles pour fournir des chiffres significatifs. Pour la même raison, nous avons renoncé à distinguer entre les bâtiments d'habitation et les bâtiments servant à d'autres fins. Afin d'atténuer les fluctuations importantes, le graphique a été établi au moyen des moyennes mobiles sur cinq ans. Au fil des années de construction, on peut observer une nette tendance à la hausse : manifestement, les bâtiments plus modernes ont tendance à subir des dommages plus coûteux que les bâtiments d'un certain âge.

Proportion des bâtiments endommagés par année de construction

L'illustration 21 montre, pour chaque année de construction, quelle est la proportion de bâtiments qui ont été endommagés le 24 juillet 2023, autrement dit, parmi les bâtiments construits une même année, quel est le pourcentage des bâtiments ayant subi un dommage lors de la tempête estivale (indépendamment du montant du dommage). Comme pour l'illustration 20 et pour les mêmes raisons, les bâtiments construits avant 1950 n'ont pas été pris en compte dans cette analyse, et nous avons également renoncé à opérer ici des distinctions en fonction de l'utilisation des bâtiments. Étant donné que les valeurs (points) présentent de fortes fluctuations entre les diverses années de construction successives (vraisemblablement une conséquence du nombre relativement faible de bâtiments par année de construction), les données ont été lissées en calculant les moyennes mobiles sur cinq ans (courbe bleue).

Sur l'ensemble de la période considérée, la dispersion reste relativement stable ; on peut donc considérer que les moyennes mobiles constituent un indicateur plutôt significatif.

Dans le graphique présenté à l'illustration 21, on peut observer deux maxima marquants : l'un se situe au début des années 1950 et l'autre au début des années 2010.

À l'inverse, pour les bâtiments construits entre 1975 et 1995 environ, ainsi que pour ceux construits après 2015 environ, la proportion des bâtiments endommagés est relativement basse.

Lorsque l'on combine les informations qui ressortent des graphiques présentés aux illustrations 20 et 21, on peut en déduire que les bâtiments construits avant 1970 affichent une tendance relativement forte à subir des dommages, mais que ces derniers sont plutôt légers. Quant aux bâtiments construits entre 2005 et 2015, ils présentent non seulement, eux aussi, une tendance relativement élevée à subir des dommages, mais dans cette catégorie, les dommages sont en outre plus graves (plus onéreux).

Comment expliquer ces constats ? Pour répondre à cette question, il est nécessaire d'en savoir plus sur la nature des dommages subis par les bâtiments. Quels sont les types de bâtiments et les éléments de construction qui ont été endommagés, et lesquels l'ont été soit particulièrement souvent, soit particulièrement rarement ? Et quels sont les éléments de construction qui s'avèrent caractéristiques pour quelles périodes ?

Analyse des dommages causés aux bâtiments

Selon Aurelio Muttoni, ancien professeur ordinaire en ingénierie des structures porteuses à l'École polytechnique fédérale de Lausanne, le choix des matériaux ainsi que certaines caractéristiques architecturales expliquent dans une large mesure pourquoi les bâtiments historiques ont subi moins de dommages que les bâtiments modernes lors de la tempête du 24 juillet 2023 (interview dans le quotidien Le Temps, édition du 27 juillet 2023). Ce sont surtout des bâtiments industriels plutôt récents qui ont subi des dommages conséquents : de grandes surfaces de revêtements de façade en bois ou en tôle (souvent ventilés par l'arrière) et posés sur de l'isolation extérieure ont été arrachées, et des surfaces vitrées ont été détruites. Ces observations rejoignent les informations fournies par les graphiques présentés aux illustrations 19 et 20.

Le prof. Muttoni explique :

« Les anciens bâtiments sont souvent en maçonnerie (brique, pierre naturelle), pour laquelle les normes sont plus conservatrices avec des niveaux de sécurité réels

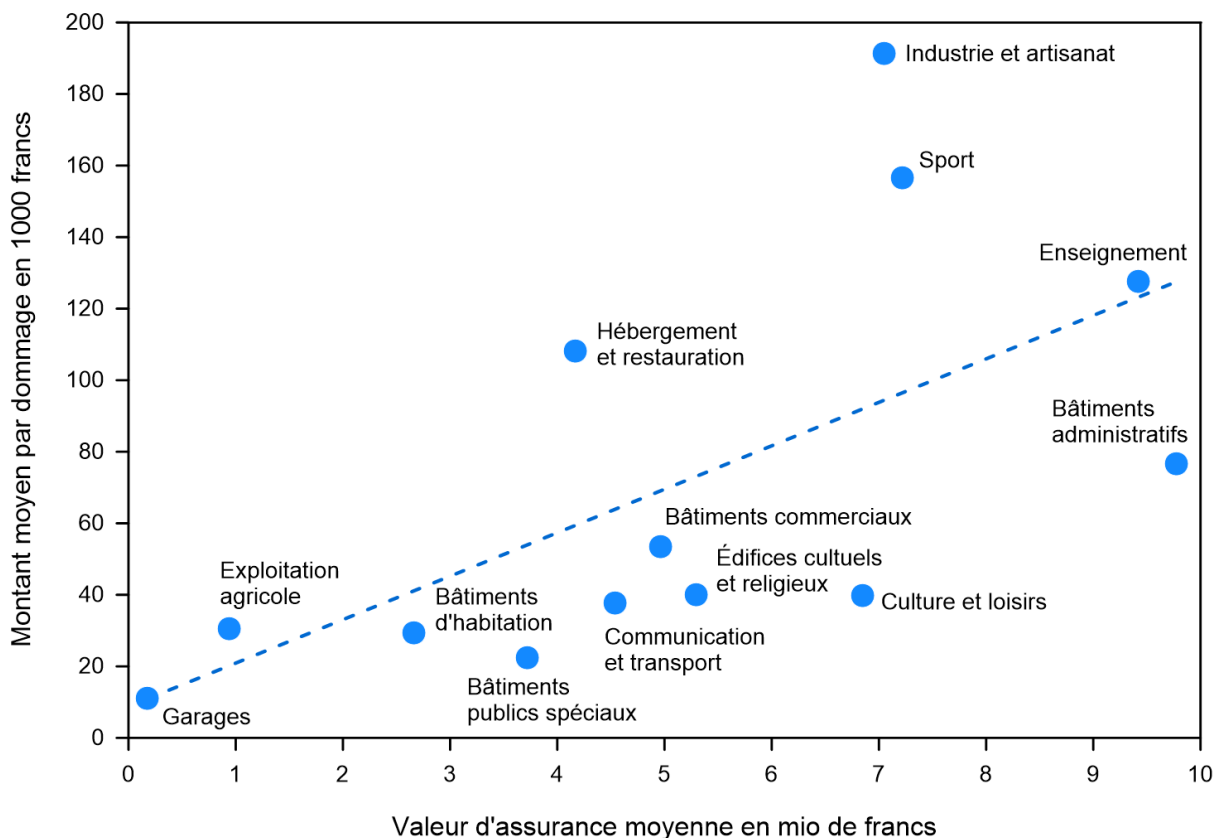


Illustration 19 : Relation entre les montants de dommage moyens et les valeurs d'assurance moyennes pour chacune des catégories d'affectation des bâtiments : les types de bâtiments dont la valeur d'assurance moyenne est élevée ont tendance à subir des dommages plutôt importants. (source des données : ECAP)

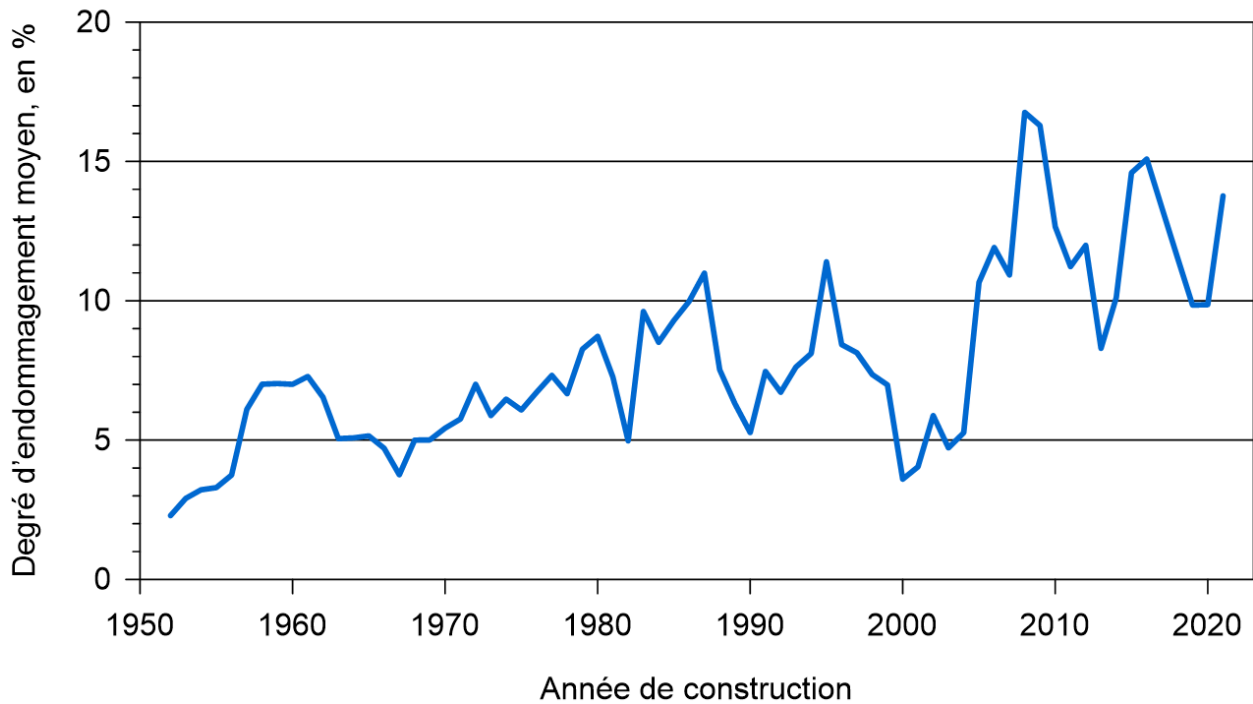


Illustration 20 : Degrés d'endommagement moyens (moyennes des quotients obtenus par la division du montant du dommage par la valeur d'assurance : quel pourcentage de la valeur du bâtiment a-t-il été « anéanti » ?) subis le 24 juillet 2023, en fonction de l'année de construction. La courbe représente les moyennes mobiles sur 5 ans. (source des données : ECAP)

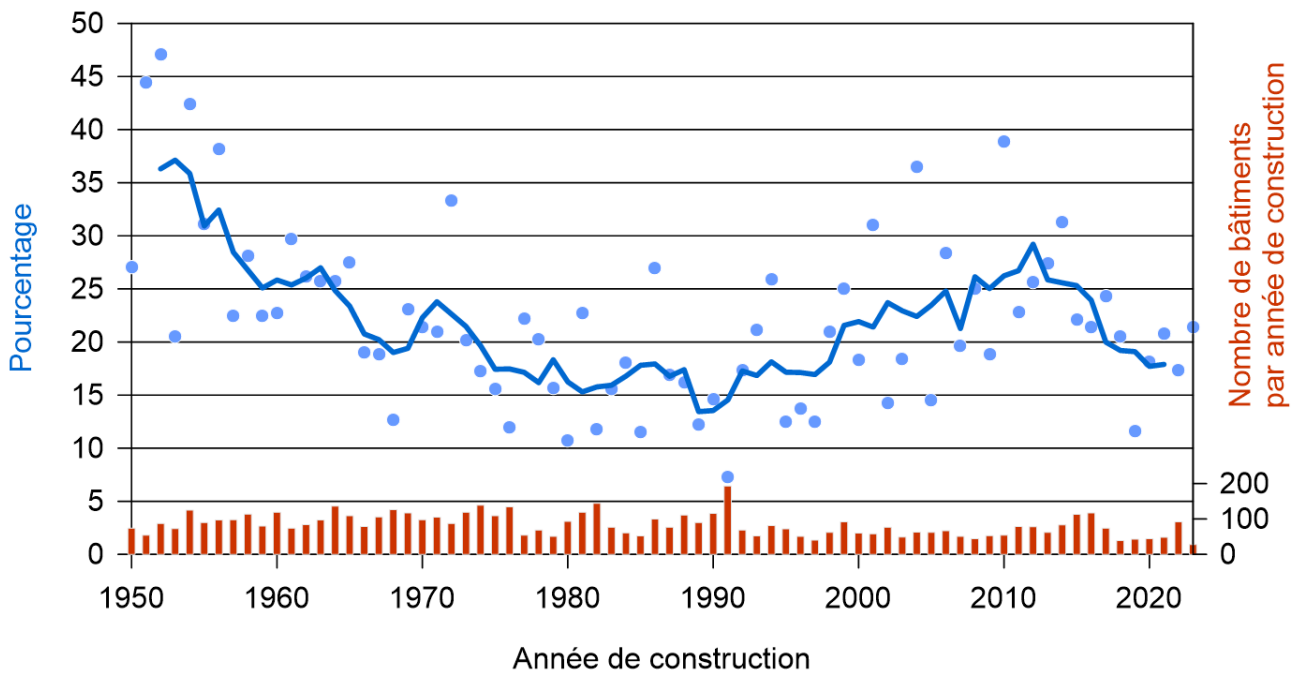


Illustration 21 : Proportion de bâtiments, pour chacune des années de construction, qui ont été endommagés par la tempête du 24 juillet 2023. Les points bleus représentent les valeurs obtenues pour chacune des années de construction, tandis que la courbe bleue représente les moyennes mobiles sur 5 ans. Quant aux colonnes rouges, elles indiquent le nombre de bâtiments situés dans les deux communes examinées et qui présentent la même année de construction. (source des données : ECAP)

plus élevés. Même chose pour le béton armé. Tandis que les édifices plus récents en bois ou en métal sont plus légers et donc beaucoup plus vulnérables face aux vents très intenses et aux chutes de neige. Depuis quelques décennies sont appliquées des isolations thermiques périphériques qui sont excellentes du point de vue énergétique et du développement durable, mais qui sont plus fragiles face aux intempéries. »

Il ajoute toutefois qu'il ne faut pas oublier les effets de la « sélection naturelle » qui a agi sur les bâtiments historiques, à savoir que seuls ceux qui étaient réellement construits de manière robuste et résistante ont réussi à traverser les âges jusqu'à aujourd'hui. L'impression fort répandue que par le passé, tous les bâtiments étaient construits de manière robuste est donc trompeuse.

Sans surprise, le prof. Muttoni relève également un lien avec le niveau d'entretien des bâtiments : de manière générale, les bâtiments bien entretenus ont subi moins de dommages que ceux qui ont été négligés (illustration 22).

Il rejoint ainsi une affirmation faite par Weidmann (2010) :

« Dans les bâtiments existants, les dommages occasionnés par les tempêtes sont principalement dus à un entretien déficient ou à des transformations inappropriées. [...] Contrôler et entretenir est moins coûteux, et aussi plus simple, que réparer. »

Sur la base de leurs observations de terrain, les spécialistes de l'ECAP relèvent, quant à eux, plus particulièrement l'effet destructeur des débris que le vent a arrachés sur des bâtiments voisins, puis emportés avec lui : ils estiment que par rapport à l'action directe et purement mécanique du vent sur les bâtiments, les impacts dus aux tuiles et éléments de façade arrachés, à du gravier soufflé depuis des toits plats et aux autres débris provenant des bâtiments voisins ont considérablement augmenté le montant des dommages. La vulnérabilité aux impacts de débris emportés s'est avérée particulièrement élevée dans le cas des éléments de construction caractérisés par de grandes surfaces, tels que les fenêtres, les vitrines, les modules photovoltaïques, les façades et les toits (illustration 23).

Dans ce contexte, s'agissant des couvertures de toit en tuiles, les tuiles faîtières et les tuiles de bordure non scellées et non assurées se sont révélées poser de sérieux problèmes et constituer un véritable danger pour la population (illustration 24) : dans les rues et les ruelles, les tuiles arrachées menacent gravement la vie des piétons qui y déambulent. En particulier dans les zones urbaines, où les ruelles et les trottoirs sont directement surplombés par les avant-toits, il est donc essentiel de stabiliser les tuiles, par exemple à l'aide de crochets de fixation appropriés.

Outre les risques de lésion corporelle de personnes, il convient également d'attirer l'attention sur les potentielles conséquences juridiques qui peuvent viser les propriétaires du bâtiment, du fait de leur responsabilité.

Les orthophotos du 27 juillet 2023 (prises trois jours après la tempête) révèlent que sur les toits en tuiles, les dommages sont principalement situés sur les bords des surfaces (rives, égouts, faîtes et arêtiers), et beaucoup plus rarement dans les surfaces elles-mêmes. En effet, aux endroits souvent endommagés, l'action du vent (forces de succion) est particulièrement forte, car les perturbations et tourbillons qu'ils engendrent accroissent encore les effets des rafales, alors que parallèlement, les tuiles de bordure qui s'y trouvent sont plus exposées, faute d'être maintenues sur tous leurs côtés dans l'assemblage (illustration 25).

Cependant, les forces de succion engendrées par les rafales parviennent parfois également à soulever des groupes de tuiles situés au milieu d'une surface de toiture, comme le montre de manière impressionnante la photo présentée à l'illustration 26.

Les toits en tuiles dépourvus d'une sous-couverture sont particulièrement vulnérables, d'autant plus lorsqu'il s'agit de bâtiments ouverts (illustration 27). Un bâtiment est considéré comme ouvert lorsque la proportion d'ouvertures selon une vue est supérieure à 5 % de sa surface (Egli, 2007). Les ouvertures dans les bâtiments occasionnent soit de la pression interne, soit de la succion interne, selon que l'ouverture considérée se trouve au vent (soit un côté du bâtiment faisant face au vent) ou sous le vent (soit un côté du bâtiment qui n'est pas directement exposé au vent) (Egli, 2007).

La situation est similaire dans le cas des couvertures de toit et des revêtements de façade en tôle, lorsque la fixation des tôles est insuffisante, spécialement aux angles et aux bords (illustration 28). Si les plaques de tôle présentent un profil ondulé ou trapézoïdal, cela facilite davantage la prise du vent sous la tôle, à moins que les joints et les raccords ne soient étanchéifiés de manière efficace et robuste. Lorsque les plaques ou bandes de tôle présentent des dimensions importantes, comme c'est souvent le cas, elles sont soumises à d'énormes forces de succion, auxquelles des clous de fixation à surface lisse seront incapables de résister (Weidmann, 2010).

Les nombreux dommages survenus sur des plafonds suspendus sont également associés aux bâtiments ouverts. Étant situés à l'intérieur du bâtiment, ces plafonds ne sont pas dimensionnés de manière à résister aux intempéries. Mais si une tempête parvient à s'engouffrer dans un bâtiment (p. ex. à cause de fenêtres brisées), les forces de



Illustration 22 : Au vu de son mauvais état d'entretien, il n'est pas surprenant que cette remise ait subi d'importants dommages au passage de la tempête. (source : ECAP)

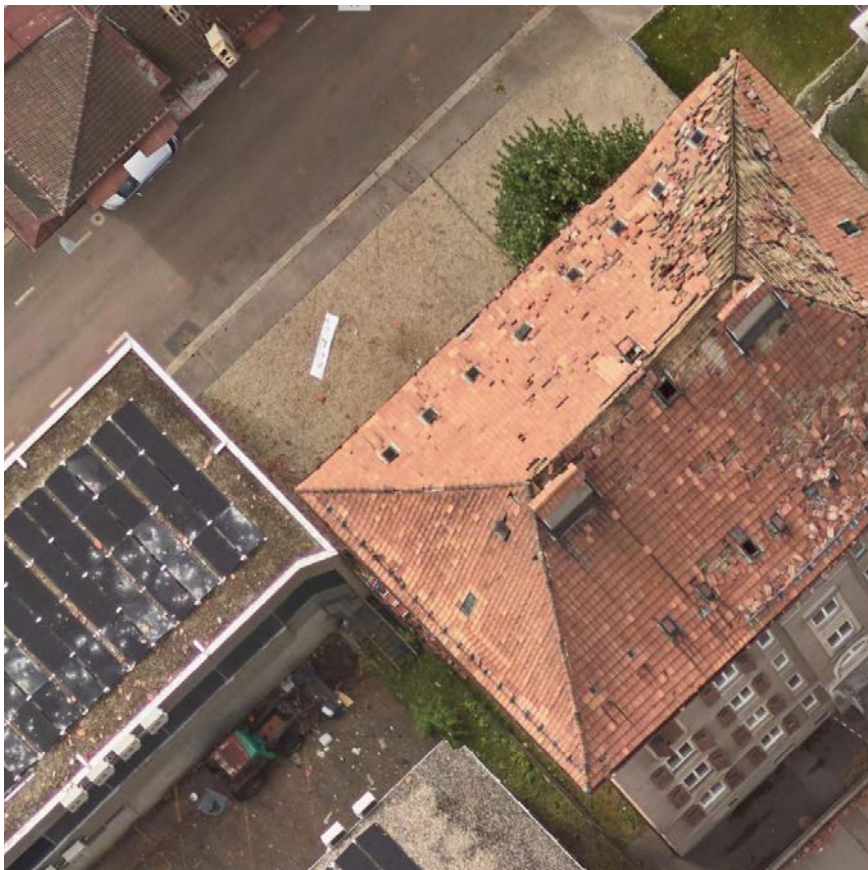


Illustration 23 : Visualisation directe d'impacts de débris emportés : sur le toit plat du bâtiment qui se trouve en bas à gauche sur la photo, l'installation photovoltaïque a subi des dommages (taches claires sur les modules) causés par des tuiles arrachées du toit du bâtiment voisin, à droite sur la photo. On distingue encore des tuiles éparses le long de l'installation et entre les modules. Orthophoto du 27 juillet 2023 ; pour des raisons de perspective, le nord se trouve exceptionnellement en bas de l'image ; le vent soufflait donc depuis le coin supérieur droit de la photo. (source : SITN)



Illustration 24 : Sur le Campus Sursee, centre de formation pour les professionnels de la construction, un essai au vent a été effectué avec un ventilateur à grand débit (non visible sur la photo) soufflant depuis le côté gauche de la photo en direction du faite du toit : les tuiles de bordure qui ne sont pas assurées sur leur bord extérieur sont les premières à être soulevées, à se désolidariser de l'assemblage, et à être emportées par le vent ou à glisser le long de la pente du toit, jusqu'à chuter au sol. Dans le cas de bâtiments réels, les tuiles arrachées constituent un danger imminent pour les personnes, pour les véhicules et pour les bâtiments voisins. (source : UIR)

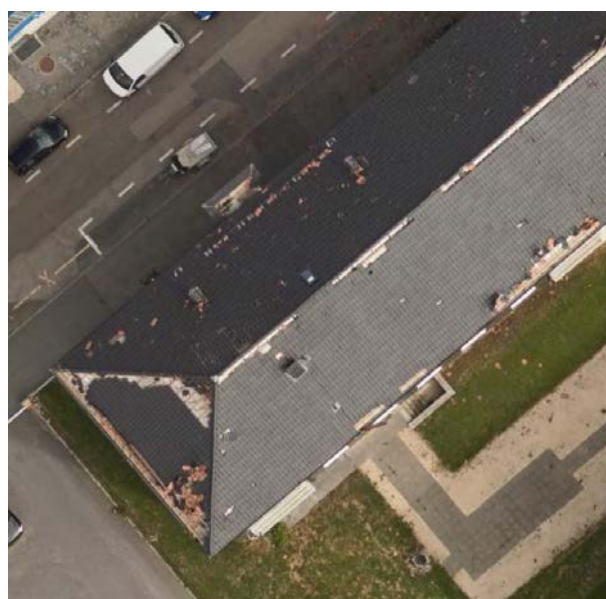
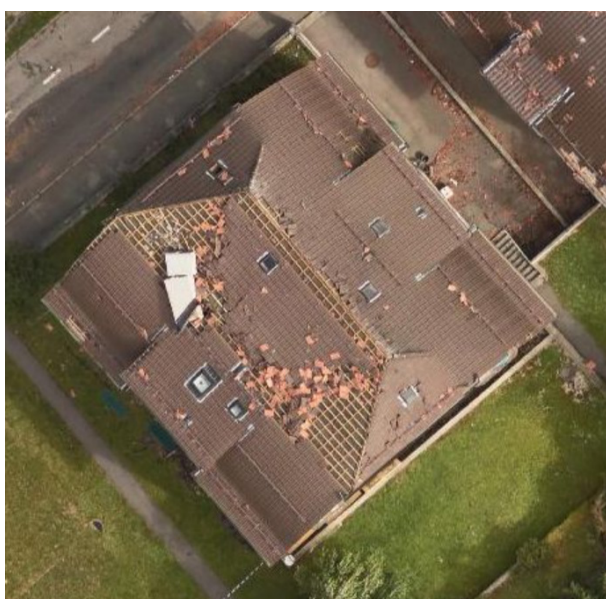


Illustration 25 : Deux exemples de bâtiments dotés d'un toit en tuiles. Les dommages se sont surtout produits le long du faite ainsi que le long des bords des différentes surfaces de toiture (influence des arêtes sur les conditions de pression). Observation frappante : la plupart des tuiles ont été retournées, révélant ainsi leur face inférieure, non traitée, un indice clair de l'action de forces de succion (cf. également illustrations 24 et 26). Les tuiles jonchant le sol autour des bâtiments attestent du danger que constituent les tuiles arrachées. Orthophotos du 27 juillet 2023. (le nord se trouve en haut des image ; source : SITN)



Illustration 26 : Comme si on avait passé un écailleur : sur la surface d'un toit incliné située sous le vent (c. à d. pas exposée directement au vent), la puissante force de succion ponctuelle d'une rafale a soulevé tout un groupe de tuiles se trouvant au milieu de la surface et les a dressées, voire complètement retournées. (source : ECAP)



Illustration 27 : Sur ce bâtiment de stockage situé à La Chaux-de-Fonds, qui comprend un abri pour véhicules ouvert sur le côté, le toit a été construit sans sous-couverture, ce qui a permis au vent de soulever les tuiles sur une grande surface. Orthophoto du 27 juillet 2023. (le nord se trouve en haut de l'image ; source : SITN)

succion peuvent parvenir à arracher les panneaux de plafond légers (souvent en carton-plâtre) de leurs fixations en métal léger (illustration 29).

Les parois non porteuses sont soumises aux mêmes forces. Ces parois ne sont pas plus conçues pour résister à des rafales de tempête à l'intérieur du bâtiment que les plafonds suspendus ; dans de nombreux cas, ces parois ne résistent donc pas aux forces de pression et de succion qui apparaissent dans un bâtiment que la tempête a réussi à ouvrir. Aussi, les dossiers de dommages de l'ECAP contiennent-ils de nombreuses photos de parois fissurées, voire même percées (illustration 30).

Il est évident que les bâtiments d'une certaine hauteur et les superstructures de toit sont particulièrement soumis à la charge du vent, en raison de leur exposition ; ce fait a déjà été évoqué plus haut à propos des édifices culturels et religieux. Comme pour les clochers, il s'applique également aux clochetons, cheminées, antennes, conduits d'air vicié, enseignes lumineuses et autres constructions similaires (illustrations 31 et 32).

Outre la charge directe du vent et les impacts de débris emportés, il existe encore un autre type de danger qui peut endommager les bâtiments : les arbres, grues de chantier et autres poteaux de toutes sortes qui se trouvent à proximité immédiate de bâtiments et qui sont susceptibles d'être renversés (illustration 33). S'agissant des arbres, ils peuvent être sources de dommages aux bâtiments de différentes manières :

- des branches mues par le vent qui viennent frapper des bâtiments et ainsi endommager des éléments de construction, tels qu'une façade ou le toit ;
- des branches arrachées, puis emportées par le vent, qui heurtent des bâtiments et en endommagent des éléments de construction (phénomène comparable aux impacts de débris emportés) ;
- le chablis, soit des arbres entiers qui sont renversés ou rompus, et qui tombent sur un bâtiment.

Dans la mesure où ils présentent des arêtes supplémentaires à l'extérieur du bâtiment, les éléments de construction saillants sont particulièrement menacés, typiquement les avant-toits et les balcons (Weidmann, 2010). La photo présentée à l'illustration 34 en fournit un exemple.

Dans le cas des objets techniques, c'est en général parce qu'ils sont renversés qu'ils occasionnent des dommages aux bâtiments. C'est d'ailleurs ce cas de figure qui a causé le seul décès dû à la tempête du 24 juillet 2023 : une grue

de chantier s'est abattue sur une voiture. L'illustration 33 montre un pylône de ligne électrique aérienne couché par la tempête et qui a failli toucher un bâtiment d'habitation en tombant. Certains câbles conducteurs se sont quant à eux posés sur le bâtiment.

Par ailleurs, si les dommages subis permettent à de l'eau de pénétrer dans le bâtiment, cela peut entraîner des dommages secondaires dont les conséquences financières ne doivent pas être sous-estimées : même des dommages relativement peu importants qui surviennent sur l'enveloppe du bâtiment créent des accès pour les eaux de précipitation qui vont de pair avec la tempête. Les dommages subséquents qui se produisent alors sur la structure du bâtiment (plafonds, parois, parquets, technique du bâtiment) peuvent engendrer des coûts de plusieurs fois supérieurs à ceux qui correspondent aux dommages primaires causés par la tempête. De plus, la réparation de dommages secondaires engendre souvent des travaux compliqués (Weidmann, 2010 ; illustrations 35 et 37).

Fréquence des différents types de dommages aux bâtiments et corrélations avec l'année de construction

Les données de l'ECAP relatives aux dommages comprennent une colonne intitulée « Description des dommages ». Celle-ci contient des informations, saisies sous forme de texte libre, concernant les éléments de construction endommagés et, dans certains cas, également sur le déroulement de l'événement.

Parfois, les informations saisies sont extrêmement succinctes (seulement un ou deux mots-clés, comme « Fenêtre », « Toiture »), mais dans certains cas, le texte est très détaillé (p. ex. : « Des débris ont endommagé des stores au rez inférieur, des chutes de branches d'arbres ont endommagé une barrière vers le garage, une table a été projetée contre une barrière de terrasse qui a été pliée, une cheminée de salon semble inclinée. D'éventuels dommages sur le toit n'ont pas encore pu être constatés. »).

En raison du caractère hétérogène de ces saisies, leur comparabilité est très limitée, et il est donc pratiquement impossible de réaliser des analyses quantitatives uniformes sur l'ensemble des sinistres. En conséquence, une approche semi-quantitative a été choisie : elle est basée sur un décompte, dans la colonne concernée, des occurrences de certains mots-clés qui apparaissent typiquement dans les descriptions succinctes des dommages (tableau 1).

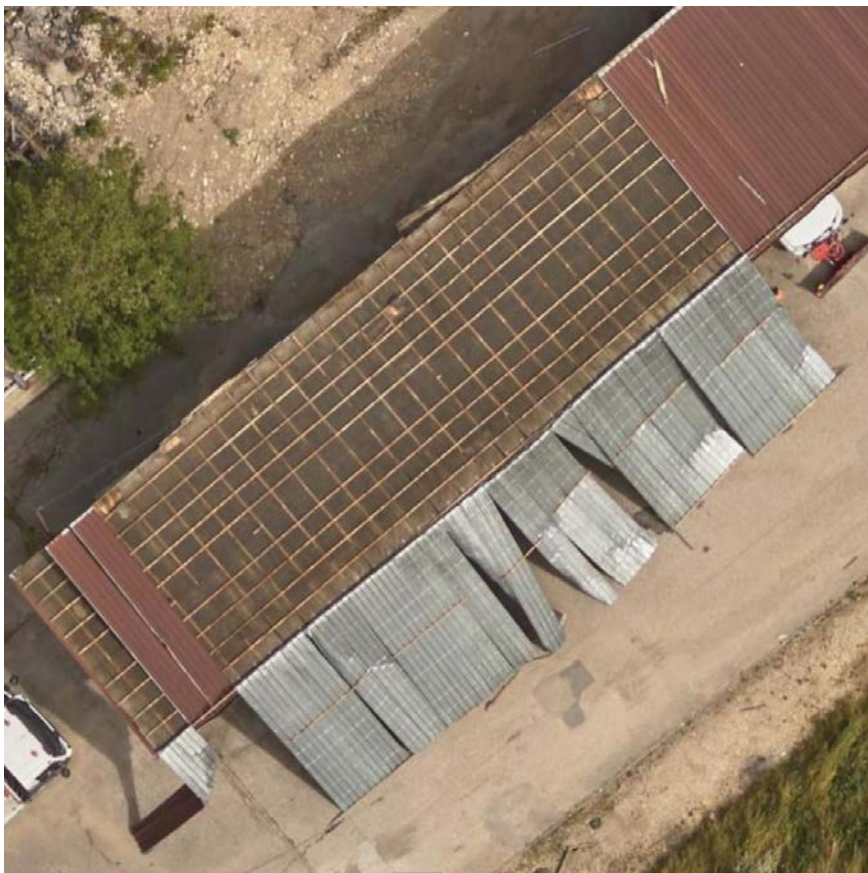


Illustration 28 : Sur cette baraque de stockage située à La Chaux-de-Fonds, l'existence d'une sous-couverture de toit n'a pas empêché les importantes forces de succion d'arracher et de retourner une portion importante de la couverture en tôle, qui était insuffisamment fixée. Orthophoto du 27 juillet 2023. (le nord se trouve en haut de l'image ; source : SITN)



Illustration 29 : Un plafond suspendu arraché : certaines plaques en carton-plâtre sont encore accrochées aux profilés tordus de leurs cadres de fixation. Les panneaux d'aggloméré insérés dans les fenêtres que l'on voit sur la droite du local expliquent ce qui s'est passé : la tempête a brisé les fenêtres et a ainsi pu s'introduire dans le bâtiment. (source : ECAP)



Illustration 30 : Paroi fortement endommagée dans un bâtiment d'habitation d'un certain âge. (source : ECAP)



Illustration 31 : Sur un bâtiment industriel moderne, la pression du vent a plié certaines tiges servant de support aux lettres formant l'enseigne de l'entreprise. (source : ECAP)



Illustration 32 : Cheminée projetée dans la rue : cette image met en lumière le danger de mort qui menaçait la population de La Chaux-de-Fonds pendant la tempête. (source : ECAP)



Illustration 33 : Pylône de ligne électrique renversé et arbres tombés sur un bâtiment d'habitation. Orthophoto du 27 juillet 2023. (le nord se trouve en haut de l'image ; source : SITN)



Illustration 34 : Bâtiment endommagé par la chute d'un érable de montagne. Les dommages concernent la gouttière, le balcon et la façade, c'est-à-dire des éléments de construction qui forment des angles. (source : ECAP)



Illustration 35 : De l'eau qui a pénétré dans le bâtiment a imbibé la dalle formant le plafond et a endommagé la peinture. Dans ce cas précis, l'eau est entrée par des brèches dans la toiture. (source : ECAP)



Illustration 36 : Les deux coques en matière synthétique de cette coupole d'éclairage placée sur un toit plat ont été perforées, permettant à l'eau de pluie d'entrer dans le bâtiment. (source : ECAP)

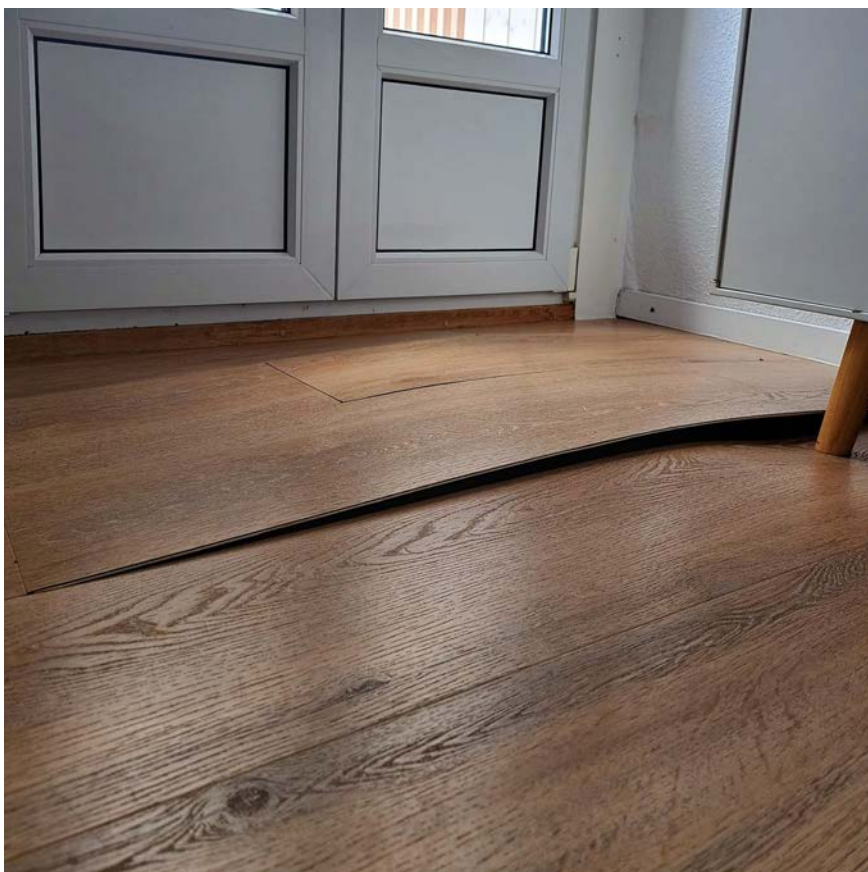


Illustration 37 : Parquet gondolé à cause d'une pénétration d'eau. Quand on pense aux dommages causés par une tempête, ce n'est probablement pas ce qui vient à l'esprit spontanément, mais dans les faits, ce genre de dommages est relativement fréquent. (source : ECAP)

Par exemple, les saisies ont été scrutées quant à la présence de mots-clés qui sont (généralement) en lien avec le toit :

toit, tuile, eternit, faîte*

L'astérisque permet de rechercher en une fois différents mots qui commencent de la même manière mais se terminent différemment, donc « toit », « toits », « toiture » ou « toitures ». Cette démarche a permis d'identifier les sinistres qui concernent des dommages survenus sur le toit ou sur sa couverture.

De manière similaire, la présence de mots-clés se rapportant aux fenêtres, aux surfaces vitrées ainsi que de manière générale au verre en tant que matériau de construction a été recherchée :

fenêtre, lucarne, tabatière, vélux, vitr, verr**

Étant donné que le terme « verre » peut être utilisé tout autant en lien avec des fenêtres normales que dans les contextes des fenêtres de toit, des vitrines, des façades en verre ou des serres, cette catégorie a dû être définie de manière large.

Il convient de noter que la somme des mots-clés identifiés ne correspond pas nécessairement au nombre total de sinistres, qui s'élève à un peu plus de 3000 : en effet, de nombreuses descriptions de dommages contiennent plusieurs des mots-clés recherchés (p. ex. « toiture », « fenêtre », « volet », « porte »), tandis que d'autres n'en contiennent aucun (p. ex. les saisies telles que « ? » ou « Dégâts inconnus »).

Quels sont les facteurs qui déterminent si certains éléments de construction spécifiques sont nommés dans les dossiers de dommages ? En principe, ils sont au nombre de deux :

1. L'élément de construction concerné doit exister sur le bâtiment endommagé. Par exemple, si un bâtiment n'est pas doté de stores, il va de soi que le mot « store » ne pourra pas apparaître dans la description du dommage survenu sur ce bâtiment.
2. L'élément de construction concerné doit être vulnérable par rapport au processus dommageable (dans le cas présent : les vents tempétueux). Plus l'élément de construction est vulnérable, plus ses mentions seront fréquentes dans les dossiers de dommages. Ceci ex-

Mots clés	Nombre
toit*, tuile, eternit, faîte	2'537
fenêtre, lucarne, tabatière, vélux, vitr*, verr*	1'386
façade, paroi, mur, bardage	547
store	500
volet	389
arbre, branche (soit cause, soit objet du dommage)	340
cheminée	297
ferblanterie, tôle, chéneau, gouttière	246
porte	180
d'eau, " eau ", inond*	159
panneau (pv ou thermique)	106
coupole	106
véranda, terrasse	94
plafond	83
balcon	80
plancher	53
ventilation	24
isolation	19
antenne	2

Tableau 1 : Nombre d'occurrences des différents mots-clés dans les données de l'ECAP relatives aux dommages occasionnés par la tempête du 24 juillet 2023. (source des données : ECAP)

plique pourquoi les stores⁵ apparaissent plus souvent que les portes dans les données relatives aux dommages, bien que pratiquement tous les bâtiments soient équipés de portes, alors que des stores ne sont de loin pas présents sur tous.

Comme le montre l'analyse, les motifs les plus fréquents pour l'introduction d'une déclaration de sinistre sont des dommages survenus sur le toit, sur des fenêtres ou vitrages, sur des façades ou parois, ou encore sur des stores. Manifestement, ces éléments de construction sont à la fois vulnérables et très répandus.

L'analyse devient particulièrement intéressante quand on intègre la composante temporelle, à savoir lorsque l'on détermine, pour les principaux types d'éléments de construction, la fréquence relative avec laquelle ils apparaissent dans les dossiers de dommages en fonction de la décen-

nie dans laquelle le bâtiment a été construit (p. ex. années 1950 à 1959). L'illustration 38 révèle par exemple que pour les bâtiments construits dans les années 1950 à 1959, les toits représentent 34 % des mentions recensées dans les déclarations de dommages. En revanche, pour les bâtiments datant des années 2020 à 2024, les toitures ne constituent plus que 14 % des mentions. Manifestement, il existe des différences entre les techniques de construction utilisées il y a un certain temps et celles utilisées plus récemment.

Quelles sont les caractéristiques qui distinguent les bâtiments typiques des années 1950 de ceux des années 2020 ?

Toits

Le premier critère nommé ci-dessus, à savoir la présence ou non de l'élément de construction considéré, peut se passer d'un examen approfondi. En effet, tout bâtiment comprend un toit, puisque la définition fondamentale de la notion de bâtiment implique l'existence d'une couverture solide :

⁵ Ce sont les stores à lamelles et les stores à enrouleur qui sont visés ici ; les stores bannes et les marquises en toile ne sont pas compris dans l'étendue de la couverture de l'ECAP (ils sont considérés comme des biens mobiliers), et ils n'apparaissent donc pas dans les données relatives aux dommages.

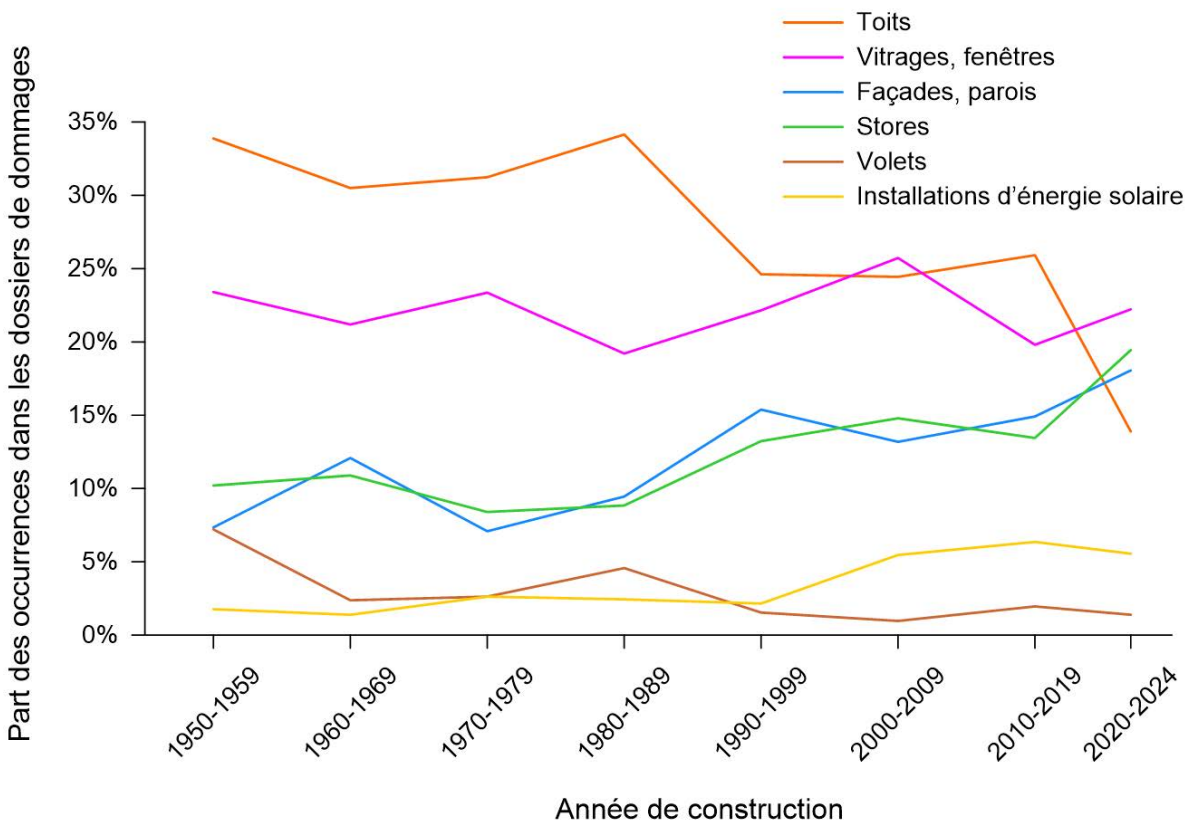


Illustration 38 : Parts des occurrences des divers types d'éléments de construction dans les dossiers de dommages en fonction des années de construction. (source des données : ECAP)

Est considérée comme bâtiment toute construction d'une certaine importance, servant à abriter des personnes, des animaux ou des choses, et liée au sol de manière fixe et durable.

(Règlement d'exécution de la loi sur la préservation et l'assurance des bâtiments [RLAB], du 15 mars 2017, applicable dans le cas de l'ECAP)

Dans ce contexte, le terme « abriter » constitue la notion centrale. Signifiant « héberger, protéger, faire écran, mettre à l'abri », il implique l'existence d'une délimitation par rapport à l'extérieur (du moins dans le sens vertical).

La courbe montre donc, en fonction des années de construction, dans quelle mesure les toits sont vulnérables par rapport aux tempêtes. Les bâtiments construits dans les années 1950 à 1959 (ou avant) présentent généralement un toit en pente doté d'une couverture en tuiles et constituant des « combles froids », car le toit n'a pas d'isolation thermique (illustration 39). Le plus souvent, une sous-couverture fait également défaut. Si la couverture comprend déjà une lacune ou si la tempête en crée une, les tuiles sont aisément soulevées par les forces de succion et de pression. Cela explique probablement pourquoi, pour les bâtiments datant de cette période, les toits se sont révélés être particulièrement vulnérables : pour ces années de construction, 34 % des mots-clés répertoriés dans les dossiers de dommages se rapportent aux toits.

Au cours des décennies suivantes, il est devenu de plus en plus courant de construire des sous-couvertures, et aujourd'hui, elles sont obligatoires pour les nouvelles constructions (norme SIA 232/1). En outre, d'autres matériaux de construction sont apparus pour réaliser les couvertures de toit (p. ex. les fibres-ciment), et la proportion de bâtiments à toit plat a augmenté de manière continue. Ainsi, lorsqu'un bâtiment date des années 2020 à 2024, il y a de fortes chances qu'il soit doté d'un toit plat. De tels toits sont moins vulnérables par rapport aux tempêtes, car ils ne comportent pratiquement pas d'éléments susceptibles d'être facilement soulevés, comme le sont les tuiles. En revanche, le revêtement des bordures constitue un point faible (illustration 40).

Il en va de même pour les couches de gravier aménagées sur les lés d'étanchéité (illustration 41). Cependant, cela constitue avant tout un problème pour les bâtiments voisins, dans la mesure où le vent emporte des gravillons et les projette contre l'enveloppe d'autres bâtiments (illustration 44 ; impacts de débris emportés). En conséquence, dans le cas des bâtiments les plus récents, les dommages causés aux toits constituent une part nettement plus faible : les mots-clés qui se rapportent aux toits ne représen-

tent plus que 14 % de l'ensemble des termes considérés. On peut donc en conclure que, par rapport aux toits des bâtiments plus anciens, la vulnérabilité des toits modernes a fortement diminué.

Vitrages et fenêtres

Dans le graphique présenté à l'illustration 38, la courbe qui se rapporte à la mention de vitrages ou de fenêtres dans les dossiers des dommages est relativement peu intéressante : elle oscille entre 20 et 25 % pour toutes les périodes. Ainsi, les fenêtres et vitrages occupent la deuxième place, derrière les toits, en termes de mention dans les dossiers des dommages. Ils sont donc très vulnérables, et sont, en outre, présents sur pratiquement tous les bâtiments. Outre l'action directe de la tempête (forces de succion ou de pression qui dépassent la résistance des surfaces vitrées), les dommages sont souvent provoqués par le battement de fenêtres restées ouvertes alors qu'il vente, ainsi que par des impacts de débris emportés. Ces derniers ont des effets particulièrement ravageurs sur les surfaces de grande taille en verre ou en matière synthétique et qui réagissent par rupture fragile aux charges gravillons emportés par le vent depuis un toit plat voisin pour causer des bris de glace, sans parler des débris de tuiles (illustrations 44 et 45).

Façades et parois

Pour ces éléments de construction, la situation est similaire à celle qui concerne les toits : pour la plupart des bâtiments, on peut considérer que l'existence de façades, voire de parois, va de soi (à l'exception des auvents pour voiture, des couverts, etc.). Ainsi, les fluctuations affichées par la courbe correspondante sur le graphique de l'illustration 38 indiquent des changements en matière de vulnérabilité. Ici, l'évolution va dans le sens inverse de celle qui se rapporte aux toits : pour les bâtiments construits dans les années 1950 à 1959, les façades et les parois ne représentent que 7 % des mentions recensées dans les déclarations de dommages. En revanche, pour les bâtiments les plus récents, cette valeur grimpe à 18 %, soit plus du double. Cette tendance à la hausse s'est amorcée dans les années 1980.

De fait, on peut supposer que pour les bâtiments construits dans la période sur laquelle porte cette analyse, soit à partir de 1950, les façades n'ont été plus que très rarement réalisées avec le matériau de façade qui est probablement le plus robuste dans ce contexte, à savoir la pierre naturelle. À La Chaux-de-Fonds, la pierre naturelle est très répandue sur les bâtiments plus anciens (illustration 46), tandis que parmi les bâtiments plus récents, elle n'est

encore utilisée que dans des cas isolés, et ceci souvent sous forme de revêtements de façade en dalles de pierre. Quant au béton apparent, également robuste, il était sans doute encore peu courant dans les années 1950.

La façade typique des bâtiments construits dans les années 1950 est constituée de maçonnerie crépie. Celle-ci est peu sensible à l'action directe du vent. Par contre, les débris emportés peuvent endommager le crépi. Cependant, on peut supposer que dans ce contexte, de nombreux dommages de faible ampleur causés aux crépis n'ont pas été annoncés, car dans de tels cas, l'ECAP applique une franchise d'au moins 300 francs, ce qui constitue, pour les dommages mineurs, une part importante du montant total du dommage.

En revanche, sur les bâtiments les plus récents, les murs extérieurs sont souvent revêtus d'une couche d'isolation thermique crépie qui est relativement molle (p. ex. polystyrène, polyuréthane, cellulose, laine de roche, laine de verre, etc.). Lorsque des débris emportés par les vents tourbillonnants heurtent une telle façade, ils ont le même effet qu'un coup de cuillère sur un œuf à la coque encore chaud : le crépi rigide ne reçoit pas suffisamment de soutien de la part du treillis de renforcement, ni de la couche d'isolation thermique, molle, qui est en dessous, de sorte

que le crépi est transpercé et l'isolation endommagée, ne remplissant dès lors plus pleinement sa fonction. Sur les photos intégrées dans les dossiers de dommages de l'ECAP, on peut observer plusieurs façades dans lesquelles sont restés plantés de nombreux débris provenant de bâtiments voisins (illustrations 47 et 48). D'autres types de façades modernes sont également vulnérables à l'action directe du vent, et encore plus aux impacts de débris emportés : notamment les revêtements de façade en tôle légère, en verre, en matière synthétique, en fibres-ciment ou en bois (illustration 49).

Dans les dommages annoncés à l'ECAP, il n'y a, par contre, pratiquement pas de dommages à des façades en béton apparent ou en béton lavé. Non pas que de telles façades n'existent pas, mais manifestement, elles sont particulièrement robustes.

Des preuves particulièrement impressionnantes de l'intensité de la tempête sont fournies par des murs extérieurs en construction massive qui sont fendus par de longues fissures. Toutefois, ces fissures ne sont probablement pas dues à la pression directe du vent sur les murs, mais à la transmission de forces sur la maçonnerie, par exemple via la poutraison lorsque la charpente de toit a été endommagée (illustration 50).



Illustration 39 : Bâtiment d'habitation construit en 1902, avec un toit en pente dépourvu d'une sous-couverture. Les tuiles n'ont offert que peu de résistance à la tempête. Le pare-neige a néanmoins empêché la chute de nombreuses tuiles. (source : ECAP)



Illustration 40 : Lés d'étanchéité arrachés sur le toit plat d'un bâtiment d'habitation construit en 1954. Probablement, le revêtement de bordure, en tôle, a cédé en premier, laissant ainsi le vent avoir prise en se glissant sous les lés. En arrière-plan, on aperçoit un bâtiment construit de manière similaire, sur lequel toute la couverture du toit a été arrachée. (source : ECAP)



Illustration 41 : Gravier sur un toit plat moderne (année de construction 2006). La tempête a soulevé les gravillons et les a en partie projeté au-delà du bord du toit. (source : ECAP)

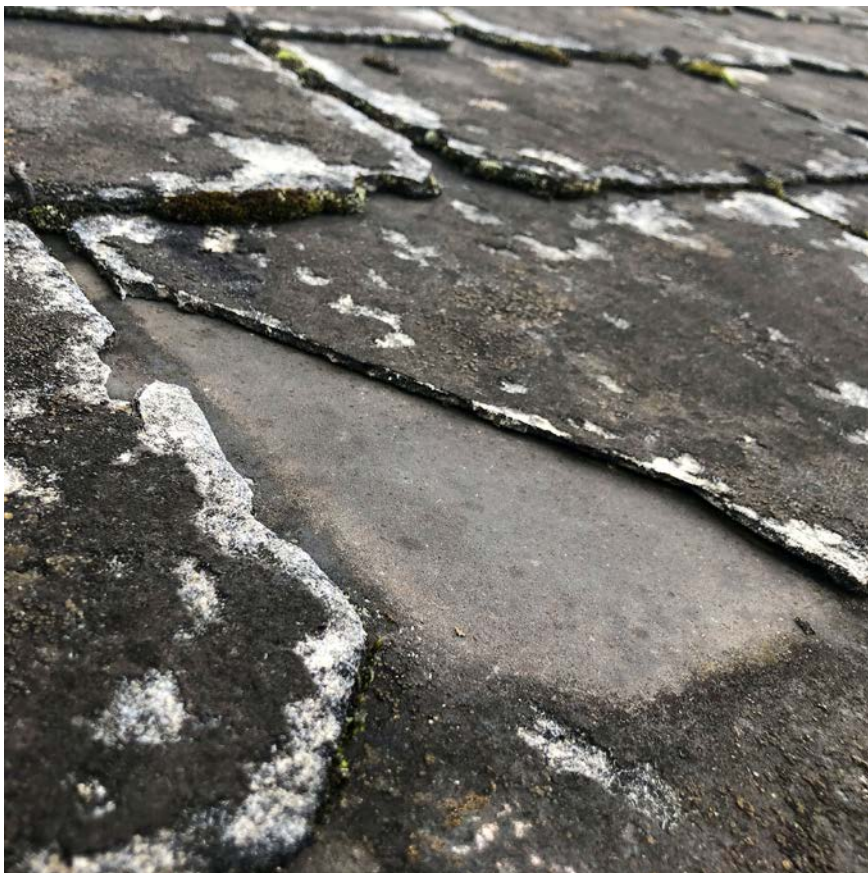


Illustration 42 : Sur un toit en pente, coin brisé d'un bardeau en fibres-ciment. L'état des autres bardeaux suggère que le bardeau endommagé était déjà fragilisé en raison de son âge. (source : ECAP)



Illustration 43 : Sur un bâtiment d'exploitation agricole, la charpente de toit s'est effondrée. L'apparence générale du bâtiment suggère que le dommage pourrait avoir été favorisé par un entretien insuffisant. (source : ECAP)

Stores

Tous les bâtiments ne sont pas dotés de stores. Jusqu'à bien dans les années 1950, la plupart des bâtiments étaient encore équipés de volets. Au cours des décennies suivantes, les volets ont été largement supplantés par les stores : sur les bâtiments construits après 2000, il est peu probable qu'on trouve encore des volets.

La courbe relative aux stores montre presque exactement la même évolution que celle qui représente les façades et parois : un taux pratiquement constant, d'environ 10 %, pour les bâtiments construits jusqu'en 1980 environ, puis une augmentation continue jusqu'à une valeur proche de 20 % pour les bâtiments les plus récents. L'augmentation du nombre de mentions dans les dossiers de dommages s'explique en partie par le fait que les stores sont devenus de plus en plus courants sur les bâtiments. Plus particulièrement les stores à lamelles en métal léger ne présentent aucune résistance aux rafales violentes ni aux débris emportés par une tempête (illustration 51).

De nombreux bâtiments dotés de stores à lamelles sont donc équipés d'un anémomètre (en général un petit anémomètre à coupelles) qui envoie, en cas de danger, un signal pour faire remonter les stores de manière automa-

tique. Lors de la tempête estivale de 2023, survenue de manière extraordinairement abrupte, il est probable que de nombreux systèmes automatisés n'ont simplement pas eu le temps de réagir et de placer les stores à temps dans une position sûre. Il est également possible que certains anémomètres de surveillance aient été détruits avant de pouvoir envoyer leurs signaux.

Volets

Les volets ont déjà été évoqués dans la section ci-dessus : ils sont encore très répandus sur les bâtiments d'un certain âge, mais de plus en plus rares sur les bâtiments modernes. Face à la fabrication traditionnelle en bois, les modèles modernes sont généralement réalisés en aluminium.

Représentant une part de 7 % des mentions pour les bâtiments construits dans les années 1950 à 1959, la part des mentions dans les dossiers de dommages tombe à environ 1 % pour les bâtiments construits à partir de l'an 2000. Cette évolution ne reflète probablement pas un changement dans la vulnérabilité des volets, mais en premier lieu le fait que, sur les bâtiments plus récents, les stores ont très largement pris la place des volets. Ce n'est donc sans



Illustration 44 : Bris de verre, probablement dû à des impacts de débris emportés : les dommages sous forme de points sur la façade ainsi que le fait que les vitres ont été transpercées en plusieurs endroits invitent à penser que les impacts sont dus à des grains durs. Et en effet, dans le voisinage immédiat, à l'ouest et au nord-ouest, il y a deux bâtiments dont les toits plats sont recouverts de gravier. (source : ECAP)



Illustration 45 : De toute évidence des impacts de débris emportés : une tuile transportée par le vent est encore plantée dans la vitre. Au-dessus, on reconnaît des traces rougeâtres sur les centres des fissures en forme de toile d'araignée, suggérant que la fenêtre a été heurtée à plusieurs reprises par des débris de tuiles. (source : ECAP)



Illustration 46 : Robuste, mais pas tout à fait indestructible : sur cette villa construite en 1919, la façade en pierre naturelle présente des dommages causés par impacts de débris emportés. (source : ECAP)

doute pas un hasard si la courbe relative aux volets et celle qui représente les stores évoluent dans des sens opposés.

Les dommages typiquement observés sur les volets sont des raccords de cadre endommagés, des lamelles cassées ou cabossées, ou encore des charnières arrachées du volet ou de la façade. La tempête a particulièrement fait des ravages sur les vieux volets en bois qui étaient pourris en raison d'un entretien insuffisant (illustration 52). Outre les dommages mécaniques, les dommages typiques comprennent aussi les dégâts de peinture.

Modules photovoltaïques et capteurs thermiques solaires

Les éléments de construction traités dans la présente section se caractérisent par la particularité suivante : alors que pour les bâtiments modernes, les installations d'énergie solaire ont souvent dès le début fait partie intégrante du projet de construction, elles ont été installées ultérieurement sur les bâtiments plus anciens. Dans ce deuxième cas, l'année de construction de l'installation ne correspond pas à l'année de construction du bâtiment. Malgré cela, on constate que pour les bâtiments plus mo-

dernes, la part des mentions dans les dossiers de dommages est plus élevée que pour les bâtiments plus anciens. Cela s'explique probablement par le fait que les installations d'énergie solaire sont proportionnellement plus présentes sur les bâtiments modernes que sur les bâtiments plus âgés : en effet, les toits plats modernes sont particulièrement propices à l'exploitation de l'énergie solaire.

On peut observer deux types de dommages causés aux éléments de construction des installations solaires. D'une part, de nombreux éléments ont été arrachés de leurs fixations, et certains ont été emportés par la tempête (illustration 53). Sans surprise, cela s'applique particulièrement à des installations montées sur un toit, car le vent a plus fortement pris sur elles. À l'instar des tuiles en terre cuite, des tuiles solaires ont été soulevées individuellement ou par groupes. D'autre part, de nombreuses installations ont été endommagées par des impacts de débris emportés : même les éléments qui ont été testés et se sont vus attribuer l'indice de résistance à la grêle RG 5 (c.-à-d. qu'ils sont restés intacts après avoir été percutés par des grêlons ayant un diamètre de 5 cm) restent vulnérables aux impacts de tuiles et autres débris de taille comparable (illustration 54).

Malheureusement, les données disponibles ne permettent pas d'examiner la vulnérabilité des éléments de construc-



Illustration 47 : Bâtiment d'habitation construit en 1965, dont la performance énergétique a été améliorée, dans le cadre de travaux de rénovation, au moyen d'une isolation extérieure enduite de crépi. La façade a été lourdement endommagée par des débris emportés par les vents tourbillonnants, certains étant encore plantés dans la façade. En outre, la couverture du toit a été arrachée sur environ un tiers de sa surface. (source : ECAP)



Illustration 48 : Un éclat de tuile est resté planté dans la couche d'isolation extérieure posée sur un bâtiment d'habitation construit en 1965, dont la performance énergétique a été améliorée dans le cadre de travaux de rénovation. Le crépi écaillé laisse bien apparaître le treillis de renforcement bleu, ainsi que le matériau d'isolation (polystyrène) qui a été partiellement poussé vers l'extérieur. Aucun des matériaux utilisés n'a été en mesure de résister à l'impact du fragment de tuile. (source : ECAP)

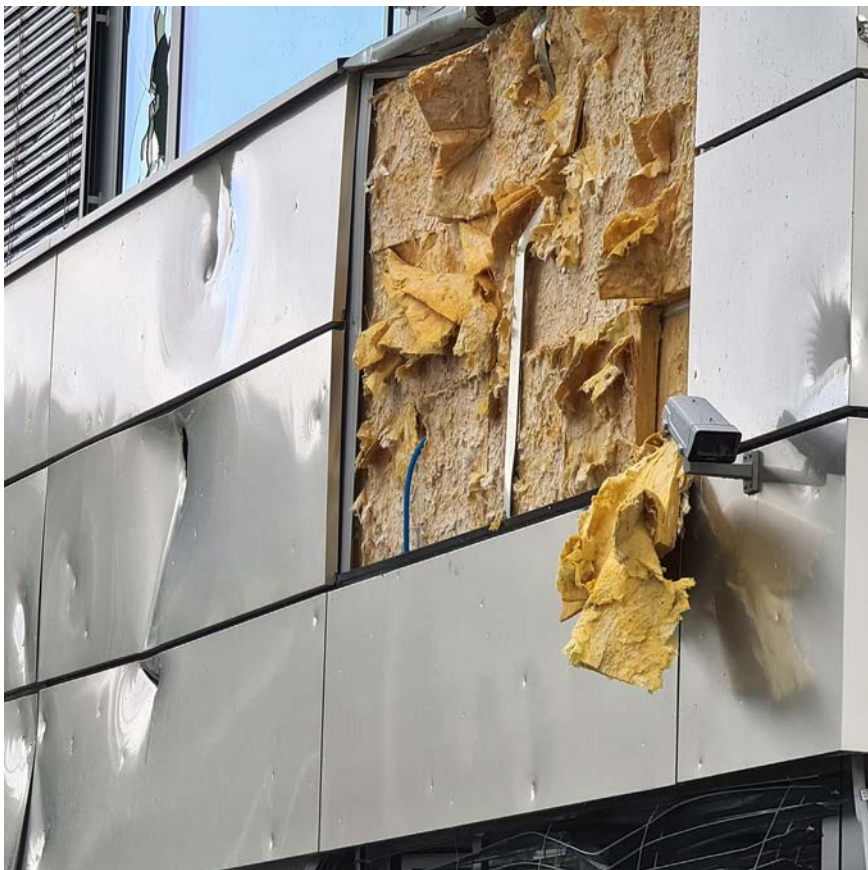


Illustration 49 : Ce bâtiment industriel datant de 2018 présente un type de dommages fréquent : le revêtement de façade en plaques de tôle légère a été arraché, mettant à nu l'isolation extérieure (laine de verre), qui a ensuite été déchiquetée. Les plaques de tôle qui sont restées en place ont été fortement endommagées par des débris emportés par le vent. La caméra de surveillance semble détourner le regard, consternée par ce tableau de désolation. (source : ECAP)



Illustration 50 : Sur un bâtiment d'habitation construit en 1902, un mur en maçonnerie est marqué de fissures. La fissure principale part d'une panne. Conformément à la description des dommages, une partie importante du toit a été endommagée. On peut dès lors supposer que la fissure a été causée par un effet de levier exercé par la poutre sur la maçonnerie, et non par la charge directe du vent sur la maçonnerie. Cela s'accorde avec le fait que la maçonnerie présente une résistance particulièrement faible à la traction transversale. (source : ECAP)

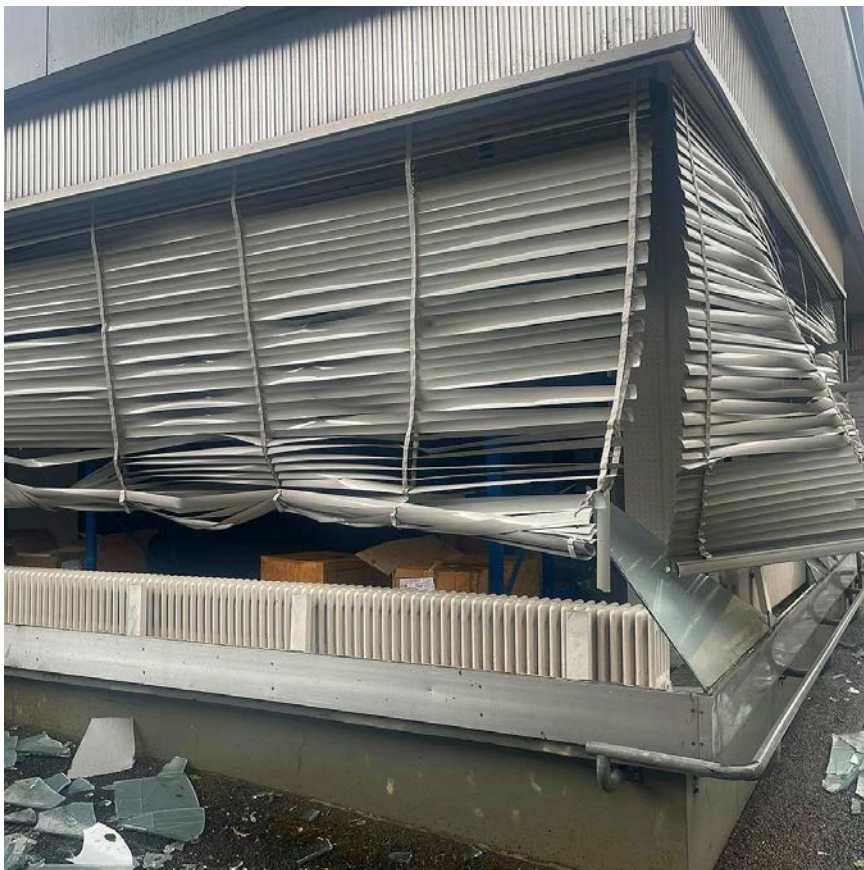


Illustration 51 : Stores à lamelles en métal léger fortement mis à mal par la tempête. Comme l'attestent les éclats de verre jonchant le sol, les fenêtres situées derrière les stores ont également été brisées. (source : ECAP)

tion solaires en fonction de l'année de leur mise en place ainsi que de leur qualité. Certes, l'année de construction de chacun des bâtiments endommagés est en principe connue, mais comme déjà mentionné plus haut, celle-ci ne correspond pas forcément à la date de construction des installations solaires.

Nous renonçons à détailler ici les résultats des analyses qui concernent les autres catégories d'éléments de construction, parce que le nombre de mentions est trop faible ou parce que les courbes correspondantes n'indiquent aucune évolution intéressante en termes de technique de construction.

Pour conclure, au regard des catégories d'éléments de construction examinées, nous nous permettons de formuler ici les suppositions qui nous semblent plausibles quant à l'évolution de la courbe dans le graphique présenté à l'illustration 21 :

- Le pic affiché pour les bâtiments datant du début des années 1950 et le recul de la proportion des bâtiments endommagés pourraient s'expliquer par la vulnérabilité, en cas de tempête, des toits couverts de tuiles et dépourvus d'une sous-couverture. Sur ce

plan, l'avancée des toits disposant d'une sous-toiture ainsi que des toits plats a réduit la vulnérabilité des bâtiments.

- L'augmentation qui s'amorce aux alentours de 1990 est probablement due à une vulnérabilité accrue des bâtiments en lien avec l'avènement, puis la généralisation, des stores, des installations d'énergie solaire, ainsi que de techniques de revêtement des façades plus vulnérables.
- Les raisons du recul à partir de l'année de construction 2013 ne sont pas claires. Il se pourrait qu'il existe un lien avec la situation géographique de ces bâtiments très récents : en effet, les bâtiments les plus récents ont tendance à être situés plutôt à la périphérie des deux villes, tandis que les centres-villes concentrent plutôt des bâtiments d'un certain âge (illustration 55). En raison de la trajectoire de la tempête le long de l'axe du vallon et de la relativement faible largeur du couloir dans lequel il a causé des dommages importants, il est probable que les bâtiments des centres-villes ont été exposés à des vitesses de vent globalement plus élevées que les bâtiments, en moyenne plus récents, situés dans les bordures des villes



Illustration 52 : Dommages sur un volet en bois d'un certain âge : de nombreuses lamelles ont glissé hors du cadre après que l'assemblage formant l'angle inférieur droit s'est désolidarisé. (source : ECAP)



Illustration 53 : Une preuve de la violence de la tempête : un module photovoltaïque arraché s'est transformé en un dangereux projectile. Il a transpercé le revêtement en tôle d'un bâtiment voisin et y est resté planté. Il s'agit probablement d'une installation solaire de balcon qui était fixée de manière insuffisante. (source : ECAP)



Illustration 54 : Module photovoltaïque détruit par des impacts de débris emportés. Les éclats de tuiles qui ont causé le dommage reposent au pied du module. (source : ECAP)

(illustration 62). De plus, c'est également dans les centres-villes que la densité de construction est la plus élevée, ce qui implique aussi que les bâtiments qui s'y trouvent ont été les plus fortement exposés aux impacts de débris emportés. Cette observation pourrait également expliquer le premier maximum sur le graphique présenté à l'illustration 21, sans forcément

supposer que les techniques de construction utilisées pour les bâtiments datant des alentours de 1950 étaient moins résistantes aux tempêtes.

En observant le tableau 1, on peut se demander pourquoi il n'y a eu que deux antennes mentionnées dans les dossiers de dommages, étant donné que celles-ci sont sou-

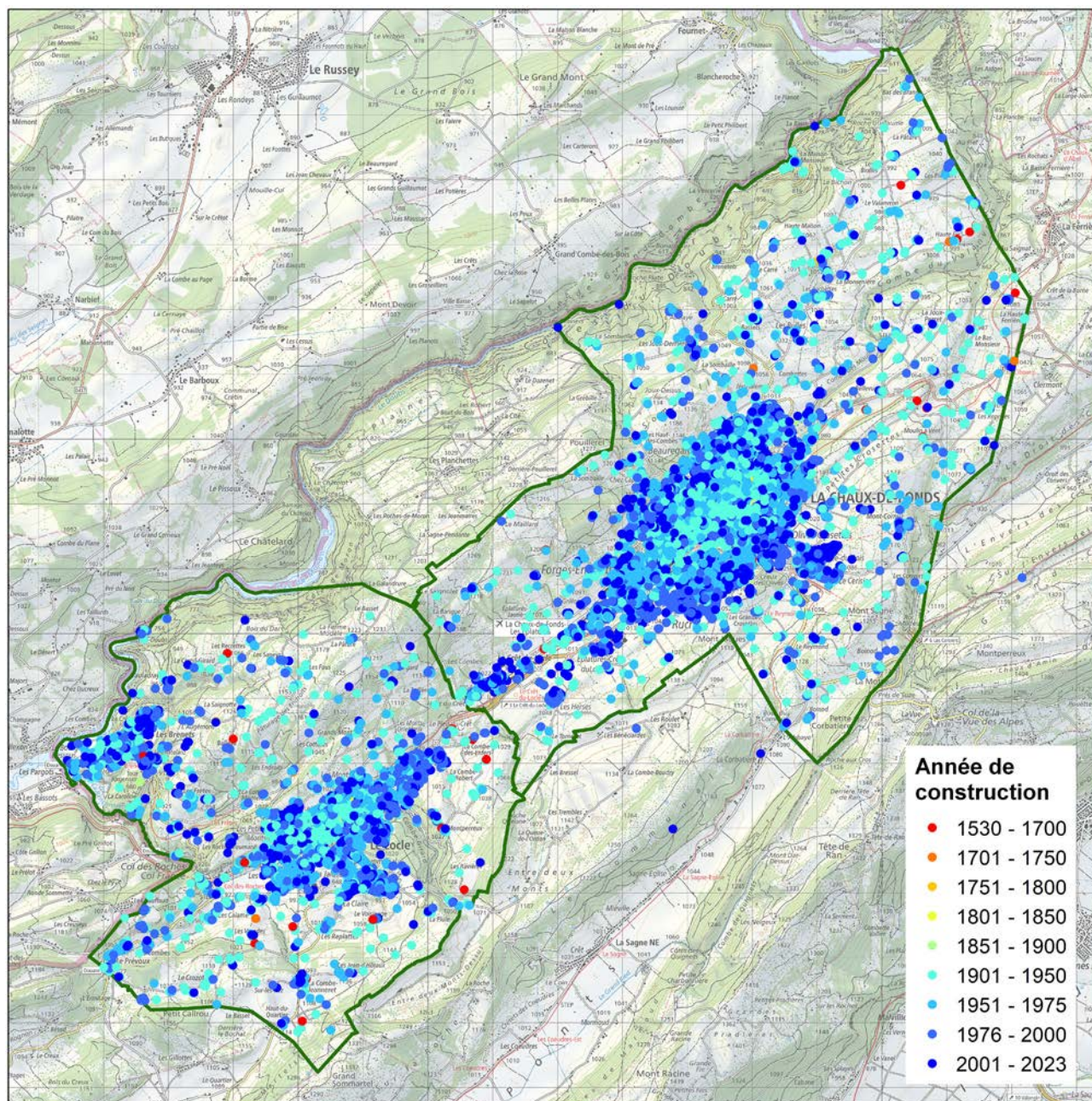


Illustration 55 : Âges des bâtiments situés dans les deux communes examinées : les bâtiments les plus anciens, dont l'année de construction peut remonter jusqu'au 16e siècle, sont symbolisés par une pastille rouge ; les bâtiments les plus récents sont représentés par une pastille bleu foncé. Voir aussi les illustrations 58 à 61, qui montrent le développement urbain. Étant donné que cette carte ne contient aucune information relative aux dommages causés aux bâtiments, aucune agrégation par unité de surface n'a été effectuée. (sources des données : ECAP et swisstopo)

9. Aperçu des tempêtes estivales dévastatrices antérieures

vent fragiles et par ailleurs posées à des emplacements particulièrement exposés aux vents, à savoir sur des toits de bâtiments ou des angles formés par deux façades. Et effectivement, un bon nombre d'antennes endommagées, notamment des antennes paraboliques (illustration 56), apparaissent sur les photos des dommages, ce qui répond déjà à la question...

En effet, l'ECAP n'assure les antennes réceptrices de radio ou de télévision, y compris les amplificateurs, que si le bâtiment ne peut pas être relié au téléseuil (cf. Conditions générales de l'Établissement cantonal d'assurance et de prévention de Neuchâtel, édition 2020). La tempête ayant principalement touché les villes du Locle et de La Chaux-de-Fonds, il est probable que les antennes assurées étaient très rares parmi celles qui ont été endommagées.

La plupart des antennes endommagées sont donc couvertes par l'assurance des biens mobiliers, proposée par les assureurs privés. Il en va de même pour les antennes de téléphonie mobile : même si elles sont installées sur un bâtiment assuré, elles ne sont pas considérées comme faisant partie intégrante de celui-ci, mais doivent être assurées en tant que biens mobiliers.

9. Aperçu des tempêtes estivales dévastatrices antérieures

Avant de nous pencher sur les violentes tempêtes estivales passées, il vaut la peine de jeter un œil à l'évolution urbanistique des deux communes du Locle et de La Chaux-de-Fonds. Dans les deux villes, on constate une augmentation frappante du parc immobilier en l'espace de quelques cent dernières années (illustrations 58 à 61), alors qu'en même temps, les chiffres relatifs à la population n'ont que très peu changé (illustration 57).

Il s'ensuit que pendant cette période, le potentiel de dommages s'est considérablement accru, aussi bien en termes relatifs, par habitant, qu'en termes absolus : dans des zones où les tempêtes du passé causaient principalement des dommages aux forêts, ainsi qu'aux terrains et bâtiments agricoles, celle du 24 juillet 2023 a rencontré des bâtiments artisanaux ou industriels, mais aussi de nouvelles habitations. Cet aspect doit être pris en compte au moment de comparer l'effet destructeur des différents événements.

L'illustration 62 montre les trajectoires des trois grandes tempêtes estivales qui ont touché le secteur géographique



Illustration 56 : Antenne parabolique démolie, sur un bâtiment d'habitation. Étant considérée comme un bien mobilier, elle n'est pas couverte par l'assurance du bâtiment, et elle n'est donc pas non plus mentionnée dans le dossier de dommages de l'ECAP.

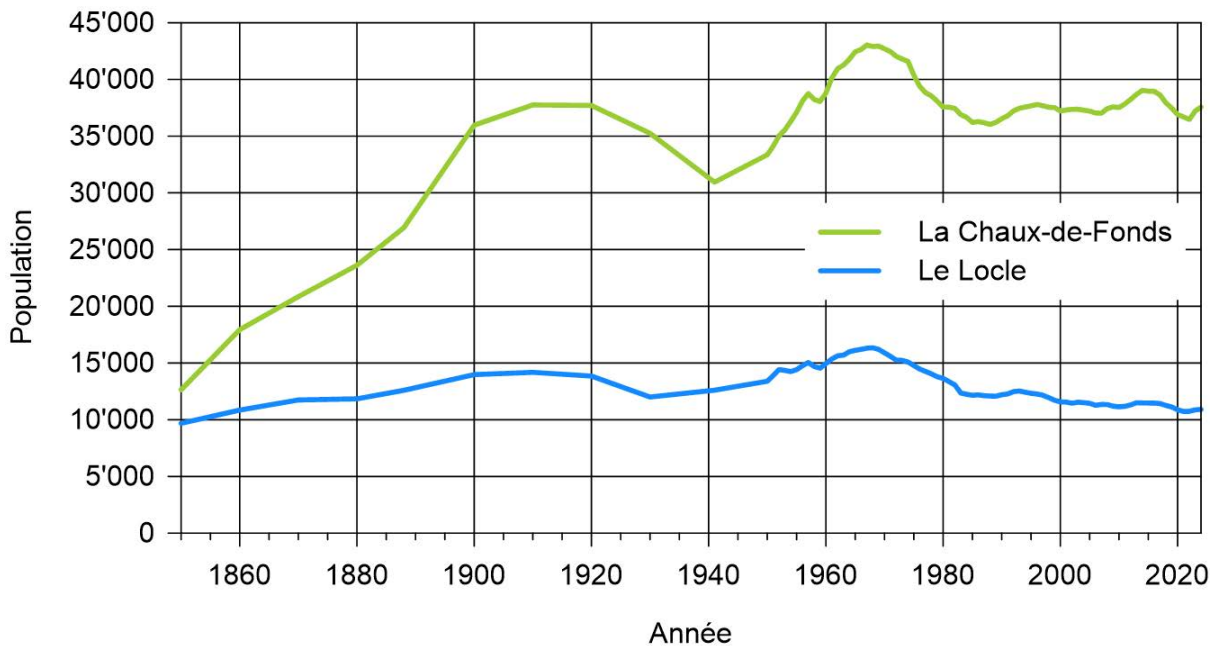


Illustration 57 : Évolution démographique sur le territoire des actuelles communes de La Chaux-de-Fonds et du Locle entre 1850 et 2024. Il est frappant de constater les baisses de la population pendant les périodes de crise allant de 1920 à 1930 et de 1970 à 1985, ainsi que la variation globalement faible de la population au cours des 120 dernières années. (source des données : Office fédéral de la statistique)

étudié et dont nous allons présenter les fiches descriptives. Les trajectoires ont été reconstruites sur la base de ces fiches descriptives et des sources contemporaines. Alors que les tempêtes de 1926 et de 1934 ont principalement traversé des zones d'habitat dispersé (la tornade de 1934 a certes également touché Le Locle, mais à ce moment, elle n'avait pas encore atteint son intensité maximale), l'événement hybride de 2023 s'est déplacé le long du fond du vallon et a traversé les villes du Locle et de La Chaux-de-Fonds dans le sens de leur longueur. Cela explique pourquoi le nombre de bâtiments endommagés en 2023 (plus de 3000) est autrement plus élevé qu'en 1926 ou en 1934 (respectivement 68 et 141 dans le canton de Neuchâtel).

Outre les différences quant aux trajectoires des tempêtes, il convient également de tenir compte de l'augmentation manifeste du nombre de bâtiments entre 1930 environ et 2023, ainsi que de l'évolution au niveau des techniques de construction.

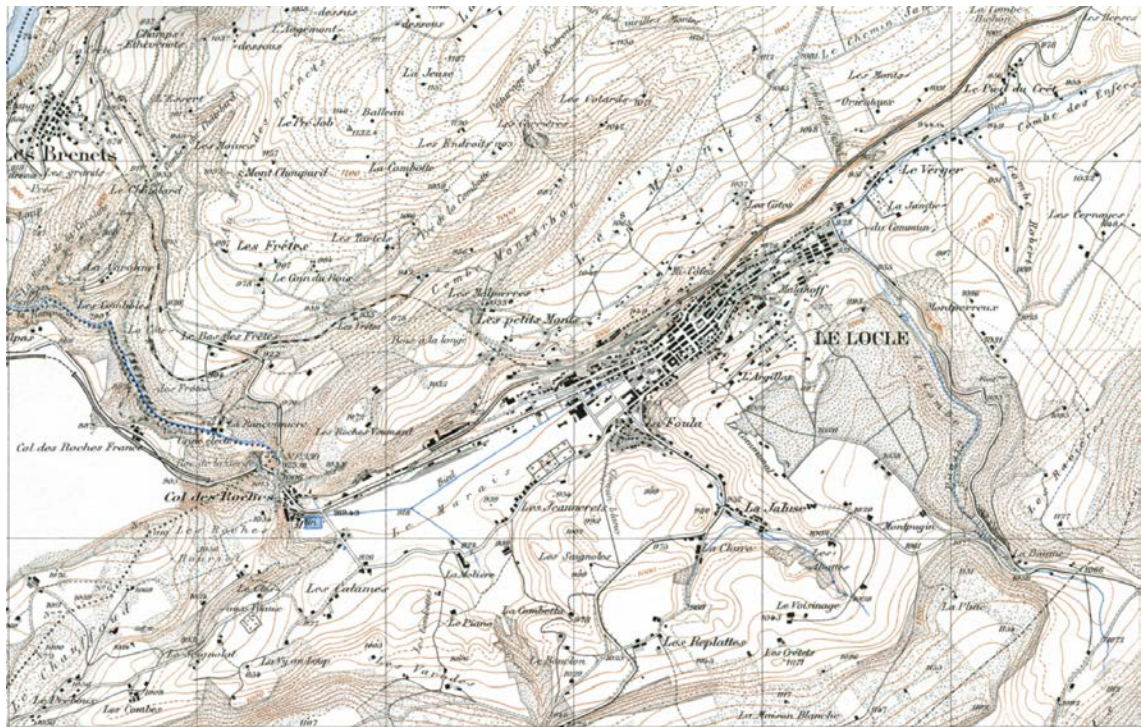


Illustration 58 : Le Locle en 1926 (Atlas topographique de la Suisse, 1 : 25 000) ; quadrillage de 1 x 1 km. Dans les secteurs « Le Marais », au sud-ouest, « Le Verger », au nord-est, ainsi que « La Jaluse », au sud, les bâtiments sont encore peu nombreux. Les Brenets est un village compact. (source : swisstopo)

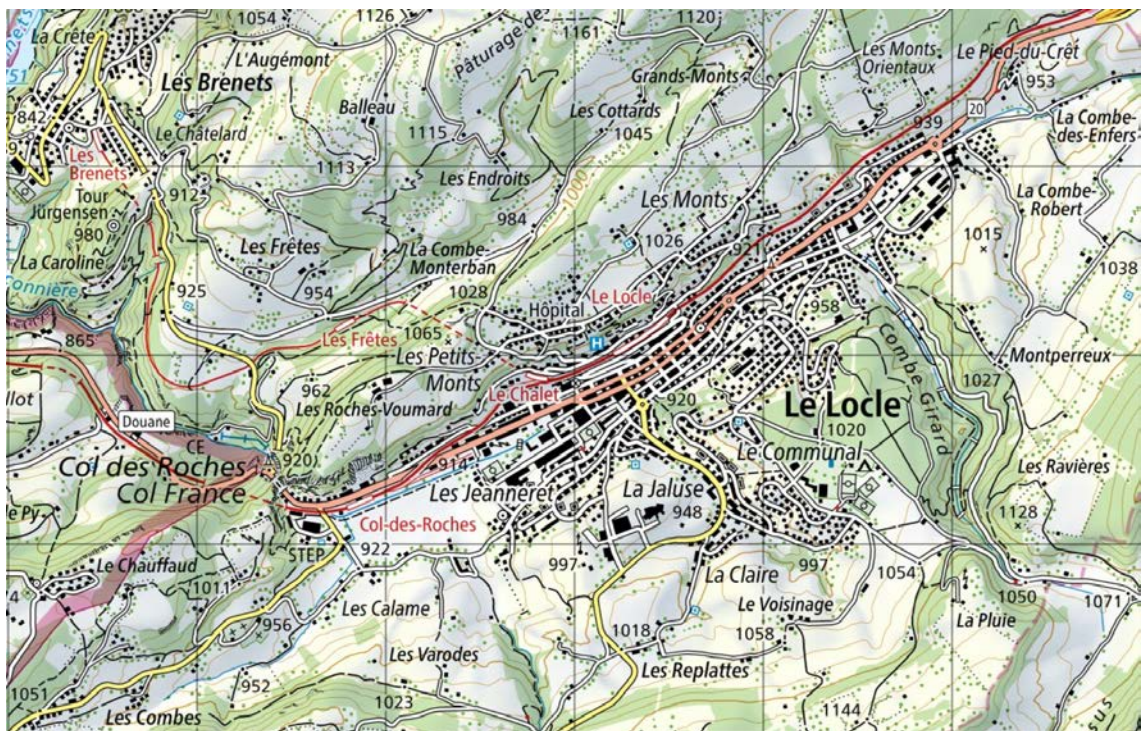


Illustration 59 : Le Locle en 2023 (Carte nationale, 1 : 50 000) ; quadrillage de 1 x 1 km. La croissance de la localité est frappante. Le développement s'est surtout fait dans les bordures de la ville : particulièrement au sud-ouest et au sud, mais aussi au nord-est et sur le coteau ensoleillé au nord-ouest de la ville. Aux Brenets, tout un quartier est apparu au-dessus de La Crête (source : swiss-topo)

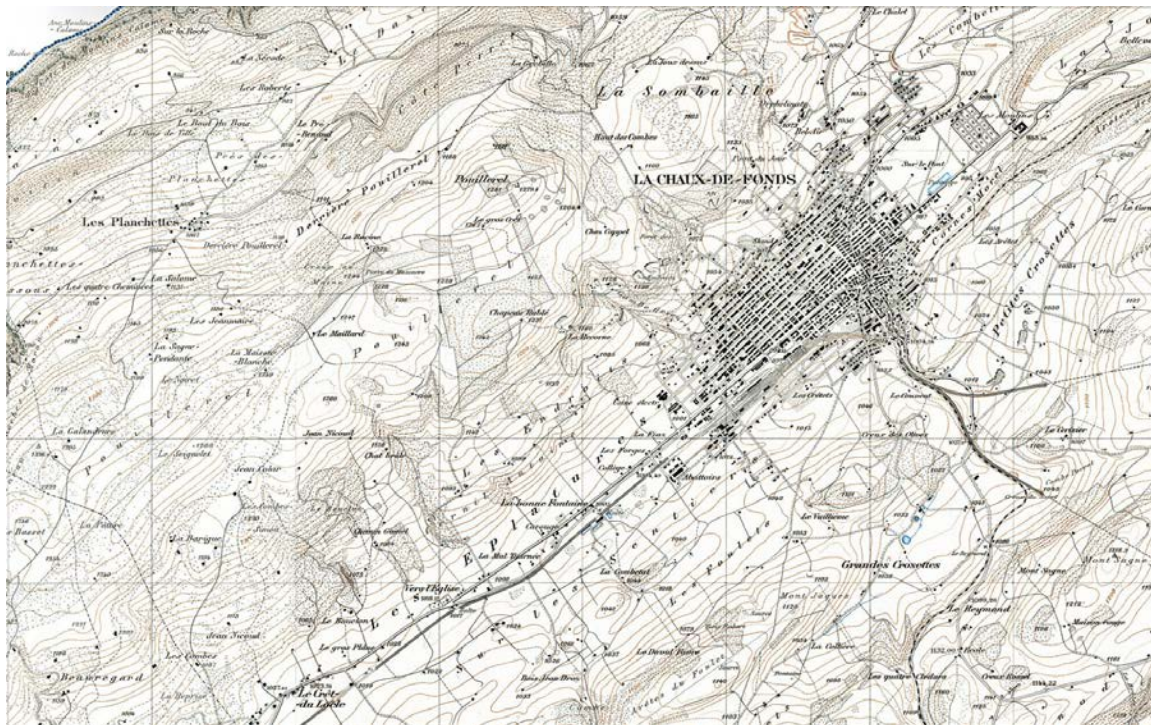


Illustration 60 : La Chaux-de-Fonds en 1926 (Atlas topographique de la Suisse, 1 : 25 000) ; quadrillage de 1 × 1 km. La configuration urbaine est compacte. Au sud-ouest de la ville (Les Éplatures) et au sud de la gare, on observe des bâtiments dispersés. Il en va de même pour le nord-est (Sur le Pont). (source : swisstopo)

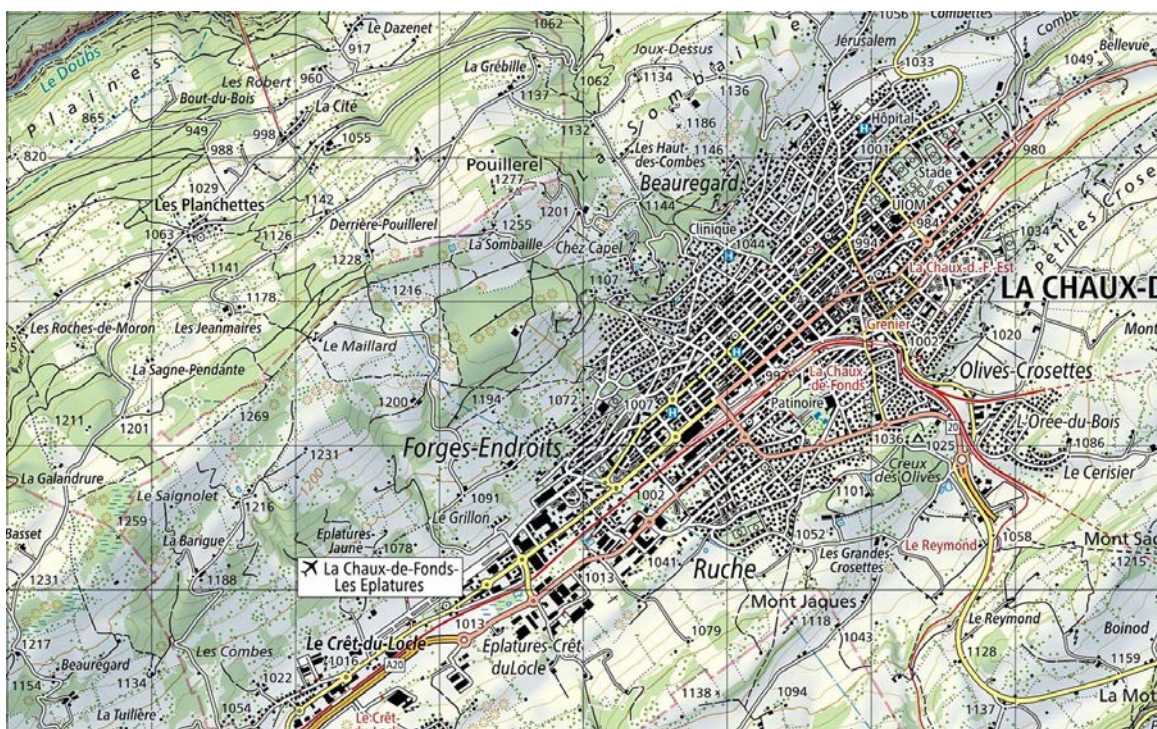


Illustration 61 : La Chaux-de-Fonds en 2023 (Carte nationale, 1 : 50 000) ; quadrillage de 1 × 1 km. La ville s'est développée de tous côtés : dans le fond du vallon, des bâtiments industriels et artisanaux ainsi qu'un aéroport sont apparus au sud-ouest, et de nombreuses installations sportives ont été construites au nord-est, tandis que maints quartiers d'habitation modernes sont venus occuper le secteur situé au sud-est de la gare ainsi que le coteau ensoleillé qui surplombe la ville. La limite d'urbanisation, autrefois très nette, est par endroits devenue plutôt floue. (source : swisstopo)

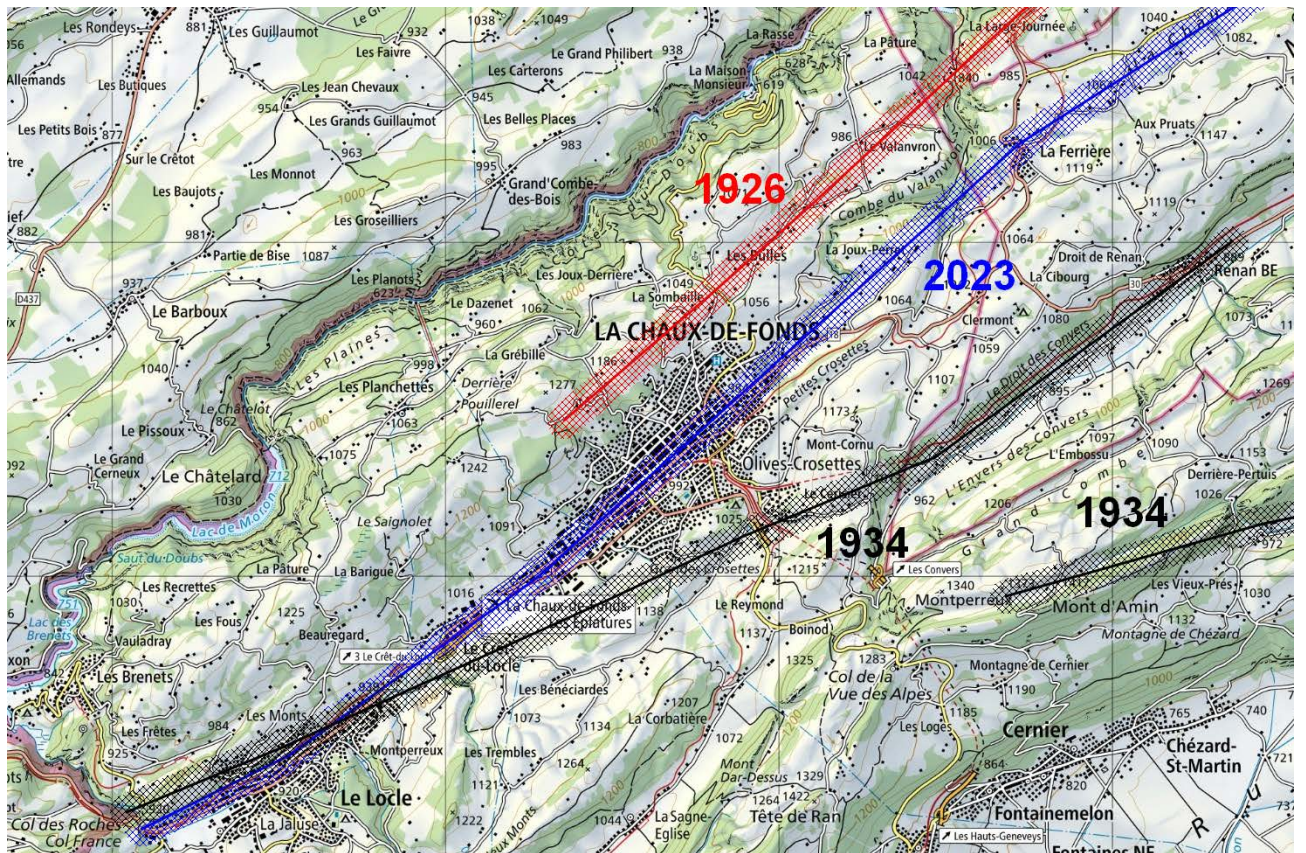


Illustration 62 : Trajectoires approximatives des tempêtes estivales (tornades, rafales descendantes) de 1926, 1934 et 2023 à travers le secteur géographique étudié, telles que reconstruites de différentes sources. (base cartographique : Carte nationale, 1 : 200 000; source : swisstopo)

Fiche descriptive de la tempête du 12 juin 1926

Heure :

Entre 17h30 et 19h15 HEC.

Durée :

Sur un emplacement déterminé, une demi-minute à quelques minutes ; sur l'ensemble de la trajectoire, 20 à 30 minutes.

Type d'événement supposé :

Les sources rapportent que deux cellules orageuses sont entrées en collision au Pouillerel, l'une en provenance de l'ouest, et l'autre du sud, et ont généré une ou plusieurs tornades. Selon la reconstruction, leurs intensités devaient se situer entre F2 (T5) et F3 (T6). Conformément aux observations faites, le contact au sol s'est interrompu à plusieurs reprises, c'est-à-dire que la tornade a fait des « sauts » par-dessus certains tronçons de la trajectoire. Les vents tempétueux ont été accompagnés d'une averse de grêle, avec des grêlons pesant jusqu'à 60 ou 75 g, ce qui correspond à des diamètres de 5 à 5,5 cm. Cependant, les chutes de grêle n'ont commencé qu'au-delà de la frontière du canton de Neuchâtel.

Trajectoire et secteur géographique touché :

Depuis le flanc sud du Pouillerel (soit au nord-ouest de La Chaux-de-Fonds), via La Sombaille, Les Bulles et Le Valanvron, pour passer ensuite au nord de La Ferrière (BE), puis suivre La Chaux d'Abel (BE), jusqu'au nord-est des Breuleux (JU). À partir de là, l'air en rotation (entonnoir nuageux) n'a plus eu de contact au sol. Aucune localité importante n'a été touchée (illustration 62).

Dimensions de la trajectoire :

Longueur d'environ 20 à 30 km ; largeur de 300 à 1100 m ; vitesse de déplacement variant entre 40 et 90 km/h environ, selon des calculs basés sur la longueur de la trajectoire et la durée de l'événement.



Pouvoir de destruction :

Des bâtiments en maçonnerie ont été fortement endommagés, voire en grande partie détruits. Des toits ont été arrachés, y compris la charpente de toit (illustration 63), et des bâtiments en bois ont été entièrement détruits. On estime que plusieurs milliers d'arbres ont été brisés ou déracinés sur une vaste superficie de territoire. L'orientation des arbres couchés était typique d'une circulation d'air tornadique. Une photo publiée dans Herzog & Golaz (1926) montre un épicéa dont les branches ont été enroulées par la tempête, partiellement autour du tronc.

Victimes :

Un garçon de huit ans a été soulevé par la tornade et violemment projeté contre un mur. Il a succombé des suites d'une fracture du crâne, tandis que sa mère, qui était avec lui, a été gravement blessée. Au total, environ 50 personnes ont été blessées, dont bon nombre par la grêle. En outre, un grand nombre de vaches et de chevaux ont également été tués.

Domages aux bâtiments :

Dans le canton de Neuchâtel, 11 bâtiments ont été détruits, et 57 ont subi des dommages. Le montant total des dommages aux bâtiments s'est élevé à environ 401 000 francs. Les dommages ont été indemnisés par le biais d'une collecte de dons cantonale ainsi que d'un fonds spécial de l'assurance incendie. À l'époque, l'établissement cantonal d'assurance neuchâtelois (la « Chambre d'assurance ») ne couvrait pas encore les dommages éléments naturels (Lanz-Stauffer & Rommel, 1936). Dans le canton de Berne (y compris l'actuel canton du Jura), 226 bâtiments ont été endommagés, pour un montant total des dommages d'environ 309 000 francs. Dans le canton de Berne également, l'établissement cantonal d'assurance ne proposait alors pas encore d'assurance éléments naturels ; les dommages ont été indemnisés par le biais d'une collecte de dons de solidarité (« kantonale Liebesgaben-sammlung ») (Lanz-Stauffer & Rommel, 1936).

Particularités :

Grand intérêt médiatique. Dans la base de données UIR sur les dommages, aucune information n'est malheureusement disponible au sujet de l'événement de 1926, car ce dernier s'est produit avant que l'UIR n'introduise la réassurance des dommages éléments naturels.

Illustration 63 : Bâtiment agricole détruit au nord de La Chaux-de-Fonds. L'ensemble de la partie construite en bois a été arrachée. Les décombres sont éparpillés dans un vaste rayon tout autour du bâtiment. (photo : F. Haefeli, La Chaux-de-Fonds)

Fiche descriptive de la tempête du 23 août 1934

Heure :

Environ 17h30 HEC.

Durée :

Au total, environ 40 à 60 minutes, selon des calculs basés sur la longueur de la trajectoire et la vitesse de déplacement estimée (voir plus bas).

Type d'événement supposé :

Au moins deux tornades ont passé au sud de La Chaux-de-Fonds (et une autre s'est produite entre Le Bémont, près de Saignelégier, et St-Brais, localités qui se trouvent aujourd'hui dans le canton du Jura) ; elles étaient comparables aux tornades de 1926, mais moins puissantes ; vers Les Brenets (NE), des grêlons de la taille d'un poing sont tombés.

Trajectoires et secteur géographique touché :

Au moins une tornade est partie du Col des Roches, a traversé Le Locle dans le sens de la longueur, a suivi la Combe des Enfers et Le Foulet pour passer ensuite au sud de La Chaux-de-Fonds en traversant les Grandes Crosettes, pour continuer via Les Convers jusqu'à Renan, dans le canton de Berne. 1 à 2 km plus au sud, une deuxième tornade a suivi le relief du Mont d'Amin et a atteint Le Côté et Le Pâquier sur le flanc sud de cette élévation (illustration 62).

Dimensions de la trajectoire :

Longueur d'environ 20 à 25 km ; largeur allant jusqu'à 1300 m ; vitesse de déplacement estimée : entre 18 et 40 km/h ; vitesse de rotation estimée : entre 108 et 144 km/h.

Victimes :

Un jeune homme de 17 ans est décédé près de Renan (BE) après avoir été frappé par des débris alors qu'il se

trouvait en plein air, et un homme de 50 ans a été paralysé par la foudre et est ensuite décédé à l'hôpital. Deux autres personnes ont été tuées, et au moins trois personnes ont été blessées.

Domages aux bâtiments :

Dans le canton de Neuchâtel, 141 bâtiments ont été touchés, pour un montant total des dommages à hauteur d'environ 186 000 francs. Les dommages ont été pris en charge par la « Chambre d'assurance », soit l'établissement cantonal d'assurance neuchâtelois (Lanz-Stauffer & Rommel, 1936).

S'agissant du canton de Berne, Lanz-Stauffer & Rommel (1936) ne rapportent pas le nombre de bâtiments endommagés, mais on sait que l'établissement cantonal d'assurance a pris en charge des dommages pour un montant total de 49 000 francs.

Particularités :

Le retentissement dans les médias a été surprenamment faible, peut-être par effet d'accoutumance, l'événement de 1926 s'étant produit seulement huit ans plus tôt et ayant été nettement plus puissant. En conséquence, les sources sont peu fournies. En regard de l'événement du 24 juillet 2023, on peut cependant relever la dimension quasiment prophétique d'un article paru le 28 août 1934 dans le quotidien L'Impartial, publié à La Chaux-de-Fonds :

« En 1926 et cette année [1934], la Chaux-de-Fonds est restée en marge de la tourmente. Elle doit cette bonne chance à la direction prise par les tornades. Mais c'est une circonstance fortuite. Il se pourrait, une autre fois, que le sens des vents s'insérât entre la ligne de 1926 et celle de 34. Car on doit se faire à l'idée que le phénomène est susceptible de répétition. Les forces déchaînées lors d'une tornade sont si puissantes qu'on ne voit pas comment on y parerait. Il faut en prendre son parti et s'en remettre aux organisations d'assurances pour couvrir les dégâts. »

Dans ce contexte, on peut comparer les trajectoires représentées à l'illustration 62.

Dans la base de données UIR sur les dommages, aucune information n'est malheureusement disponible au sujet de l'événement de 1934, car ce dernier s'est produit avant que l'UIR n'introduise la réassurance des dommages éléments naturels.



Illustration 64 : Sur les bâtiments d'un établissement de restauration situé à l'ouest de La Chaux-de-Fonds, les surfaces de toiture ainsi que des éléments de façade en bois ont été arrachés. (photo : F. Haefeli, La Chaux-de-Fonds)

Fiche descriptive de la tempête du 24 juillet 2023

Heure :

Environ 11h25 HEEC (= 10h25 HEC)

Durée :

Sur un emplacement déterminé, environ 4 à 6,5 minutes ; sur l'ensemble de la trajectoire, très forte intensité pendant environ 90 minutes.

Type d'événement supposé :

Événement hybride : rafale descendante accompagnée d'une tornade ; la grêle n'a joué qu'un rôle mineur.

Trajectoire et secteur géographique touché :

Depuis Salins-les-Bains (F), via Aubonne (F) puis Mor-teau (F), pour traverser la frontière au Col des Roches puis traverser dans le sens de la longueur Le Locle (NE) ainsi que La Chaux-de-Fonds (NE) (intensité maximale de la rafale descendante), gagner ensuite La Ferrière (BE), suivre la Montagne du Droit en s'affaiblissant et aller s'épuiser au-delà de Tramelan (BE) (illustration 62).

Dimensions de la trajectoire :

Longueur d'environ 100 km ; largeur allant jusqu'à 2,5 km (ce qui correspond à la définition d'un microburst / d'une microrafale) ; rafale maximale de 217 km/h sur 1 seconde, enregistrée sur le site de l'aérodrome régional des Éplatures ; vitesse de déplacement pouvant atteindre 85 km/h, avec une moyenne d'environ 67 km/h.

Pouvoir de destruction :

Des toits, des éléments de toiture, des éléments de façade et des panneaux photovoltaïques ont été arrachés, des

vitres ont été brisées, certains bâtiments construits de manière peu résistante ont été détruits (illustration 65), trois pylônes de ligne électrique aérienne à haute tension ainsi qu'une grue de chantier ont été renversés, des camions ont été couchés sur le côté, et des voitures et des bâtiments ont été endommagés par des arbres renversés, des impacts de débris emportés ou des tuiles tombant des toits. Environ 1600 hectares de forêt ont été dévastés ; sur le flanc situé au sud de la trajectoire, les arbres couchés sont principalement orientés de manière parallèle, ce qui est un indice pour des rafales descendantes, tandis que le long du flanc situé au nord, des motifs convergents suggèrent la présence d'une circulation tornadique (Météo-Suisse parle d'un « événement hybride »).

Victimes :

À La Chaux-de-Fonds, un homme de 50 ans a été tué par la chute d'une grue de chantier sur sa voiture ; environ 45 personnes ont été blessées.

Domages aux bâtiments :

Dans les deux communes neuchâtelaises de La Chaux-de-Fonds et du Locle, plus de 3000 bâtiments ont été endommagés ; le montant total des dommages aux bâtiments a dépassé 130 millions de francs. Ce montant est conjointement pris en charge par l'Établissement cantonal d'assurance et de prévention de Neuchâtel ECAP, l'Union intercantonale de réassurance UIR et la Communauté intercantonale de risques éléments naturels CIREN.

Particularités :

L'événement a connu un fort retentissement dans les médias. Il s'est produit un lundi pendant les vacances scolaires et vacances horlogères. Ces dernières constituent une fermeture annuelle traditionnelle des entreprises relevant du secteur de l'horlogerie. Il est probable que cette circonstance explique pourquoi le nombre de victimes humaines n'a pas été plus élevé.

L'ECAP a constaté qu'une proportion significative des dommages aux bâtiments n'ont pas été causés par l'action mécanique directe des rafales, mais de manière indirecte par des gravillons soulevés sur des toits plats et par des fragments d'éléments de construction arrachés, que le vent a projetés contre d'autres bâtiments (impacts de débris emportés).



Illustration 65 : Bâtiment industriel gravement endommagé au Crêt-du-Loclc ; les dommages concernent la couverture du toit ainsi que des éléments de façade et des parois. (source : ECAP)

10. Mesures de prévention

Il serait déplacé de se saisir d'un événement majeur tel que celui qui a frappé la région de La Chaux-de-Fonds le 24 juillet 2023, et dont la puissance a largement dépassé les valeurs sur lesquelles sont fondées les normes SIA en matière de résistance au vent, pour formuler des reproches et revendiquer de plus fortes mesures de prévention. Dans un pareil cas, en effet, c'est en premier lieu la prise en charge des dommages par l'établissement cantonal d'assurance qui doit entrer en action. Les données relatives aux dommages permettent néanmoins de formuler quelques conclusions utiles en matière de prévention des dommages éléments naturels :

Toits

La fixation de la couverture de toit doit faire l'objet d'une attention particulière, par exemple en assurant, à l'aide de crochets de fixation appropriés, les tuiles de bordure et les tuiles ou tôles formant les rives, en veillant à ce que les garnitures des bords des toits soient étanches au vent, en utilisant des clous de fixation rainurés ou torsadés, voire des vis, au lieu de clous lisses, et en contrôlant les couvertures des toits plats. Dans ce contexte, la solidarité entre la sous-construction qui sert de support et la couverture est déterminante, sachant que la solidité de l'assemblage dépend de l'élément de construction le plus faible de l'ensemble. Les dispositions de la SIA en la matière (norme SIA 232/1) visent précisément ce point.

Façades

Les dommages annoncés à l'Établissement cantonal d'assurance et de prévention de Neuchâtel ECAP comprennent d'innombrables éléments de façade arrachés des enveloppes de bâtiments modernes ; le message de cette observation est on ne peut plus clair : bon nombre de revêtements de façade n'étaient pas en mesure de résister aux forces extraordinaires que la tempête du 24 juillet 2023 a exercées sur eux (illustrations 15 et 49). Lorsqu'un revêtement de façade comprend sur de grandes surfaces des éléments ventilés par l'arrière, il convient, autant que possible, soit de réaliser ce revêtement de façade de manière fermée le long des angles du bâtiment, soit de le dimensionner pour des forces d'action du vent très élevées (cf. norme SIA 232/2). Entre autres, la qualité des points de fixation (solidité, résistance à la corrosion) doit faire l'objet d'une attention particulière (Weidmann, 2010).

Entretien insuffisant

Une attention suffisante doit être portée à l'entretien des bâtiments. Des tuiles endommagées ou manquantes permettent aux vents tempétueux ainsi qu'aux eaux de pluie de pénétrer dans le bâtiment. Et si des éléments en bois faisant partie de la structure porteuse ou de la sous-construction du toit sont pourris, ils affaiblissent la solidité de l'assemblage entre ces structures et l'enveloppe protectrice du bâtiment. Ainsi, un bâtiment que l'on croyait être étanche peut être ouvert par les vents, ce qui augmente sensiblement la probabilité des dommages.

Impacts de débris emportés

Dans le cadre de cet événement concret, le montant total des dommages aurait été sensiblement plus bas si les impacts de débris emportés avaient pu être évités. Les données disponibles ne permettent pas de chiffrer la part exacte des coûts engendrés par des débris emportés, mais les dossiers de dommages comprennent un nombre important de dégâts imputables à ce phénomène : maints dommages survenus sur des enveloppes de bâtiment, que ce soit sur une façade, sur des coupoles d'éclairage ou sur des fenêtres et des portes, ont été causés par des débris (tuiles, éléments de revêtement de façade, tôles diverses, gravier soulevé sur des toits plats, branches, etc.) provenant de parcelles voisines. Dans ces cas, les propriétaires sinistrés sont largement impuissants, et il serait important de parler ici des devoirs incombant aux propriétaires des bâtiments qui ont « fourni » les débris (à savoir : qualité en matière de construction, ainsi qu'entretien des bâtiments).

Les normes de la SIA relatives à la sécurité des structures porteuses (norme SIA 261) définissent quelles forces de pression du vent doivent être prises en compte en fonction de l'emplacement géographique. Elles permettent de déduire les exigences applicables en matière de résistance des bâtiments aux tempêtes et de résistance de leurs éléments de construction (débris potentiels). Le respect de ces exigences relève du champ de compétence des maîtres d'ouvrage.

À côté des éléments de construction vulnérables par rapport aux effets des vents tempétueux, il convient également de porter l'attention sur les objets non arrimés qui font partie de l'environnement des bâtiments : les tables et chaises de jardin, les étendages, les pots de fleurs, les grills mobiles et autres trampolines peuvent être saisis par le vent et projetés contre des bâtiments voisins, y causant fréquemment des dommages sur l'enveloppe du bâtiment (illustration 66).



Illustration 66 : Voici un classique en matière d'impacts de débris emportés : un trampoline de jardin soulevé par la tempête. Les bâtiments voisins ne sont pas seulement susceptibles d'être endommagés par des éléments et débris arrachés sur un bâtiment donné, mais aussi par des objets non arrimés situés dans son environnement. (source : ECAP)



Illustration 67 : Plusieurs arbres ont été renversés, y compris leurs assiettes racinaires organisées de manière très horizontale (sans doute principalement des hêtres rouges). Par chance, ils ont tous chuté dans la direction opposée aux bâtiments tout proches. (source : ECAP)

11. Résultats, conclusions et perspectives

Chute d'arbres et d'installations techniques

Les mesures de prévention contre les dommages occasionnés par le chablis (chute d'arbres entiers) et la chute d'installations techniques ne devraient raisonnablement pas être ciblées sur le renforcement des objets menacés, mais plutôt sur la résistance des objets risquant d'être renversés.

S'agissant d'arbres situés dans le voisinage de bâtiments, les mesures suivantes sont particulièrement recommandées :

- tailler les branches susceptibles de battre contre le bâtiment en cas de vent fort ;
- surveiller l'état de santé des arbres environnants (présence de champignons, tronc creux, branches mortes, santé des racines), de préférence par des professionnels en la matière.

La stabilité des arbres en termes d'ancrage dans le sol par leurs racines est particulièrement difficile à évaluer. Le 24 juillet 2023, de nombreux arbres ont été renversés, y compris leurs assiettes racinaires (illustration 67), causant des dommages sur maints bâtiments. Les essences à racines peu profondes sont particulièrement exposées à ce phénomène, donc notamment les épicéas, les cyprès, les saules, les bouleaux, les pommiers, les poiriers, ainsi que, dans une moindre mesure, les hêtres rouges. À cause de l'organisation très horizontale de leurs racines, ils sont particulièrement sujets au chablis. Il s'ensuit qu'à proximité des bâtiments, il est recommandé d'opter pour des essences qui s'enracinent profondément. En font entre autres partie les sapins blancs, les pins, les mélèzes, les ifs, les tilleuls, les noyers ou encore les cerisiers. Mais indépendamment de l'organisation racinaire typique, la stabilité de l'arbre dépend également de l'état de santé de ses racines.

De manière générale, les feuillus ainsi que les forêts diversifiées sont plus résistants à la tempête que les résineux et les peuplements réguliers (monocultures) (cf. OFEV, 2008). Dans la mesure où il ne s'agit pas de peuplements qui se sont implantés de manière naturelle (forêts, bois), mais d'arbres qui ont été plantés de main humaine, les propriétaires assument une responsabilité envers les bâtiments avoisinants. Ils sont tenus d'être attentifs aux indices extérieurs révélant des faiblesses et, le cas échéant, d'entreprendre les actions nécessaires. En revanche, ils ne peuvent pas être rendus responsables pour les arbres renversés qui ne présentaient aucun signe de faiblesse (<https://www.hev-schweiz.ch/eigentum/baubereich/haftung/haftung-sturmschaeden>, consulté le 28 juillet 2025).

S'agissant des installations techniques telles que les mâts, pylônes ou grues de chantier, les propriétaires ou exploitants sont responsables d'en assurer la stabilité. Nous renonçons à approfondir ce sujet dans le cadre de la présente publication, qui est axée sur les éléments naturels en tant que causes de dommages aux bâtiments.

De plus amples informations concrètes en matière de mesures de protection et de prévention sont disponibles sur le site Internet www.protection-dangers-naturels.ch de l'Association des établissements cantonaux d'assurance incendie AEAI et de ses partenaires.

11. Résultats, conclusions et perspectives

La tempête estivale du 24 juillet 2023 a démontré à quel point des événements tempétueux extrêmes peuvent causer d'énormes dommages dans des zones présentant une forte densité de construction. L'analyse de plus de 3000 dossiers de dommages relatifs à des bâtiments a pu faire émerger, en combinaison avec des analyses météorologiques, des analyses SIG et une vaste documentation photographique mise à disposition par l'Établissement cantonal d'assurance et de prévention de Neuchâtel ECAP, le constat suivant : outre l'intensité véritablement extraordinaire de la tempête, des fragilités intrinsèques du parc immobilier ont également contribué à gonfler le montant total des dommages. Et on peut en tirer plusieurs conclusions d'ordre général.

Sur la base des expériences récoltées en lien avec les dommages traités, l'ECAP est arrivée à la conclusion qu'au sein du secteur de la construction, la sensibilisation aux dangers naturels est encore insuffisante. Malgré les normes en vigueur, l'optimisation des coûts est souvent trop fortement mise en avant dans le cadre de la planification, de la réalisation et de l'entretien des bâtiments, au détriment de leur robustesse. Cela n'est pas seulement valable pour les bâtiments d'un certain âge, mais également pour des bâtiments plus récents. Weidmann (2010) s'était déjà exprimé en ce sens, et son point de vue reste pleinement valable jusqu'à ce jour :

« 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 [causés] par une tempête [lorsqu'un] bâtiment [est] de qualité médiocre. »

Dans le même ordre d'idées, Zimmerli & Hertig (2009) constatent pour leur part :

« [II] faut impérativement confier la conception et l'exécution de l'enveloppe des bâtiments à des spécialistes (compétents). Choisir le prestataire le meilleur marché en escomptant que les assurances indemniseront les dégâts éventuels est imprudent et immoral. »

Résultats en matière de qualité des constructions et de choix des matériaux

De nombreux dommages sont imputables à une fixation insuffisante d'éléments du toit ou de la façade, à des revêtements extérieurs vulnérables, ou encore à des techniques de construction légères. Certains éléments de construction modernes, notamment les stores, les installations d'énergie solaire ou encore les façades ventilées, sont particulièrement vulnérables et augmentent le risque de dommages.

Impacts de débris emportés

Une part importante des dommages a été causée de manière indirecte, à savoir par des éléments de construction que la tempête a arrachés sur des bâtiments voisins et ensuite transportés. Dans les zones présentant une densité de construction élevée, ce risque augmente de manière considérable. Les actions de prévention devraient donc tenir compte du risque que représentent les impacts de débris emportés et promouvoir des modes de fixation éprouvés des divers éléments de construction.

Influence du degré d'exposition

Les bâtiments situés à des emplacements géographiques exposés (coteaux, élévations de terrain) ont été touchés de manière particulièrement fréquente et forte. Dès lors, les concepts de prévention devraient également prendre en compte de manière systématique le degré d'exposition des sites considérés. La carte relative aux vents qui figure dans la norme SIA 261 est probablement trop optimiste lorsqu'il s'agit d'emplacements exposés.

Importance de l'entretien des bâtiments

En moyenne, les bâtiments bien entretenus ont subi de moindres dommages. Il en découle que le bon entretien de l'enveloppe des bâtiments ainsi que de ses points de fixation constitue un prérequis essentiel quant à la résistance des bâtiments aux vents.

Sensibilisation à la problématique des dangers naturels

La tempête a mis en lumière le fait que dans le secteur de la construction, la prévention des dommages éléments naturels ne jouit pas encore de toute l'attention requise. Les mesures suivantes peuvent contribuer à combler cette lacune :

- systématiquement, responsabiliser les maîtres d'ouvrage à un stade précoce des projets ;
- sachant que le critère décisif consiste en la qualité de la planification et de la réalisation, et non dans le simple respect des exigences minimales définies par les normes, faire appel à des professionnels spécialisés et compétents, notamment lorsqu'il s'agit d'enveloppes de bâtiment complexes ou de travaux de rénovation visant une amélioration de la performance énergétique ;
- investissement ciblé des établissements cantonaux d'assurance dans la promotion des actions de prévention, par exemple au moyen d'offres de conseil, de mesures incitatives, voire de la définition d'exigences ; en effet, pour que la prise en compte des risques ainsi que la réalisation des potentiels de protection et de prévention progressent, des mesures d'information et de sensibilisation supplémentaires sont nécessaires.

Poursuite du développement des normes et directives

Au vu de l'élévation des températures moyennes en lien avec les changements climatiques, il faut s'attendre à ce que la charge énergétique des cellules orageuses aille en augmentant. Dès lors, il faut compter avec des tempêtes à la fois plus fréquentes et plus intenses. Dans ce contexte, il est recommandable de procéder, à intervalles rapprochés, à des vérifications :

- des normes relatives à l'action du vent (norme SIA 261) ;
- des exigences à satisfaire par les systèmes de toiture (norme SIA 232/1), par les systèmes de façade (norme SIA 232/2) ainsi que par les installations photovoltaïques ;
- des standards de prévention, particulièrement dans les zones présentant une densité de construction élevée.

Remarque finale

L'événement hybride du 24 juillet 2023 a clairement démontré que les techniques de construction robustes et les mesures de prévention systématiques constituent deux éléments fondamentaux en vue d'un développement urbain résilient. Les établissements cantonaux d'assurance, les bureaux de planification, les maîtres d'ouvrage ainsi que les autorités portent conjointement la responsabilité d'entreprendre les actions nécessaires. En regard des événements futurs, la vulnérabilité ne peut être réduite que si des efforts ciblés et systématiques sont consentis pour continuer de faire évoluer l'art de construire et l'adapter en permanence aux développements affectant l'environnement (changement climatique).

12. Remerciements

L'auteur remercie très chaleureusement l'Établissement cantonal d'assurance et de prévention de Neuchâtel ECAP pour l'agréable collaboration, pour son soutien et pour sa mise à disposition d'une vaste documentation sous forme d'images et de données.

Il adresse des remerciements particuliers à :

- Monsieur Jean-Michel Brunner, directeur de l'Établissement cantonal d'assurance et de prévention de Neuchâtel
- Monsieur Massimo Vitalba, responsable du secteur Assurance au sein de l'Établissement cantonal d'assurance et de prévention de Neuchâtel
- Monsieur Pascal Eschmann, ancien responsable du secteur Assurance au sein de l'Établissement cantonal d'assurance et de prévention de Neuchâtel
- Monsieur Cédric Richard, expert sinistres auprès de l'Établissement cantonal d'assurance et de prévention de Neuchâtel

13. Bibliographie

13. Bibliographie

Aller, D., Egli, T., Kozłowski, E. & Kubli, S. (2005) : Inondations août 2005 ; Analyse des dommages un mois après. Union intercantonale de réassurance, Berne. 24 p.

OFEV (2008) : Aide-mémoire en cas de dégâts de tempête ; Aide à l'exécution pour la maîtrise des dégâts dus à des tempêtes en forêt classées d'importance nationale. L'environnement pratique n° 0801. Office fédéral de l'environnement, Berne. 3^e édition revue. 245 p.

Bossard, M. & Chavan, J. P. (2006) : Nos lieux-dits ; Toponymie romande. Éditions Cabédita, Yens-sur-Morges. 324 p.

Egli, T. (2007) : Recommandations : Protection des objets contre les dangers naturels météorologiques. Association des établissements cantonaux d'assurance incendie AEAI (éd.), Berne. 146 p.

Herzog, J. L. & Golaz, C. (1926) : Le cyclone orageux du 12 juin 1926. Annales de l'Institut suisse de météorologie, 1926, annexe n° 3.

Imhof, M. (2017) : Guide du nouveau code d'affectation. Union intercantonale de réassurance, Berne. 12 p. (disponible uniquement au format PDF.)

Imhof, M. (2023) : Les intempéries de l'été 2021 en Suisse ; Analyse d'événements. Union intercantonale de réassurance, Berne. 34 p.

Imhof, M. & Heuberger, S. (2008) : Analyse des événements : Inondations des 8 et 9 août 2007. Union intercantonale de réassurance, Berne. 27 p.

Imhof, M. & Choffet, M. (2012) : Analyse des événements : Grêle 2009 ; Étude des orages de grêle du 26 mai et du 23 juillet 2009. Union intercantonale de réassurance, Berne. 51 p.

Imhof, M., Nicolet, P., Voumard, J. & Jaboyedoff, M. (2015) : Analyse des événements : Grêle 2011 ; Étude de l'orage de grêle des 12 et 13 juillet 2011 dans le canton d'Argovie. Union intercantonale de réassurance, Berne. 62 p.

Lanz-Stauffer, H. & Rommel, C. (1936) : Elementarschäden und Versicherung ; Studie des Rückversicherungsverbandes kantonal-schweizerischer Feuerversicherungsanstalten zur Förderung der Elementarschadenversicherung. Vol. II, Berne. 1154 p.

Owen, J. S. (2015) : Windborne Debris in the Urban Environment. Technical Transactions, Civil Engineering ; 7th International Symposium on Environmental Effects on Buildings and People : Actions, Influences, Interactions, Discomfort. Kraków. pp. 145 à 165.

Peyraud, L., Untersee, A., Vogt, S., Stoll, M., Galliker, B. & Bey, I. (2024) : Orage dévastateur du 24 juillet 2023 à La Chaux-de-Fonds. Rapport technique MétéoSuisse N° 287, Zurich. 56 p.

Piaget, A. (1976) : L'évolution orageuse au nord des Alpes et la tornade du Jura vaudois du 26 août 1971. Publications de l'Institut Suisse de la Météorologie. 100 p.

Riedo, M., Vallet, J., Fournier, H., Ulrich, D. & Allaz, G. (2024) : Cartographie d'urgence pour la documentation et la gestion des risques naturels avec l'exemple de la tempête du 24 juillet 2023 à La Chaux-de-Fonds. <https://sitn.n.ch/web/t240723/article.pdf>, consulté le 13 août 2025. 9 p.

Schröer, K., Trefalt, S., Hering, A. Germann, U. & Schwierz, C. (2022) : Hagelklima Schweiz ; Daten, Ergebnisse und Dokumentation. Rapport technique MétéoSuisse N° 283, Zurich. 82 p.

SIA (éd. ; 2011) : norme SIA 232/1 : Toitures inclinées. Société suisse des ingénieurs et des architectes, Zurich. 40 p.

SIA (éd. ; 2011) : norme SIA 232/2 : Bardages Société suisse des ingénieurs et des architectes, Zurich. 24 p.

SIA (éd. ; 2014) : norme SIA 261 : Actions sur les structures porteuses. Société suisse des ingénieurs et des architectes, Zurich. 136 p.

Weidmann, M. (2010) : 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. Fondation de prévention des établissements cantonaux d'assurance (éd.), Berne. 68 p.

WSL & OFEFP (éd. ; 2001) : Lothar : Der Orkan 1999 ; Ereignisanalyse. Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage, Birmensdorf, et Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, Berne. 414 p.

Zimmerli, B. & Hertig, J. A. (2009) : Prévention des dégâts dus au vent – Recommandations à l'attention des maîtres d'ouvrages. Documentation de la conférence « Protection des bâtiments contre le vent », le 17 septembre 2009, à Lucerne. 4 p.

Annexe

Code d'affectation

1199 – Bâtiments d'habitation

Maisons individuelles et à plusieurs logements, résidences secondaires, fermes affectées essentiellement à l'habitat, foyers d'étudiants, maisons de retraite, foyers pour sans-abris, maisonnettes de jardin pouvant accueillir des personnes

1219 – Hébergement et restauration

Hôtels, motels, auberges, restaurants, tea-rooms, bars, fast-foods, restaurants universitaires, cantines, cabanes CAS, auberges de jeunesse, pensions de famille, maisons de colonie de vacances, bungalows de vacances

1220 – Bâtiments administratifs

Immeubles de bureaux, banques, bureaux de poste, bâtiments du gouvernement, bâtiments administratifs, palais de justice, centres de conférences

1230 – Bâtiments commerciaux

Boutiques et magasins, pharmacies, drogueries, centres commerciaux, marchés cash and carry, halles de foire, de marché et d'exposition, stations-service, kiosques

1241 – Communication et transport

Centres de télécommunications, centrales téléphoniques, studios de radio et de télévision, installations d'émission, gares, dépôts de trains, de bus et de tramways, postes d'aiguillage, bâtiments aéroportuaires, stations de funiculaire, de téléphérique, de télésiège et de télésiège, bâtiments de compagnies de navigation, bâtiments des services d'entretien des ponts et des chaussées, abribus, ponts couverts

1242 – Garages

Bâtiments pour le stationnement de véhicules, tels que parkings, garages souterrains, auvents pour voiture, hangars à bateau, remises à vélos et abris pour machines agricoles

1252 – Entrepôts

Bâtiments d'entreposage, dépôts, réservoirs d'huile et de gaz, entrepôts frigorifiques, halles de chargement, remises à outils, silos (mais non dédiés à l'agriculture)

1259 – Industrie et artisanat

Fabriques, halles d'assemblage, entreprises de transformation, ateliers, abattoirs, laiteries, pépinières et leurs serres, installations de séchage de céréales et d'herbe, réservoirs d'eau, stations de pompage, stations d'épuration, centrales électriques, installations de chauffage urbain, postes de transformation, usines d'incinération des dé-

chets, centres de recyclage, stations de lavage, chantiers navals, exploitations commerciales de recherche et de développement, ateliers protégés

1263 – Enseignement

Crèches, bâtiments scolaires, établissements spécialisés, bâtiments d'internat, hautes écoles spécialisées, ateliers de formation, bâtiments universitaires, bâtiments pour l'enseignement et la recherche, laboratoires de recherche, observatoires

1264 – Santé

Hôpitaux, sanatoriums, bâtiments d'hébergement hospitaliers, pharmacies d'hôpital, établissements médico-sociaux et foyers pour personnes handicapées avec personnel soignant / médical (pas de simples foyers), hôpitaux psychiatriques, bâtiments de thérapie, maternités, locaux d'injection, cabinets médicaux et dentaires, cliniques vétérinaires

1265 – Sport

Salles de sport, centres de fitness, piscines couvertes, stades de football et de hockey, salles d'escalade, halles de tennis, stands de tir, cibles, vestiaires avec et sans douches, bâtiments de tribunes

1269 – Culture et loisirs

Salles de cinéma, de concert, d'opéra, de théâtre, musées, galeries d'art, bibliothèques, bâtiments d'archives, casinos, ruines, salles polyvalentes, dancings / discothèques, locaux de sociétés, club-houses, night-clubs, manèges couverts, halles de karting, réceptions de camping, locaux de scouts, maisons des jeunes, bâtiments de jardins botaniques et zoologiques (y compris bâtiments pour les animaux et volières), bâtiments de sauna, cabanes forestières

1271 – Exploitation agricole

Bâtiments d'exploitation et bâtiments d'entreposage (étables, greniers, granges, remises), halles d'engraissement, haras, serres (d'exploitations agricoles), caves viticoles, pavillons de chasse, cabanes de pêcheurs et de bûcherons, étables de petits animaux, ruches (y compris celles de personnes privées)

1272 – Édifices culturels et religieux

Églises, chapelles, monastères, synagogues, mosquées, maisons paroissiales, constructions funéraires, funérariums, crématoriums

1274 – Bâtiments publics spéciaux

Casernes de l'armée, de la police et des pompiers, établissements pénitentiaires, abris de la protection civile, arsenaux, toilettes publiques, déchetteries publiques



