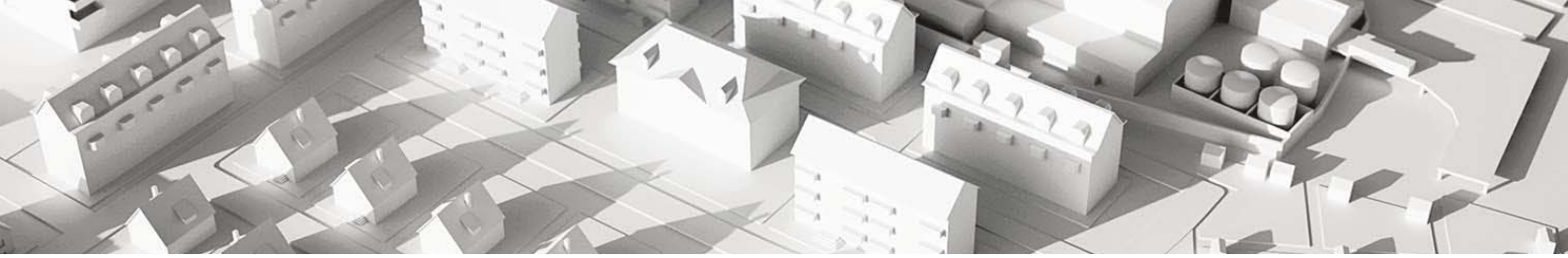


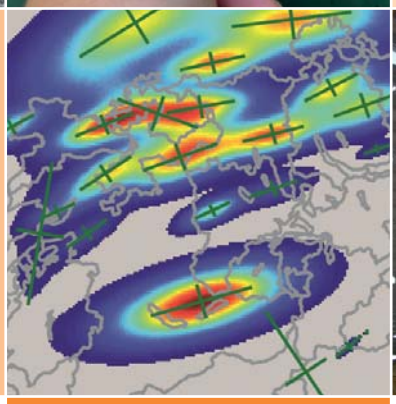
ETABLISSEMENTS CANTONAUX D'ASSURANCE

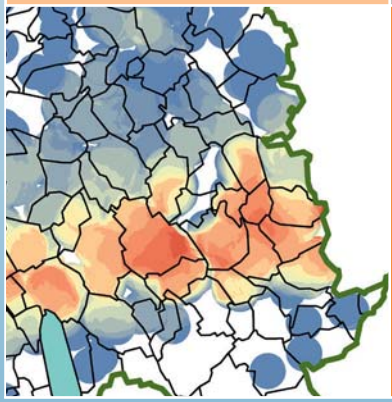
UNIL | Université de Lausanne
Institut des sciences de la Terre

Analyse des événements

Grêle 2011

Étude de l'orage de grêle des 12 et 13 juillet 2011 dans le canton d'Argovie





Mentions légales

Éditeur
Tous droits réservés © 2015
Union intercantonale de réassurance UIR
Bundesgasse 20
CH-3001 Berne
www.uir.ch

Interkantonaler Rückversicherungsverband
Union intercantonale de réassurance

Auteurs
Markus Imhof, Union intercantonale de réassurance Berne (UIR)
Pierrick Nicolet, Institut des sciences de la Terre de l'université de Lausanne (ISTE)
Jérémie Voumard, Institut des sciences de la Terre de l'université de Lausanne (ISTE)
Michel Jaboyedoff, Institut des sciences de la Terre de l'université de Lausanne (ISTE)

Coordination
Markus Imhof, Union intercantonale de réassurance Berne (UIR)
Rolf Meier, Association des établissements cantonaux d'assurance incendie (AEAI)

Collaboration scientifique
Liliane Nguyen, Institut des sciences de la Terre de l'université de Lausanne (ISTE)
Martin Seiler, Union intercantonale de réassurance Berne (UIR)

Conseil technique
Martin Jordi, Association des établissements cantonaux d'assurance incendie (AEAI)
Armin Wittmer, Établissement cantonal d'assurance d'Argovie (AGV)

Traduction française
Carine Job, Union intercantonale de réassurance
Sarah Mettraux, Union intercantonale de réassurance

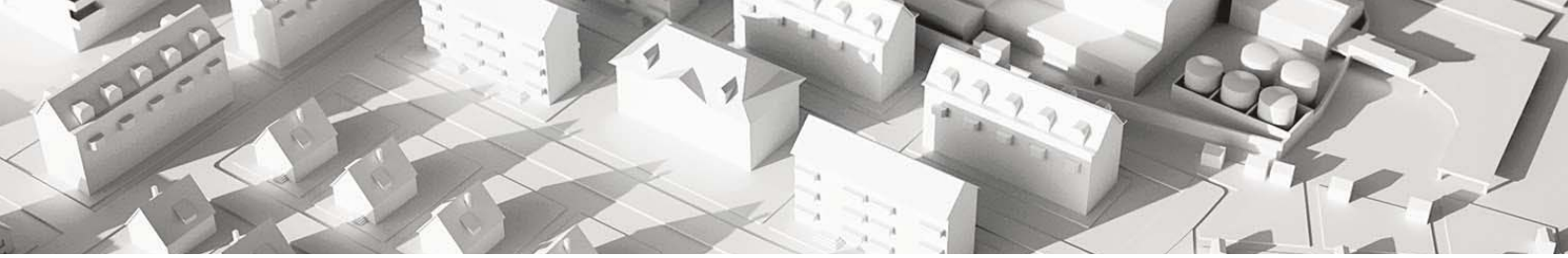
Réalisation et production
Rickli + Wyss, Berne

Tirage
500 exemplaires en allemand, 200 exemplaires en français

Sources de données ou d'informations
Établissement cantonal d'Argovie
Union intercantonale de réassurance
Office fédéral de topographie swisstopo
Office fédéral de météorologie et climatologie MétéoSuisse meteoradar GmbH : Willi Schmid
La Poste

Photos
Établissement cantonal d'assurance d'Argovie, Christine Oesch, Mühlethurnen BE

Illustrations de couverture
De gauche en haut à droite en bas :
Bâtiments ayant subi des dommages sur la toiture à Bremgarten AG
Bosses sur volet roulant
Modèle numérique grêle UNIL : cellules de grêle reproduites par des distributions gaussiennes
Toiture perforée en matière synthétique
Pourcentage des bâtiments endommagés par km^2 dans la partie orientale du canton d'Argovie
Éléments de l'enveloppe du bâtiment exposés aux impacts de grêle lorsque le vent souffle parallèlement au faîte du toit



Mentions légales 2

Table des matières 3

Résumé 4

1. Introduction 5

2. L'événement de grêle des 12 et 13 juillet 2011 dans le canton d'Argovie 5
2.1 Conditions météorologiques les 12 et 13 juillet 2011 ... 5
2.2 Catégorisation statistique de l'événement ... 6
2.3 Distribution spatiale des dommages : analyse du parc immobilier touché ... 8
2.4 Observation des dommages suivant les communes ... 11
2.5 Coup d'œil sur les chiffres ... 14

3. Analyse des dommages par genre et fonction des éléments de construction 17
3.1 Catégories de dommages ... 17
3.2 Répartition des dommages par élément de construction touché ... 18
3.3 Analyse des dommages par matériau des éléments de construction ... 20
3.4 Coût moyen des dommages par élément de construction ... 20
3.5 Comparaison avec l'événement de mai 2009 dans le canton de Thurgovie ... 20
3.6 Les vingt bâtiments ayant les dommages les plus chers au m^2 ... 23
3.7 Dommages en fonction de l'année de construction ... 25

4. Potentiel d'économie par l'utilisation d'éléments de construction avec un indice de résistance à la grêle RG 3 27

5. Analyse de la relation dommages – orientation du bâtiment 28
5.1 Introduction ... 28
5.2 Méthodologie ... 28
5.3 Résultats de l'analyse à l'échelle du canton ... 29
5.4 Résultats de l'analyse locale ... 33
5.5 Validation des orientations automatiques ... 39
5.6 Discussion des résultats ... 40

6. Estimation rapide des dommages après l'événement 42
6.1 Introduction ... 42
6.2 Dommages aux bâtiments suite aux deux importants événements de grêle de 2009 ... 42
6.3 Dommages aux bâtiments suite à l'événement de grêle de 2011 ... 44
6.4 Estimation rapide des dommages ... 46

7. Analyse du risque 49
7.1 Danger ... 49
7.2 Calcul du risque annuel moyen ... 51
7.3 Évolution ultérieure du risque ... 52
7.4 Simulation ... 52

8. Conclusions, résultats, perspectives 55

9. Remerciements 58

10. Bibliographie 59

Annexe A : Carte d'orientation indiquant l'emplacement des localités mentionnées dans le rapport 61

Annexe B : Code d'affectation AEAI 62

Résumé

Deux ans après les orages de grêle qui ont occasionné de graves dommages aux bâtiments de Suisse occidentale et dans le canton de Thurgovie (UIR, 2012 : voir Analyse des événements grêle 2009), un nouvel orage de grêle d'intensité semblable a traversé le Plateau suisse. L'événement a causé d'importants dommages en particulier dans les cantons d'Argovie et de Zurich. Les grêlons, dont le diamètre atteignait pour certains 6,5 cm (grosseur d'une balle de tennis), étaient accompagnés de rafales de vent et d'inondations localisées, en particulier à l'ouest du canton d'Argovie, près de Zofingue. En plus des dommages habituels dus à la grêle sur les toits, les façades, les stores et les fenêtres, des toits arrachés par la tempête et des caves inondées ont été signalés. Comme deux ans auparavant pour les établissements cantonaux d'assurance de Thurgovie et de Fribourg, cet événement s'est avéré être le sinistre éléments naturels le plus important jamais recensé pour l'établissement d'assurance d'Argovie. Contrairement à l'événement de 2009, la tempête de grêle ne s'est pas abattue l'après-midi mais dans les heures après minuit, ce qui s'est traduit par un constat des dommages quelque peu différent : le nombre de bâtiments dont des dommages aux stores ont été déclarés n'était certes pas plus élevé proportionnellement, mais le montant des dommages aux stores était sensiblement plus important.

Cette seconde analyse de l'événement par rapport au processus de grêle sur une période relativement courte fut l'occasion d'étudier et d'interpréter à nouveau les déclarations de sinistre reçues par un établissement cantonal d'assurance. Outre une comparaison avec les relevés de 2009, l'objectif était de vérifier les hypothèses établies dans la première étude. Contrairement à l'étude précédente, c'est l'ensemble des cas de sinistre qui a été examiné, et non pas un simple échantillon. Les résultats n'en sont donc que plus pertinents. Il a été ainsi confirmé une nouvelle fois que les stores, les toits et les façades représentent les principaux facteurs de coûts dans un événement de grêle, que les bâtiments d'habitation sont plus sensibles à la grêle que les bâtiments sans affectation d'habitation et que leur vulnérabilité a nettement augmenté, surtout depuis les années 90.

Comme dans l'étude réalisée à l'occasion de l'événement de 2009, les calculs effectués pour l'événement d'Argovie démontrent aussi le potentiel d'économie des éléments de construction avec un indice de résistance à la grêle RG ≥ 3 (résistance jusqu'à un diamètre de grêlon de 3 cm) : concrètement, l'économie se serait située autour de CHF 25 millions pour cet événement.

Autre critère analysé : l'influence de l'orientation des bâtiments par rapport au nord et par rapport à la trajectoire de la cellule de grêle à l'origine des dommages. Une méthode d'analyse automatique a été développée en ce sens. Il en est ressorti que les bâtiments les plus endommagés sont ceux dont l'axe du faîte du toit est orienté dans un angle de 40 à 70° par rapport à la trajectoire moyenne de la cellule de grêle, exposant ainsi la plus grande section de bâtiment aux grêlons.

Une nouvelle modélisation informatisée de l'université de Lausanne a servi à réaliser des essais de reproduction des dommages provoqués par des événements de grêle et d'évaluer sur cette base le risque grêle dans le canton. Le chapitre correspondant présente les courbes dommages / fréquence pour deux modèles de scénario. Grâce à la modélisation, il sera possible à l'avenir de fournir, peu de temps après l'événement de grêle, des indications utiles sur la répartition et la somme globale des dommages, au moyen de données radar.

La modélisation permet également d'évaluer le risque grêle actuel dans le canton d'Argovie ainsi que les périodes de récurrence correspondantes. En s'appuyant sur des scénarios de l'Office fédéral de la statistique concernant l'évolution de la population, il est même possible d'effectuer une évaluation de la progression du risque grêle dans vingt ans.

Les auteurs espèrent que cette deuxième étude grêle suscitera autant d'intérêt que celle sur les événements de 2009.

L'essentiel en bref

Date de l'événement :	12 et 13 juillet 2011
Principalement touchés :	Cantons AG et ZH
Diamètre maximal des grêlons constaté :	6.7 cm
Montant total des dommages AG (brut / net) :	CHF 151 / 145 millions
Nombre de sinistres reconnus AG :	20'600
Dommage moyen AG (brut / net) :	CHF 7'380 / 7'080
Dommage médian AG (brut / net) :	CHF 5'300 / 5'000
Plus gros dommage individuel grêle AG :	près de CHF 2 millions (jardinerie)
Classification :	Montant du dommage éléments naturels le plus important enregistré par l'ECA d'Argovie. Événement estimé comme survenant environ tous les 50 (à 100) ans.

1. Introduction

1. Introduction

La dernière phase des travaux sur le rapport « Analyse des événements de grêle 2009 » était encore en cours que déjà un nouvel orage de grêle d'une exceptionnelle intensité s'abattait sur le Plateau suisse, provoquant de graves dommages aux bâtiments dans le canton d'Argovie en particulier. C'est pourquoi cet événement a fait l'objet d'une attention toute particulière. L'analyse a également soulevé de nouvelles questions auxquelles les données de 2009 ne pouvaient apporter aucune réponse. L'Union intercantonale de réassurance a donc décidé de procéder également à une analyse des résultats pour l'événement de grêle des 12 et 13 juillet 2011.

Tout comme ses partenaires deux ans auparavant, l'établissement cantonal d'assurance d'Argovie a été mis à rude épreuve. Il a en effet dû apprendre ce que signifie avoir des milliers de clients qui veulent déclarer leur sinistre en l'espace de quelques jours. Littéralement d'un coup, la charge de travail a été multipliée par dix. D'une part, en raison du très grand nombre de dommages et, d'autre part, parce que l'examen des dommages grêle est nettement plus contraignant que pour les dommages dus à une tempête ou une inondation par exemple. 26 postes supplémentaires à temps plein ont même dû être créés spécifiquement pendant environ un an et demi (AZ 2012).
Cet événement a été pour l'AGV l'occasion d'améliorer son organisation administrative.

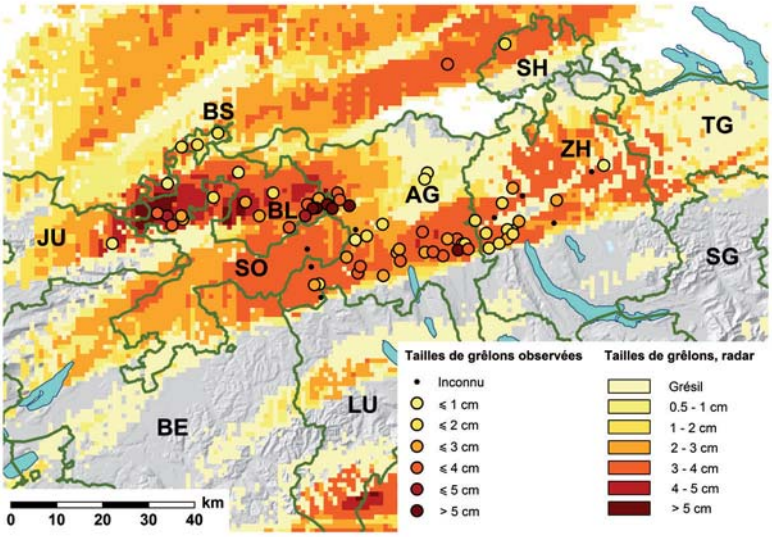
L'étude grêle a été confrontée cette fois aux questions suivantes :

- La méthodologie d'interprétation détaillée des données, développée à l'exemple de l'établissement cantonal d'assurance de Thurgovie, peut-elle être aussi appliquée auprès d'autres établissements d'assurance ?
- La tempête de grêle s'étant abattue cette fois en pleine nuit, dans quelle mesure la part des stores endommagés par rapport à l'ensemble des éléments de construction touchés diffère-t-elle de 2009 ?
- Le potentiel d'économie, grâce à une utilisation d'éléments de construction avec un indice de résistance à la grêle d'au moins RG3, s'avérerait-il aussi élevé que lors de l'événement de grêle de 2009 ?
- En ce qui concerne l'étendue des dommages, existe-t-il un lien entre l'orientation du bâtiment et la trajectoire suivie par les cellules de grêle ?
- Est-il possible de réaliser une estimation fiable peu après un événement, en se basant sur des données radar et sur une relation empirique intensité / dommages ?
- Le risque grêle actuel dans le canton d'Argovie est-il chiffrable ?
- À quel risque grêle doit-on s'attendre à l'avenir dans le canton d'Argovie ?

2. L'événement de grêle des 12 et 13 juillet 2011 dans le canton d'Argovie

2.1 Conditions météorologiques les 12 et 13 juillet 2011 (extrait d'après MétéoSuisse)

Le mardi 12 juillet 2011, une zone de basse pression s'est formée sur le centre de la France, alimentant des vents d'altitude de secteur sud-ouest sur l'arc alpin. La masse d'air entraînée depuis l'Espagne s'est révélée très chaude et orageuse. Par la suite, la température est passée en Suisse de 29 à 35°C. Les valeurs les plus élevées ont été relevées en Valais et dans la vallée du Rhin près de Coire. Dans la zone de convergence, en amont du front froid, les premières cellules orageuses se sont formées en soirée dans l'ouest du Jura. Ces cellules se sont ensuite déplacées en se renforçant le long du Jura, en direction de l'est. À ce moment-là, la grêle est tombée dans le « triangle » composé des cantons d'Argovie, de Bâle-Campagne et de Soleure. Le diamètre des grêlons dépassait nettement les 6 cm, ce qui correspond à peu près à la taille d'une balle de tennis (ill. 1).



Ill. 1 : *distribution des tailles de grêlons des 12 et 13 juillet 2011 sur les deux orages de grêle dans le nord de la Suisse ; observées ou tirées de données radar (données radar : meteoradar ; bases cartographiques : swisstopo).*

2. L'événement de grêle des 12 et 13 juillet 2011 dans le canton d'Argovie

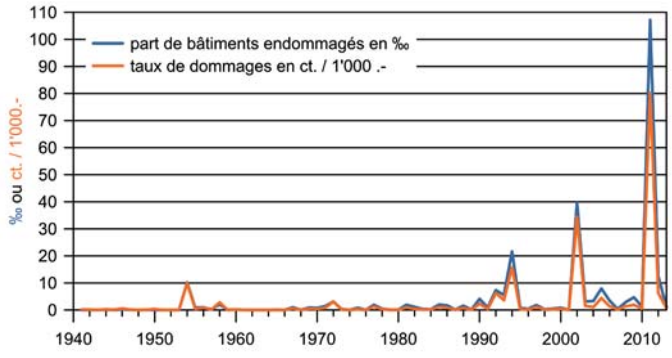
D'autres orages ont éclaté dans l'ouest des Préalpes d'où ils se sont déplacés en direction de l'est, jusque dans les Grisons.

Après une accalmie intervenue plus tard dans la soirée, une nouvelle cellule orageuse intense s'est formée vers minuit. Elle s'est déplacée du sud vers l'est au pied du Jura et elle a généré sur sa trajectoire de fortes averses de grêle avec des grêlons atteignant 6 cm, depuis Zofingue en passant par les cantons d'Argovie et de Zurich jusqu'après Winterthur.

C'est surtout dans les régions du nord du pays que des dommages dus à la grêle ont été répertoriés, principalement le long d'une bande légèrement courbée reliant le Jura bernois au lac de Constance. Fait marquant : la cellule orageuse la plus dévastatrice a déversé sa grêle au milieu de la nuit dans les cantons d'Argovie et de Zurich alors que la grêle tombe habituellement plutôt entre le début d'après-midi et la soirée. La fréquence élevée des éclairs était également étonnante : à Granges SO, 48 éclairs au total se sont produits à 3 km à la ronde. Il s'agit là d'une fréquence que l'on constate en général seulement dans les stations de montagne exposées.

Après les orages préfrontaux, un front froid actif a envahi la Suisse le mercredi, causant un refroidissement et de fortes pluies, notamment sur le versant sud des Alpes.

L'établissement d'assurance du canton d'Argovie a recensé les 12 et 13 juillet 2011 des dommages dus à la grêle pour une valeur de 145 millions de francs (nets, c'est-à-dire après déduction des franchises). Il s'agit là du plus important événement dommageable de son histoire (rapport de gestion 2011). La tempête « Lothar » de décembre 2009 et l'averse de grêle du 24 juin 2002 étaient considérés tous deux comme les événements dommageables les plus importants jusque-là. Leur niveau de gravité n'est en fait pratiquement que de moitié moins élevé que ce qui s'est produit ces 12 et 13 juillet 2011. Les événements suivents en terme de dommages sont les inondations de mai 1999, de mai 1994 et d'août 2007 (UIR, 2005; statistique des dommages AEAI).



III. 2: *évolution des dommages annuels aux bâtiments causés par la grêle (taux de sinistres) dans le canton d'Argovie depuis 1941, année de création de la couverture des risques naturels. L'événement de grêle des 12 et 13 juillet 2011 n'est pas seulement de loin le plus important de l'histoire de l'établissement d'assurance du canton d'Argovie en termes de dommages mais il s'agit de l'événement isolé le plus important dû aux éléments naturels (source : statistique des dommages AEAI).*

2.2 Catégorisation statistique de l'événement

Il est difficile d'évaluer exactement la période de récurrence statistique des événements de grêle car peu de données de mesure sont disponibles, contrairement aux données sur le débit des crues ou sur la quantité des précipitations. Il existe toutefois des données sur les dommages causés aux bâtiments : depuis la première statistique des dommages éléments naturels établie pour l'année 1941, jamais un montant de dommages éléments naturels aussi élevé n'a été enregistré (voir ill. 2). Il serait toutefois hazardeux d'en déduire directement la période de récurrence à partir des données de dommages disponibles auprès de l'établissement cantonal d'assurance d'Argovie et de définir l'averse de grêle des 12 et 13 juillet 2011 comme un événement survenant tous les 74 ans, soit une fois sur la periode considérée. D'une part, parce qu'un événement (hypothétique) comparable survenu en 1940 et donc non inclus dans les données modifierait déjà fortement cette estimation. D'autre part, parce que l'averse de grêle n'était pas limitée uniquement au canton d'Argovie. En fonction de la situation et de l'étendue de sa zone d'impact, chaque orage de grêle est unique. C'est pourquoi, il convient de définir clairement la région pour laquelle une période de récurrence doit être déterminée. Est-il question de la période de récurrence sur tout le pays, pour le canton d'Argovie seulement ou du point de vue d'un seul bâtiment ? Le résultat ne sera pas le même suivant les cas. Dans le cadre de notre analyse de l'événement, il paraît approprié de se centrer sur le canton d'Argovie.

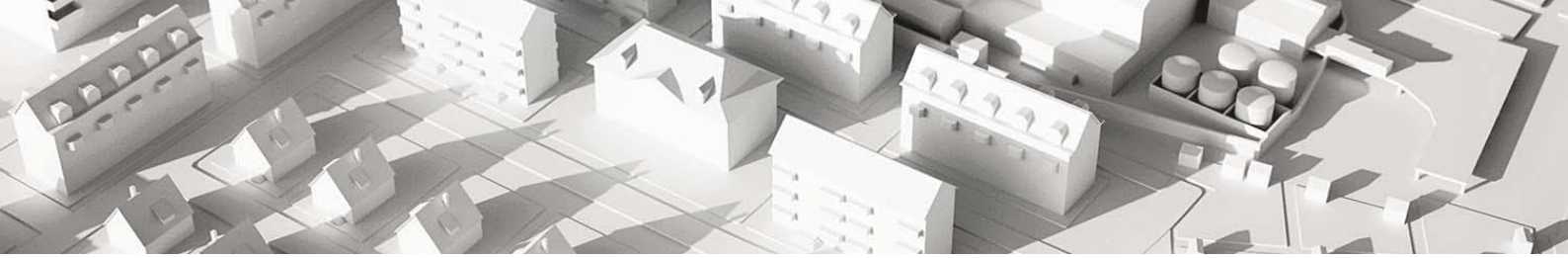
Une étude des sources permet en tout cas de catégoriser approximativement l'averse de grêle de juillet 2011 pour le canton d'Argovie. Les rapports historiques d'événements ont généralement été rédigés de manière non systématique. Ils sont par ailleurs emprunts de subjectivité et les observations que l'on peut y lire sont en général toutes impressionnantes. On y trouve en revanche peu d'indications quantitatives sur les surfaces touchées et sur le montant des dommages. Les quelques chiffres avancés sont de plus difficilement comparables avec ceux d'aujourd'hui. Par ailleurs, il n'est pas certain que la totalité des sources soient bien prises en compte dans ces rapports, ce qui pose un autre problème. Il est en effet difficile d'estimer combien d'événements significatifs n'ont pas été répertoriés par la grille de recherche.

Une recherche effectuée dans différentes sources (Riniker, 1881; Lanz-Stauffer / Rommel, 1936; Steigmeier, 2004; archives de journaux en ligne, recherche «Google®») a permis d'aboutir à la conclusion suivante : les événements

Date	Région touchée dans le canton d'Argovie	Estimation à l'époque	Taille des grêlons	Dommages
30 juillet 1824	Du Ruedertal et du Wynental à Schynznach et Bözberg ; districts de Brugg, Lenzburg, Mellingen, Bremgarten, Baden	« destructeur » « cause de détérioration »	Près de Brugg, jusqu'à la taille d'un œuf de poule (env. 5 cm), sinon pour la plupart de la taille d'un œuf de pigeon (3,5 cm) et d'une noix (3 cm).	Toits en tuile et en chaume détruits, fenêtres brisées, oiseaux et lapins écrasés, nombreuses personnes blessées, feuilles des arbres et des vignes arrachées, cultures écrasées comme après le passage de chevaux (*Sauerländer, 1824; Riniker, 1881*)
31 mai 1838	Avant tout, les districts de Rheinfelden, Laufenburg et Zurzach ainsi que quelques communes isolées dans les districts de Brugg et de Zofingue	« meurtrier » « dévastateur »	Des grêlons d'env. 3,75 cm de diamètre ont été retrouvés le lendemain	Semences, arbres, vignes lourdement endommagés ; presque toutes les vitres de l'église de Weiach ZH (à la limite du canton d'Argovie) ont été brisées *(Lanz-Stauffer / Rommel, 1936 ; Brandenberger, 2011).*
14 juillet 1873	Nord du Freiamt, en particulier la région autour de Büttikon, Waltenschwil et Boswil	«horreur indescriptible»	Jusqu'à la taille d'un œuf de poule (env. 5 cm) dans la vallée du Bünztal; on aurait encore trouvé des grêlons près de Kallern 8 jours aprèsw	Toits en tuile et en chaume gravement endommagés, cheminées pulvérisées, fenêtres brisées et certains bâtiments «moitié démolis» Cultures et arbres fruitiers anéantis. *(Riniker, 1881)*

retrouvés entre 1800 et 1940 et perçus à l'époque comme significatifs ne donnent que trois renseignements sur des tailles de grêlons et sur les conséquences dommageables susceptibles de pouvoir être comparés avec juillet 2011.

Le deuxième plus important événement de grêle survenu dans le canton d'Argovie pendant la période documentée par les données sur les dommages aux bâtiments remonte au 24 juin 2002. Une cellule de grêle intense suivit une trajectoire très proche de celle des 12 et 13 juillet 2011, avec une trajectoire traversant le canton d'Argovie un peu plus au nord. Elle fut à l'origine de dommages aux bâtiments de l'ordre de 50 millions de francs (valeur nominale ; rapport de gestion 2002 de l'AGV). Les plus gros grêlons retrouvés dans le canton atteignaient 4 cm de diamètre. Cet événement du canton d'Argovie n'égalait ainsi pas les événements cités précédemment, au moins en ce qui concerne la taille maximum des grêlons.
Avec l'averse de grêle des 12 et 13 juillet 2011, si l'on se base sur un ordre de grandeur comparable aux trois événements historiques, il apparaît donc que la période de récurrence pour ces quatre événements survenus en 214 ans depuis 1800 dans le canton d'Argovie correspond à une bonne cinquantaine d'années. Partant de l'hypothèse que la liste des événements répertoriés n'est pas complète, il apparaît probable qu'il se soit davantage agi en juillet 2011 d'un événement survenant tous les 50 ans et non tous les 100 ans.
Le rapport ci-après laisse supposer que d'autres événements encore plus dévastateurs ont été possibles en Argovie :



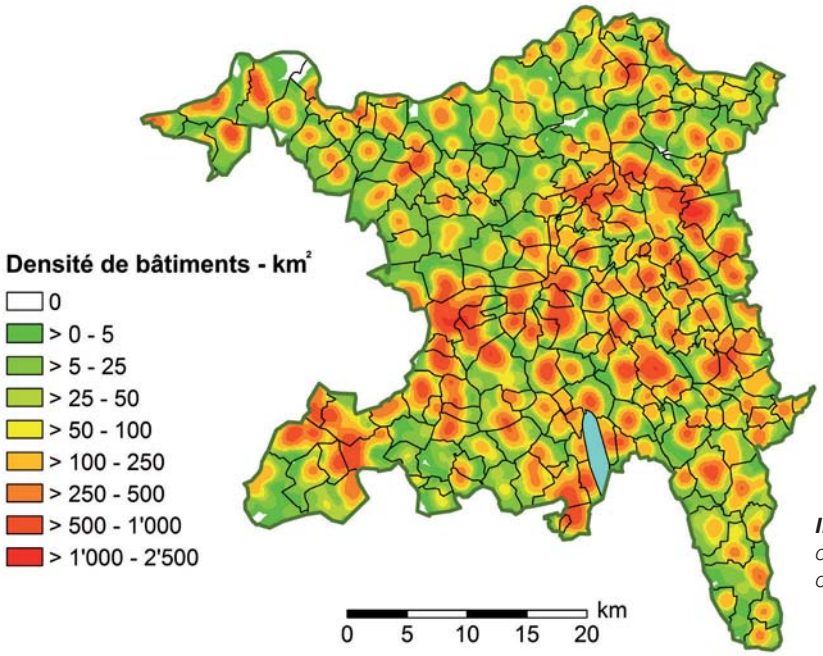
*En **1591,** un terrible nuage de grêle se forma le **5 juillet** à 5 heures du soir, reliant l'Argovie au lac [de Zurich] en passant au-dessus de l'Albis jusqu'à la région du «Grüninger Amt» [≈ Oberland zurichois]. Toits, fontaines, vignes et champs de céréales ont subi de tels dommages qu'il ne restait encore qu'à peine les graines à de nombreux endroits. À Ottenbach [ZH, à la limite directe du canton de AG], des grêlons de deux livres et plus sont tombés. Dans certains endroits, les cochons ont été tués en plein champ, tout comme des bergers. «Après tant d'années de pénurie, la grêle a encore appauvri beaucoup de gens. Que Dieu ait pitié de nous, Amen».* *(Sigg, 1994)*

Des grêlons de plus de 2 livres (soit environ 1 kg) correspondaient à des boules de glace de 13 cm de diamètre. La fiabilité de cette information n'est toutefois pas garantie. Il a quand même été fait mention à Undingen (Baden-Württemberg, D), d'un grêlon de forme ovoïde tombé le 6 août 2013 et mesurant 14 cm dans son axe longitudinal (GEA, 2013). Il ne pesait toutefois «que» 360 g. Mais le fait que des bergers et des cochons aient été tués en 1591, cela veut tout dire.

2.3 Distribution spatiale des dommages : analyse du parc immobilier touché

Grâce à la banque de données d'adresses «GeoPost Coordinates» de la Poste Suisse (La Poste, 2013), les bâtiments dépendant de l'établissement cantonal d'assurance d'Argovie ont pu être géoréférencés[1] dans une proportion de 88,6 %. Ainsi, des analyses pertinentes axées sur les bâtiments ont pu être réalisées dans le système d'information géographique (SIG) «ArcMap®». Il fut alors possible de procéder à des analyses au niveau communal d'une part, et de réunir dans le SIG d'autre part les emplacements individuels des bâtiments qui sont exploités pour des cartes de distribution de densité.

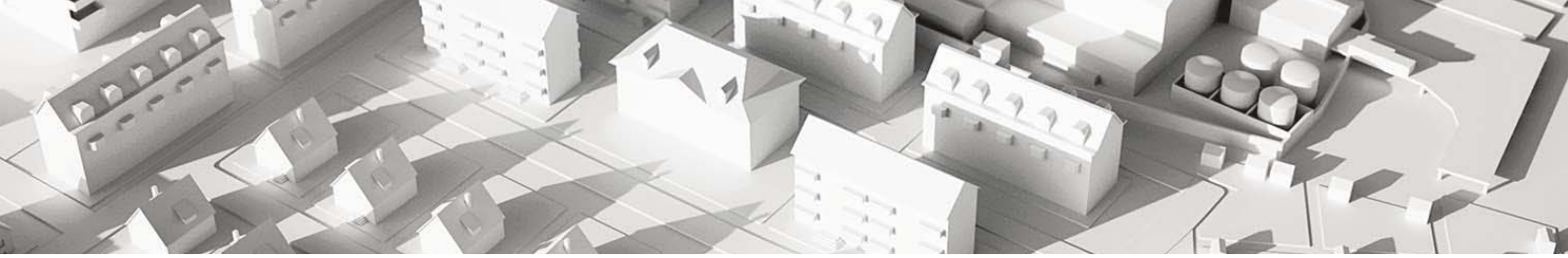
L'ill. 3 présente la distribution spatiale des bâtiments existants dans le canton d'Argovie en termes de densité (nombre de bâtiments au km²). Les plus grandes agglomérations se situent d'après cette carte dans les zones les plus basses, notamment dans les vallées le long de l'Aar[2], de la Limmat et de la Reuss ainsi que sur les rives du Rhin près de Möhlin. D'autres noyaux plus petits se trouvent également dans les vallées de la Wigger, de la Suhre, de la Bünz et de la Sissle. Les hauteurs souvent boisées du Jura au nord (p. ex. Böz-

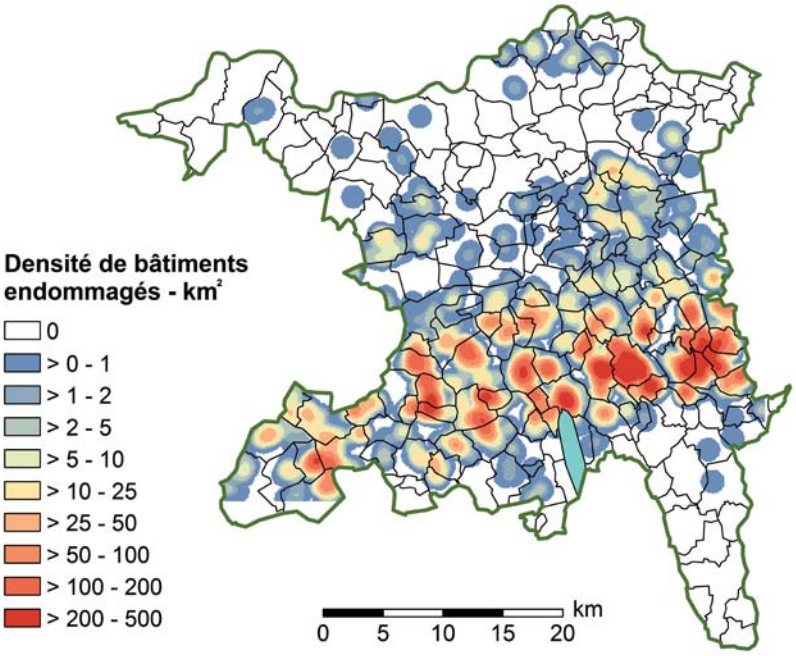


***Ill. 3:** densité de bâtiments au km² dans le canton d'Argovie (recherche sur un rayon de 1 km pour le calcul ; base cartographique : swisstopo).*

[1] Le géoréférencement spécifie l'emplacement de localités par l'attribution de coordonnées ; dans le cas présent, une paire de coordonnées a été attribuée aux adresses de bâtiments se trouvant dans le portefeuille de l'établissement cantonal d'assurance d'Argovie, selon le système de coordonnées nationales suisse.

[2] Une carte du canton d'Argovie en annexe A présente la situation des localités mentionnées dans le rapport.

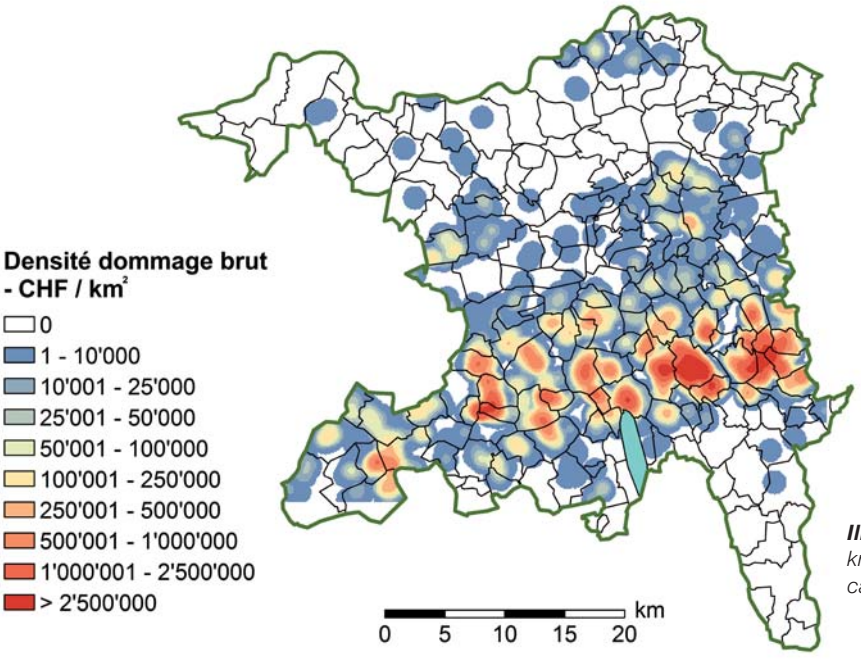




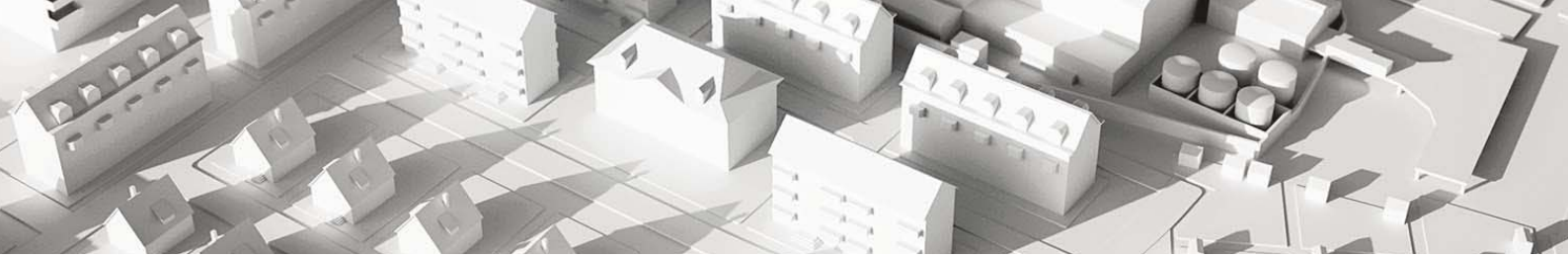
Ill. 4: *densité de bâtiments endommagés au km² (recherche sur un rayon de 1 km pour le calcul ; base cartographique : swisstopo).*

berg) et les chaînes entre les vallées fluviales du Plateau au sud du canton (p. ex. Lindenberg) sont nettement moins habitées. La carte sert de base de comparaison pour les cartes de dommages dus à la grêle, présentées ci-après.

L'ill. 4 indique la concentration des 20'600 bâtiments environ qui ont été endommagés par la grêle les 12 et 13 juillet 2011 (nombre de bâtiments par km²). Les zones de dommages se détachent nettement, par exemple près de Wohlen et de Bremgarten où la densité de bâtiments endommagés atteignait des valeurs correspondant à plusieurs centaines de bâtiments au km². Des valeurs semblables ont été relevées en 2009 dans le canton de Thurgovie. La large bande rouge transversale dans la partie sud du canton reflète explicitement la trajectoire suivie par la grêle. Les tâches rouges ne doivent toutefois pas être directement perçues comme une représentation de l'intensité de la grêle car elles sont en fait étroitement liées à la densité des bâtiments existants.



Ill. 5: *densité des dommages bruts en francs / km² (recherche sur un rayon de 1 km pour le calcul ; base cartographique : swisstopo).*

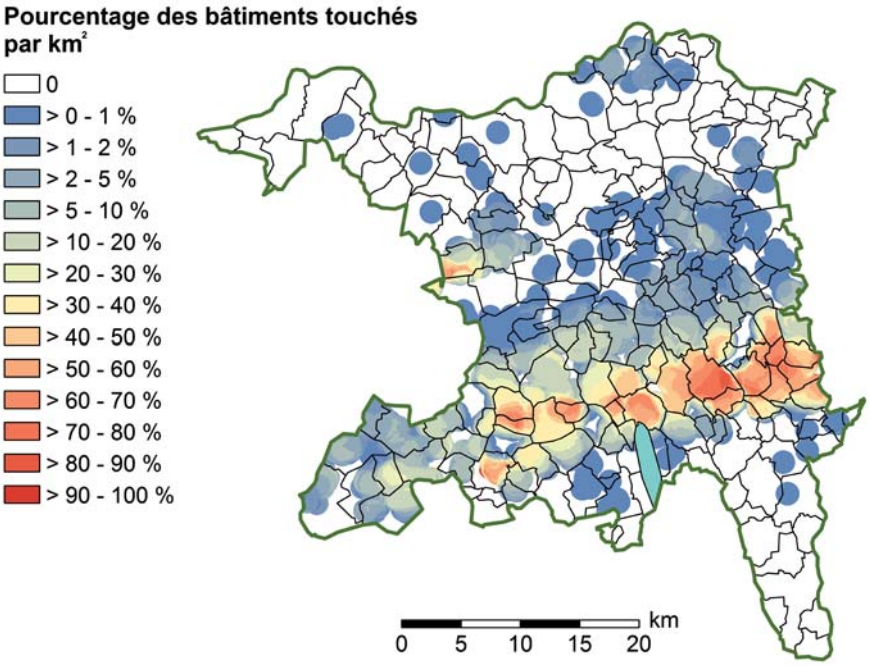


Une image très proche fournit une analyse selon la densité des dommages (somme brute des dommages aux bâtiments au km^2 ; ill. 5). Des densités de dommages de plusieurs millions de francs / km^2 ont été atteints dans les noyaux de dommages précédemment cités : des valeurs identiques à celles recensées en Thurgovie en mai 2009. Les valeurs maximales se limitent obligatoirement aux zones présentant la plus forte densité de constructions de telle sorte que cette représentation ne permet pas d'en déduire directement l'intensité de la grêle. Pour estimer l'intensité de la grêle, il faut compenser l'influence de la densité très variable des constructions dans l'espace en divisant les données de la carte de l'ill. 4 par celles de l'ill. 3.

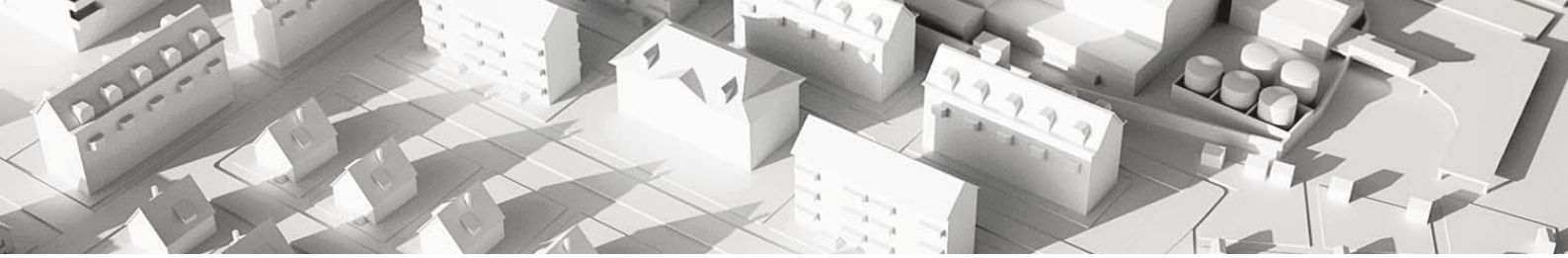
Le résultat est présenté dans l'ill. 6 avec le pourcentage de bâtiments touchés au km^2. Cette formule aboutit à un lissage de la structure dominée par des noyaux. Le modèle devient plus uniforme en comparaison avec les images présentées antérieurement. Ressortent en outre désormais des structures que l'on distinguait à peine sur les cartes précédentes. Par exemple, le noyau d'intensité d'un autre nuage de grêle qui a traversé le canton de Bâle-Campagne tôt dans la soirée et qui s'est délité peu de temps après son avancée dans le canton d'Argovie au Bözberg, tel que le montre distinctement l'image radar (ill. 1). C'est d'ailleurs dans cette région du col de la Salhöhe que les plus gros grêlons ont été rapportés, avec un diamètre atteignant bien 6,5 cm. Leurs conséquences dommageables ont toutefois à peine été prises en considération dans la somme finale en raison de la faible densité de bâtiments dans cette zone.

Par contre, la concentration des dommages reconnaissables localement sur l'ill. 5 disparaît presque complètement à Baden, loin de l'axe principal de l'orage de grêle. La part des bâtiments touchés tournait autour de 5 % mais la forte concentration de valeurs a suffit à faire augmenter de manière significative la densité des dommages et à la faire ressortir dans l'ill. 5 comme une zone isolée ayant subi un maximum de dommages.

L'ill. 6 offre un bon rendu de l'intensité réelle de l'averse de grêle. La carte reproduit par exemple également les forts gradients d'intensité reconnaissables sur l'image radar dans le Freiamt : tandis que des grêlons de 6 cm de diamètre étaient signalés à Bremgarten, la grêle n'est absolument pas tombée à Besenbüren, située à seulement 3,5 km au sud. De telles variations entre des localités rapprochées avaient déjà été constatées en mai 2009 dans le canton de Thurgovie (UIR, 2012). L'ill. 6 ne montre toutefois bien sûr que les effets de la grêle et non pas sa véritable intensité (énergie cinétique) : dans les zones non construites, la carte reste vide malgré une intensité vraisemblablement élevée. C'est le cas par exemple à Wegenstetten dont la densité de population est proportionnellement faible. Le radar indique la présence de grêlons de 4 à 5 cm mais aucun dommage n'a été pour autant signalé. Il n'existe malheureusement aucune indication sur la taille des grêlons effectivement tombés à Wegenstetten afin de confirmer les données radar.



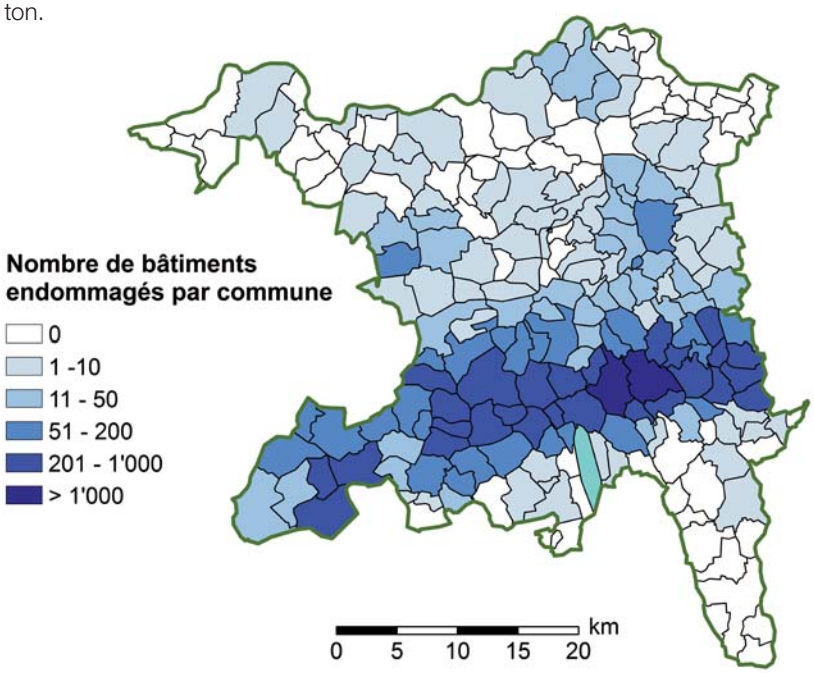
III. 6 : *pourcentage de bâtiments endommagés au km^2 (recherche sur un rayon de 1 km pour le calcul ; base cartographique : swisstopo).*



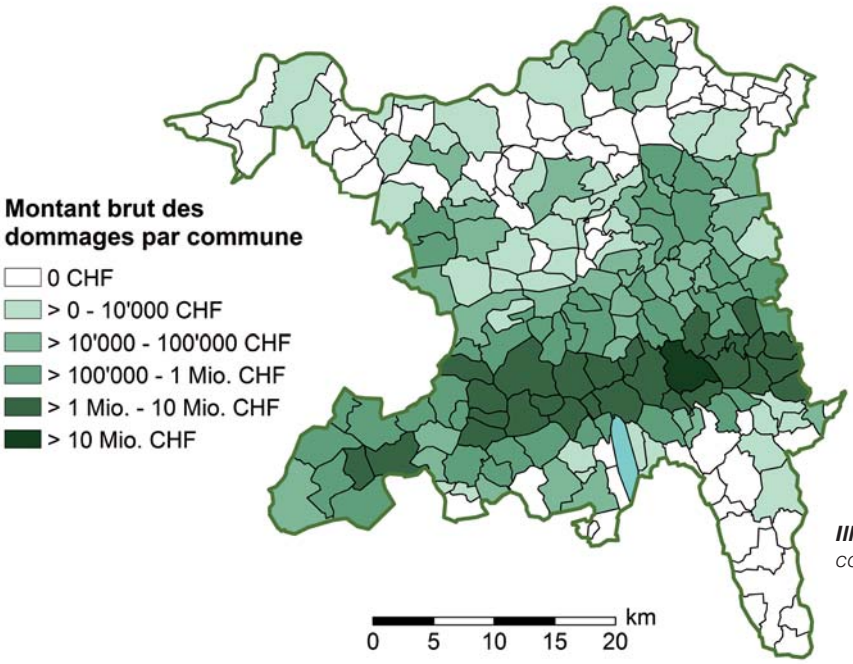
2.4 Observation des dommages suivant les communes

L'observation par commune fournit d'autres explications. La plupart des bâtiments endommagés (soit environ 2'900) ont été enregistrés dans la commune de Wohlen. Bien plus de 1'000 bâtiments touchés ont également été signalés à Villmergen. Une bande constituée de communes ayant subi chacune plus de 200 dommages aux bâtiments s'étend sur pratiquement toute la partie sud du canton, ce qui souligne les effets destructeurs de l'orage de grêle (ill. 7). Le nombre de dommages est nettement inférieur dans le reste du canton.

La carte représentant le montant des dommages par commune (ill. 8) ne se distingue visuellement que légèrement de la précédente. Avec 35 millions de francs au moins, Wohlen est en tête. Les communes voisines de Villmergen avec à peine 10 millions de francs et Bremgarten avec à peine 8 millions de francs sont déjà loin derrière. L'orage de grêle a atteint son intensité maximum ici, dans le nord du Freiamt, sur l'une des plus importantes concentrations de valeurs du canton d'Argovie.



III. 7: *nombre de bâtiments endommagés par commune (base cartographique : swisstopo).*



III. 8: *somme des dommages aux bâtiments par commune (base cartographique : swisstopo).*

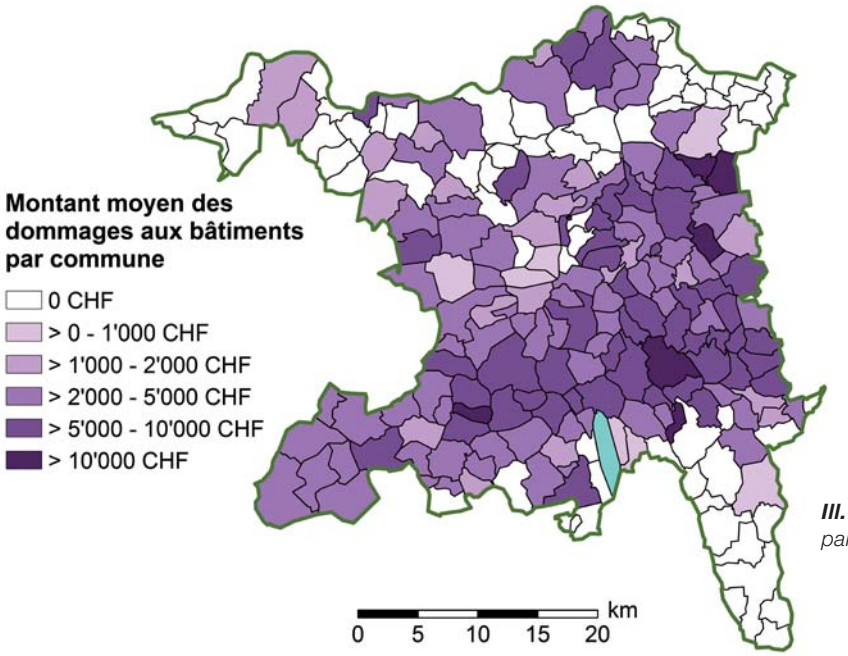
L'ill. 9 est le résultat de la division des données représentées sur la carte de l'ill. 8 par les données de l'ill. 7. Elle indique le dommage moyen aux bâtiments dans les différentes communes. L'influence des agglomérations dans ce calcul a été compensée afin de faire ressortir également les plus petites communes sévèrement touchées. Comme un faible nombre de dommages importants peut quand même aboutir à une valeur moyenne élevée, une fausse impression serait rendue dans certains cas si l'on ne procédait pas à une compensation. Ainsi, à Freienwil, le dommage moyen très élevé de 24'400 francs était à imputer à un seul bâtiment essentiellement. À Neuhof, Gipf-Oberfrick et Ehrendingen, c'est même un seul et unique bâtiment qui est à l'origine de dommages moyens estimés respectivement dans ces communes à presque 22'000 francs, environ 12'000 francs et bien 10'000 francs.

À l'inverse, les communes de Hirschthal et de Wohlen ont été fortement touchées. On a pu y observer des grêlons mesurant jusqu'à 4 cm de diamètre, ce qui est aussi établi par les données radar. C'est pourquoi, les moyennes élevées de dommages s'élevant à 14'700 francs (Hirschthal) et à 12'200 francs (Wohlen) sont pertinentes.

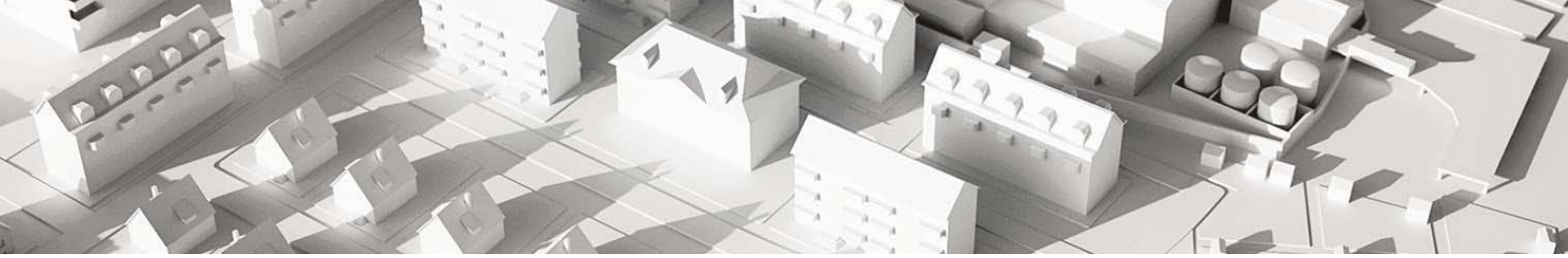
À première vue, il est surprenant de constater un dommage moyen relativement élevé de 6'800 francs à Leibstadt, correspondant à 12 dommages aux bâtiments. En effet, aucune grêle n'a été signalée dans cette zone et le radar n'a rien enregistré, si ce n'est du grésil.

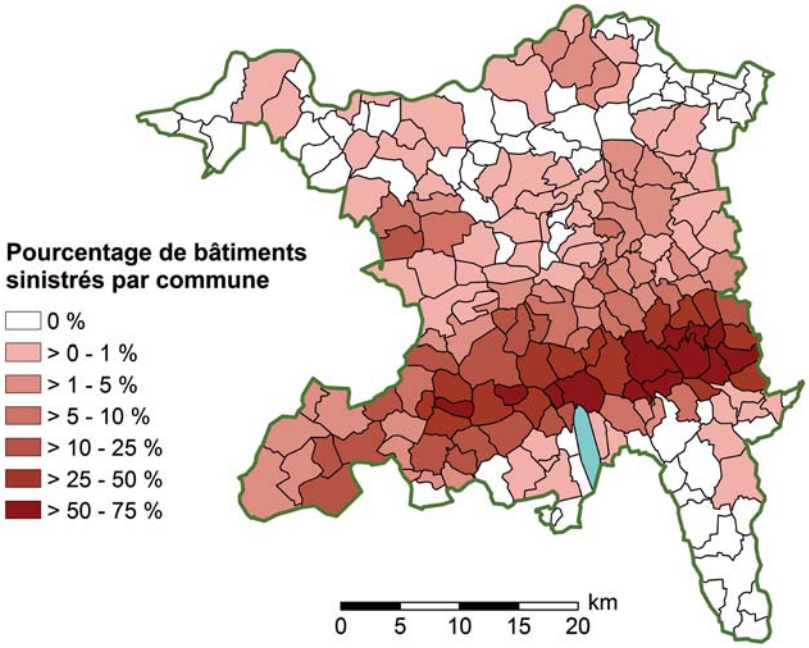
Il est vrai que la région autour de Leibstadt a été touchée le 22 juin 2011 par une forte averse de grêle. Il est donc probable que la plupart des dommages signalés dans la région provenait de cet événement. Toutefois, ce tableau ne reflète pas le cas de la ville de Koblenz située non loin de là et qui avait été également touchée le 22 juin. Les données concernant les dommages pour cette ville ne contiennent en effet aucun dommage aux bâtiments.

L'ill. 10 donne une bonne représentation de la gravité de l'événement de grêle en reprenant le pourcentage de bâtiments endommagés par rapport à la totalité des bâtiments existants dans chaque commune (voir également l'ill. 6) L'orage de grêle au sud en particulier apparaît à nouveau nettement. La carte donne une vue réaliste des rapports d'intensité car les répercussions de la densité de population sont estompées par le caractère relatif des chiffres. La région autour de Wohlen et Bremgarten ressort une fois encore de façon marquée, car plus de la moitié des bâtiments d'un bon nombre de communes a subi des dommages. Par ailleurs, d'autres zones situées plus à l'ouest ont aussi relevé de forts pourcentages de dommages. Avec 70 %, Hirschthal enregistre par exemple la part la plus élevée.

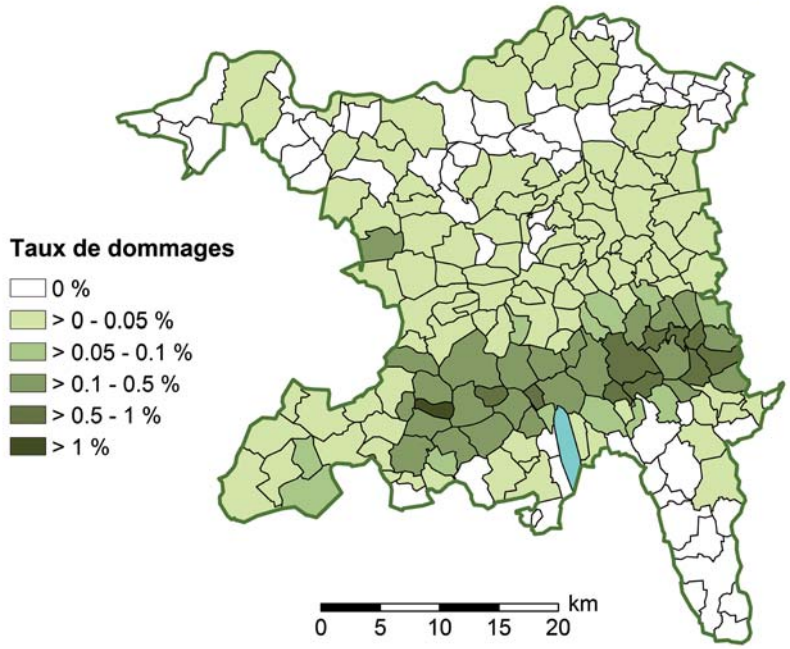


Ill. 9: *niveau du dommage moyen aux bâtiments par commune (base cartographique : swisstopo).*





III. 10: *proportion relative des bâtiments endommagés par commune (base cartographique : swisstopo).*

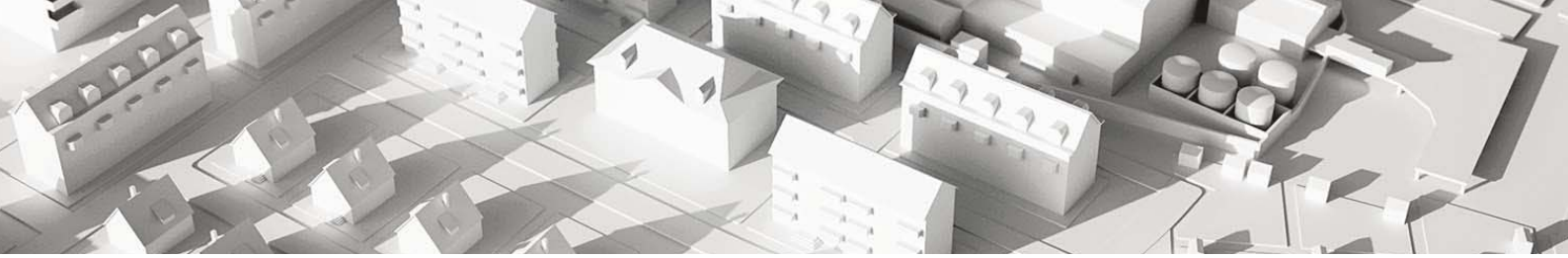


III. 11 : *taux de dommage, soit le rapport entre le montant du dommage et la valeur d'assurance par commune (base cartographique : swisstopo).*

Si l'on établit un rapport entre le montant des dommages par commune et la somme totale assurée, on obtient alors le taux de dommage, c'est-à-dire le pourcentage de la valeur d'assurance (ill. 11). Il s'agit donc d'une mesure des effets destructeurs de la grêle. Par conséquent, les taux de dommages les plus élevés ne coïncident pas avec les intensités de grêle les plus fortes. Il existe toutefois des exceptions, comme le montrent les exemples suivants :

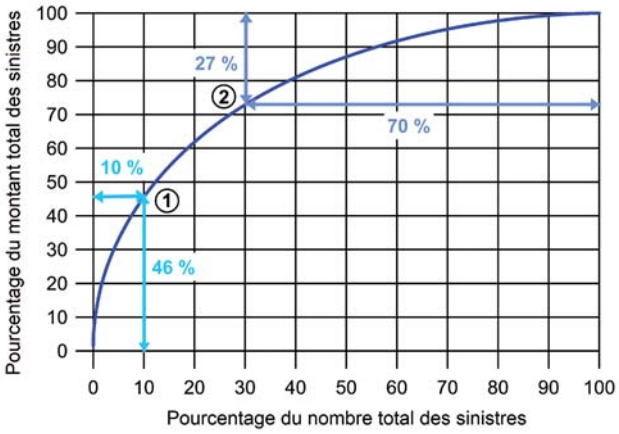
- À Gansingen, seul un abri pour petits animaux a été endommagé. En raison de la valeur d'assurance insignifiante, ce dommage relativement faible a suffi à entraîner un haut taux de dommage. Ceci est caractéristique des petits bâtiments et des dépendances (ill. 16). La taille maximum des grêlons était d'env. 3 cm d'après le radar.
- Effingen se distingue également pour la même raison en principe : une seule maison d'habitation a subi un dommage de gravité moyenne mais non défini précisément, causant ainsi un taux de dommage élevé. D'après le radar, la taille des grêlons atteignait 3 cm ici aussi.
- À Freienwil, les dommages causés sur le revêtement d'étanchéité d'un seul bâtiment ont donné un taux de dommage élevé malgré une intensité de grêle relativement faible (jusqu'à 2 cm de diamètre).

En résumé, il faut convenir que le canton d'Argovie a eu de la chance dans son malheur les 12 et 13 juillet 2011, dans la mesure où seuls les bords du nuage de grêle ont touché les régions présentant les concentrations de valeurs les plus élevées (voir ill. 3).



2.5 Coup d'œil sur les chiffres

Si l'on compare le nombre de déclarations de sinistre aux montants des dommages isolés triés par ordre décroissant, on obtient la courbe de l'ill. 12. Si tous les dommages étaient d'un montant parfaitement égal, la « courbe » se présenterait sous forme de bissectrice, tirée de l'angle inférieur gauche à l'angle supérieur droit. Mais puisque les montants de dommages sont différents, la courbe des dommages totaux s'approche davantage d'une branche de parabole, l'importance de la courbure étant déterminée par la divergence entre les dommages les plus gros et les plus petits.



III. 12: *proportion relative des dommages triés par ordre décroissant dans la somme totale des dommages.*

Outre la courbure, les deux extrémités de la courbe présentent un intérêt particulier :

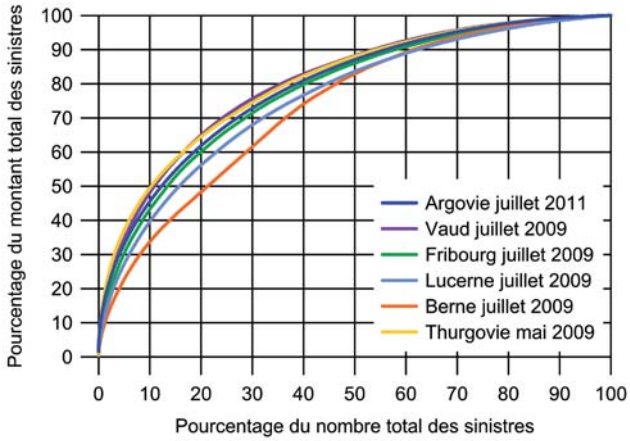
Les 10 % de sinistres individuels les plus importants (2'066 sur 20'656 sinistres) sont responsables à eux seuls de 46 % de la somme totale (brute) des dommages de près de 150 millions de francs : (1). Un faible nombre d'importants sinistres définit donc dans une large mesure la somme totale des dommages. Ainsi, seuls 15 sinistres individuels (dont neuf à Wohlen) dépassent un montant (brut) de dommages de 200'000 francs chacun et s'élèvent au total à 7,9 millions de francs, ce qui correspond à presque 20 % de la somme totale des dommages.

Les trois sinistres les plus importants sont cités ci-après :

- Le sinistre le plus important avec presque 2 millions de francs est survenu dans une entreprise artisanale constituée de plusieurs bâtiments. Les dommages étaient si considérables surtout sur la toiture que le bâtiment principal a dû être reconstruit.
- Le deuxième dommage le plus important avec presque 1,2 millions de francs concernait la toiture métallique d'un bâtiment industriel. La vaste surface et le matériau sensible à la grêle ont contribué au montant élevé des dommages.
- Des dommages pour un montant de presque 1 million de francs sont survenus sur le toit, les fenêtres de toit et les stores d'un autre bâtiment industriel. Les pompiers ont dû par ailleurs pomper l'eau qui avait pénétré dans la cave.

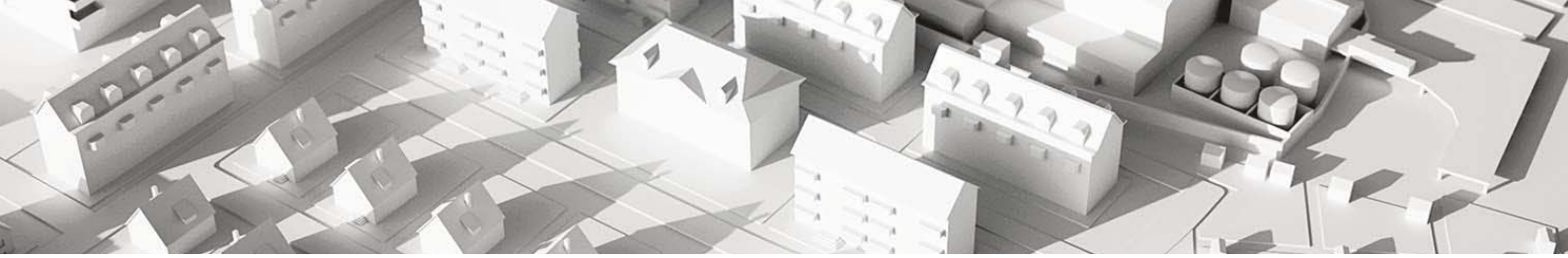
En revanche, les 70 % de petits sinistres ne correspondent qu'à 27 % de la somme totale des dommages : (2). 4'381 cas se situent ainsi au-dessous d'un montant (brut) de dommages de 1'500 francs. En raison de leur nombre, ces dommages relativement faibles entraînent toutefois d'importants frais administratifs et logistiques.

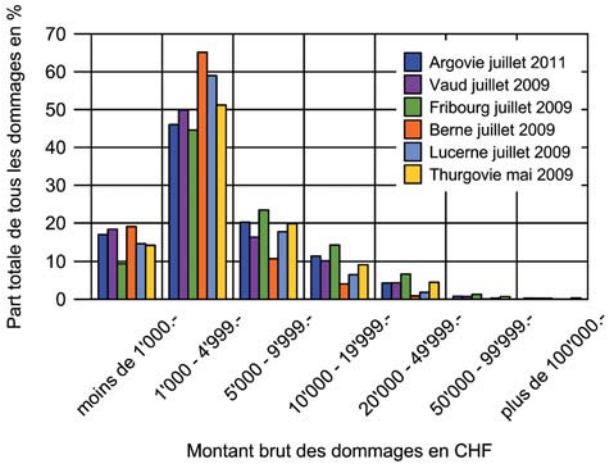
La courbe des dommages totaux d'Argovie présentée sous l'ill. 12 coïncide bien avec les événements de grêle comparables dans d'autres cantons (ill, 13). Sa pente se situe entre les courbes des cantons de Vaud / Thurgovie et celle du canton de Fribourg. Il s'agit là des cantons qui furent les plus touchés par les averses de grêle de 2009. Une forte courbure dénote manifestement une certaine virulence, la divergence entre les grands et les petits dommages étant plus importante.



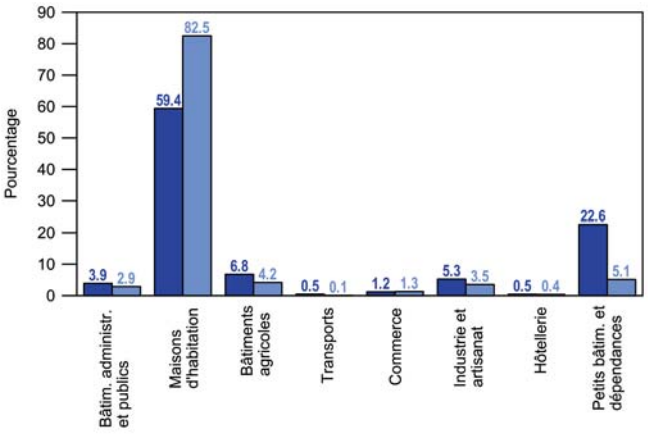
III. 13: *comparaison de la courbe de l'ill. 12 avec les courbes des deux grands événements de grêle de 2009 (complété selon UIR, 2012).*

L'ill. 14 subdivise la structure des coûts des dommages en différentes catégories. Elle montre que presque la moitié des dommages isolés dans le canton d'Argovie correspondait à des montants compris entre 1'000 et 5'000 francs. Des montants de dommages supérieurs à 20'000 francs n'ont été atteints que dans bien 5 % des cas. Les montants dépassant 100'000 francs étaient de 0,3 % et constituaient ainsi une infime minorité. La répartition est caractéristique et s'inscrit bien dans celle des cantons analysés dans le cadre de l'étude de 2009 (UIR, 2012). Comme présenté dans l'ill. 13, c'est surtout le canton de Berne qui se distingue par une plus large part de catégories inférieures ou une plus petite part de catégories correspondant à des montants élevés de dommages. Cela indique que la conséquence dommageable est moindre en moyenne.





III. 14: *structure des coûts des dommages bruts aux bâtiments dus à la grêle pour les événements de 2009 et 2011 : proportion relative des différentes classes de coûts dans le nombre total des dommages.*



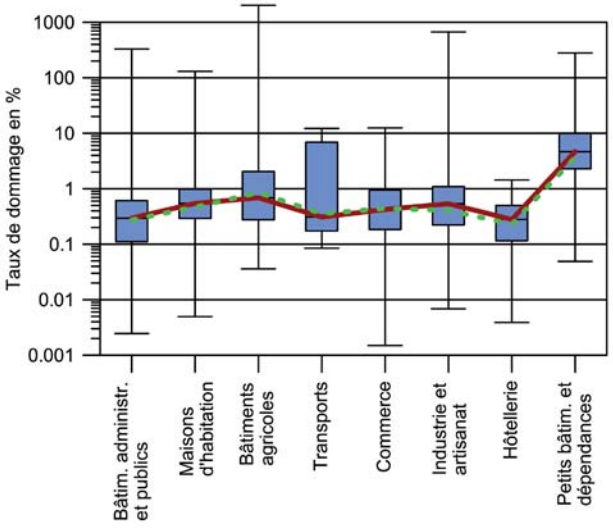
III. 15: *proportion relative des catégories de bâtiments (affectation) dans le nombre total de bâtiments du canton d'Argovie (colonnes sombres), ou dans le nombre de bâtiments endommagés (colonnes claires).*

Si l'on compare le pourcentage des catégories de bâtiments touchées avec la part que ces catégories représentent sur l'ensemble des bâtiments existants dans le canton d'Argovie (ill. 15), les mêmes observations peuvent être faites que pour l'étude de 2009. Les bâtiments d'habitation sont nettement sur-représentés en termes de part du portefeuille de bâtiments. Par contre, les petits bâtiments et les dépendances sont massivement sous-représentés ainsi que, dans une moindre mesure, les bâtiments agricoles et les bâtiments industriels et artisanaux. Tous les autres bâtiments apparaissent dans les données sur les dommages à peu près dans la même proportion que dans l'ensemble des bâtiments existants. Les chiffres d'Argovie se placent donc immédiatement entre ceux des cantons de Thurgovie, de Vaud, de Fribourg, de Berne et de Lucerne (UIR, 2012). Les conclusions de l'étude de 2009 ne sont pas remises en question par les données 2011 :

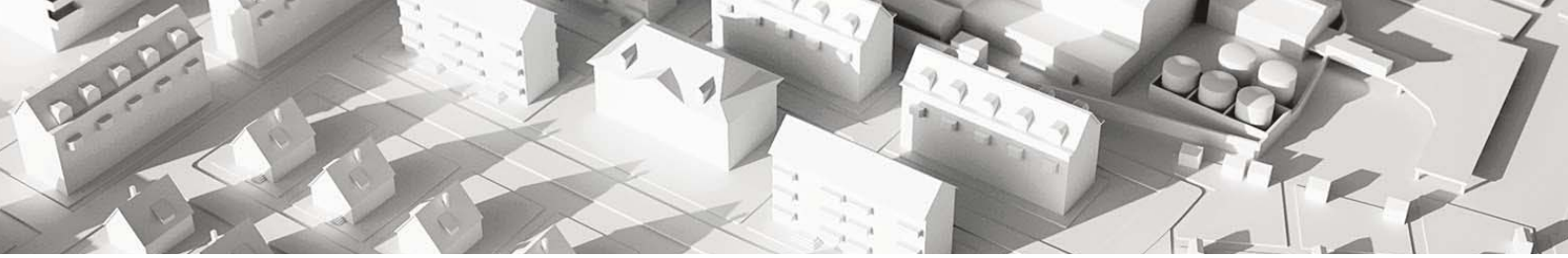
- Les bâtiments d'habitation présentent en moyenne une plus forte sensibilité à la grêle que les autres catégories de bâtiments.
- Les propriétaires de bâtiments d'habitation se montrent plus exigeants envers leur établissement cantonal d'assurance : ils ont tendance à déclarer à l'ECA même les petits dommages sur leur objet, tandis que c'est vraisemblablement moins souvent le cas chez les propriétaires de toutes les autres catégories de bâtiments.

Le premier constat ressort plus ou moins de l'analyse de la part des éléments de construction touchés (voir chapitres suivants), tandis que les attentes des clients ne sont que difficilement perceptibles dans les seules données de dommages.

Une comparaison du taux de dommage dans les différentes catégories de bâtiments permet d'examiner la vulnérabilité des bâtiments à la grêle. Il faut comprendre par taux de dommage d'un bâtiment le quotient du montant (brut) des dommages et de sa valeur d'assurance. L'ill. 16 représente l'analyse correspondante pour le canton d'Argovie.



III. 16: *box plots des taux de dommages (quotient montant brut des dommages / somme d'assurance) par catégorie de bâtiment (affectation) dans le canton d'Argovie.*
La courbe rouge relie la médiane (50 % quantile). En vert, pour comparaison : la courbe correspondante du canton de Thurgovie.



Les taux de dommages calculés varient essentiellement entre 0,1 et 10 % mais des tendances caractéristiques demeurent :

Les taux de dommages des **petits bâtiments et des dépendances** sont clairement les plus élevés : la médiane des taux de dommages de cette catégorie se situe presque à 5 %. Plusieurs raisons pourraient être à l'origine de ces valeurs élevées : la valeur d'assurance moyenne des petits bâtiments et des dépendances se situe en moyenne considérablement en dessous de celle des autres catégories de bâtiments ; elle s'élève par exemple à seulement environ 1/9 de celle des bâtiments d'habitation. En cas de dommage comparable sur une construction de ce type, le quotient montant des dommages / valeur d'assurance s'avère inévitablement plus élevé que pour les autres classes de bâtiments. Même lorsque les dommages sont au total plus limités en raison des dimensions inférieures et, par conséquent, de la surface réduite des petits bâtiments et des dépendances, les proportions entre surface et volume (et aussi par rapport à la valeur d'assurance) sont malgré tout moins favorables. Si le montant des dommages par unité de surface de l'enveloppe du bâtiment se situe dans un même ordre de grandeur, le dommage sur les petits bâtiments et les dépendances en relation avec la valeur d'assurance est alors plus élevé par rapport aux autres classes. À cela s'ajoute que le couvreur, le ferblantier ou le plâtrier calcule évidemment ses tarifs de travaux de réparation sans tenir compte du type de bâtiment, ce qui aboutit à un taux de dommage plus élevé pour une valeur d'assurance plus faible.

Avec une médiane de 0,7 %, les **bâtiments agricoles** sont en deuxième position en ce qui concerne le taux de dommage. 56 % des bâtiments touchés ne sont pas des bâtiments d'habitation agricoles mais sont l'équivalent agricole des petits bâtiments et dépendances, soit des granges, des abris pour machines, des étables, des serres, etc. C'est pourquoi, les mêmes constatations que précédemment peuvent être faites sous une forme atténuée.

Le lien mentionné précédemment du taux de dommages correspondant à la relation surfaces/volumes est confirmé par le fait que **les bâtiments administratifs et les bâtiments publics** présentent des taux de dommages moins élevés (médiane 0,3 %). Ce genre de bâtiment est en général assez grand, entraînant ainsi un rapport plus favorable entre la surface de l'enveloppe du bâtiment et le volume (et la valeur d'assurance). Toute autre interprétation est difficile au vu des modes de construction très variables dans cette catégorie.

Avec une médiane de degré de dommage de bien 0,5 %, les **bâtiments d'habitation** occupent la troisième position. Ces bâtiments sont modernisés à intervalles relativement rapprochés et des nouvelles. La part de constructions modernes est par conséquent relativement importante dans cette catégorie. On peut supposer que le taux élevé de dommages s'explique au moins en partie justement en raison de cette part élevée d'éléments de construction modernes: Ces derniers se dégradent en effet souvent rapidement et sont de ce fait plus vulnérables (stores, toits en fibres-ciment, revêtements en tôle, crépi sur isolation extérieure, avant-toits et coupoles en plastique). On ne peut que spéculer sur le rapport de cause à effet entre les attentes présumées plus élevées de la part des propriétaires de bâtiments d'habitation et le taux élevé de dommage.

Les taux de dommages les plus faibles concernent les **bâtiments de l'hôtellerie** (médiane 0,3 %). Cela peut paraître surprenant au premier abord car ces bâtiments ressemblent fortement aux bâtiments d'habitation en règle générale. Il existe toutefois une différence essentielle : ces bâtiments ont tendance à être bien plus résistants dans leur configuration. Malgré des changements de propriétaire relativement plus fréquents, l'affectation et l'aspect extérieur ne changent généralement pas pendant des décennies. Il est rare qu'un hôtel issu d'une longue tradition soit transformé du tout au tout. Quant aux nouvelles constructions, leur pourcentage est faible. Dans cette catégorie, les bâtiments répondant à des modes de construction plus anciens prédominent en moyenne. Avec leurs larges toits en tuile, leur maçonnerie crépie et leurs volets en bois, ils témoignent un certain attachement à la tradition et au confort chaleureux d'une maison tout en étant apparemment très résistants à la grêle (ill. 17). Cette constatation devrait peut-être trouver plus d'écho dans les futurs projets de bâtiments d'habitation.

Ill. 17 : *auberge de village typique, de construction « traditionnelle » : colombages crépis sous un large toit de tuiles et volets en bois. Ce genre de construction est comparativement plus résistant à la grêle (photo : C. Oesch).*

La même analyse a été faite à partir des données sur les dommages de mai 2009 dans le canton de Thurgovie. Afin

de ne pas surcharger le graphique, seule la ligne de liaison entre les valeurs médianes de Thurgovie est visible sur l'ill. 16. Le tracé peu divergent de la ligne correspondante pour le canton d'Argovie révèle que les résultats ne sont pas dus au hasard mais qu'ils sont bien caractéristiques de ce type d'événement même pour d'autres cantons.

Il découle également de ce qui précède que le taux de dommage ne peut être assimilé à la vulnérabilité des matériaux constituant l'enveloppe d'un bâtiment. Un grand bâtiment de bureaux doté d'éléments de construction sensibles à la grêle n'enregistre qu'un faible taux de dommage en raison de l'importance de sa valeur même s'il est fortement endommagé. En revanche, même de petits dommages dans un abri de jardin de construction solide peuvent engendrer un taux de dommage élevé.

3. Analyse des dommages par genre et fonction des éléments de construction

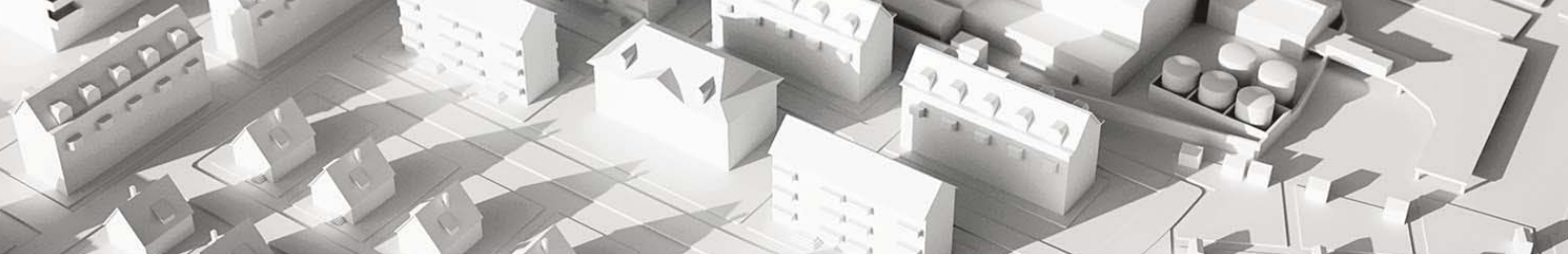
3.1 Catégories de dommages

Afin d'étudier le profil des dommages survenus sur les bâtiments, les données concernant les dommages isolés fournies par l'établissement cantonal d'assurance d'Argovie ont été catégorisées selon les éléments de construction touchés. Ces données n'étant pas triées de manière détaillée dans le fichier de données sur les montants de dommages versés, on a eu recours à la place au fichier de données sur les montants de dommages budgétisés, qui est conçu avec plus de précision. Les 40 catégories d'éléments de construction suivants ont été déterminées sur cette base :

Toit
Avant-toits
Parois, façades
Fenêtres, vitrage
Volets
Stores
Stores de fenêtres de toit
Voile pare-soleil
Paravents
Portes, portails
Impostes, coupoles d'éclairage
Fenêtres de toit, lucarnes
Cheminées
Vérandas
Installations d'énergie solaire
Balcons
Garde-corps, balustrades
Boîtes aux lettres
Éclairage extérieur
Anémomètres et sondes solaires
Installations de chauffage
Installations de climatisation
Systèmes de ventilation
Installations sanitaires
Piscine (et couverture de piscine)
Revêtements de sol
Carreaux (faïence, carrelage)
Aménagements de cuisine
Éléments en tôle / en métal, travaux de ferblanterie
Travaux de menuiserie
Installations électriques, travaux d'électricité
Aménagements extérieurs
Travaux de nettoyage
Travaux d'assèchement
Direction des travaux
Échafaudages (provisoires)
Démontage, élimination
Autres (connus)
Inconnus
Adaptations du budget (non spécifié)

Si la désignation de la plupart des catégories parle quasiment d'elle-même, certaines méritent d'êtres précisées :

- La catégorie *Toit* prend en considération les dommages et les travaux de réparation sur la couverture (tuiles, fibres-ciment, lés d'étanchéité) ainsi que sur la toiture. Les panneaux en fibres-ciment translucides qui constituent des surfaces de toit sont également inclus dans cette catégorie. Les fenêtres de toit proprement dites ainsi que les éléments en tôle et en métal constituent en revanche leur propre catégorie.
- La catégorie *Parois*, façades englobe tous les dommages et travaux de réparation liés aux façades et aux parois extérieures, comme les travaux de peinture et de plâtrerie (réparations sur le crépi, sur l'isolation extérieure, sur les façades, sur les revêtements et nettoyage de façades).
- La catégorie *Stores* comprend les stores à lamelles (stores d'obscurcissement orientables), les volets roulants (stores à enroulement) et les stores en toile. Les voiles pare-soleil (éléments verticaux pouvant être installés par exemples sur les terrasses) et les stores sur les fenêtres de toit constituent par contre des catégories séparées.
- *Autres* englobe tous les éléments de construction qui sont certes mentionnés mais qui n'entrent dans aucune des catégories restantes ou pour lesquels aucune catégorie propre n'a été créée.
- *Inconnus* désigne des éléments de construction dont le bordereau ne permet pas de définir la nature ; p. ex. si le fichier de données sur les dommages mentionne seulement « Travaux de peinture », il n'est pas clair si cela concerne des façades ou des (cadres de) fenêtres.
- Sous *Adaptations du budget* figurent les montants dont l'utilisation finale prévue n'est pas mentionnée dans le fichier de données sur les dommages.



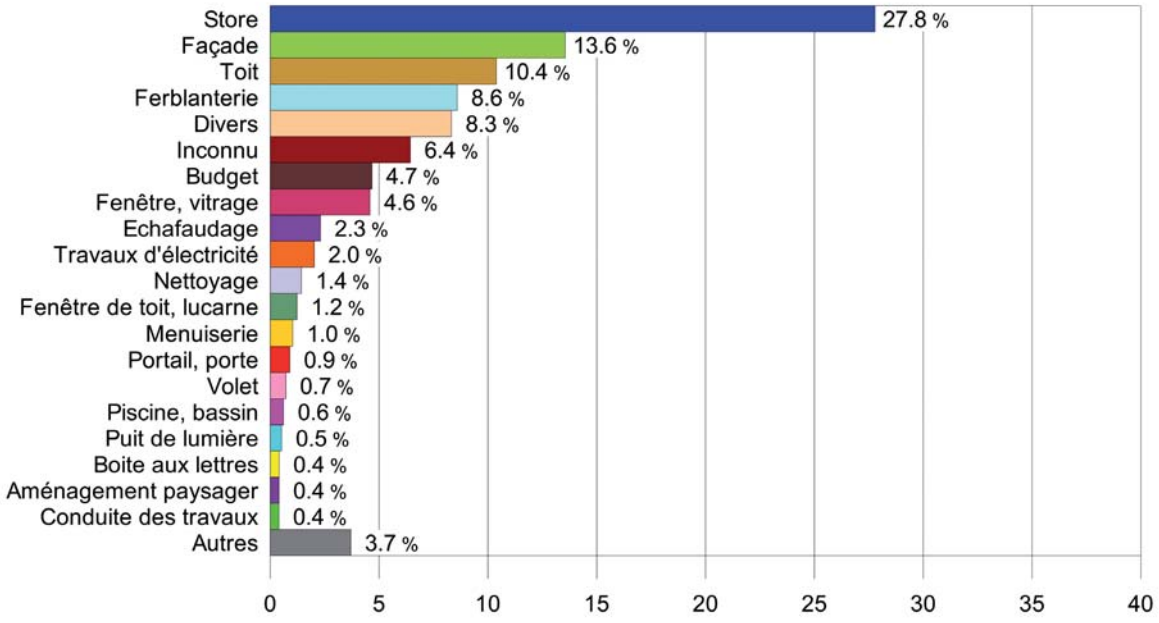
Dans la suite de ce document, le terme «dommages» se rapporte aux sinistres déclarés à l'assurance. Ceux-ci sont décrits dans les données de l'établissement d'assurance et sont caractérisés par un montant (en francs suisses) et par un type de dommage (catégorie). Comme la distinction est établie par type de dommage, plusieurs dommages peuvent être consignés dans les données concernant un même bâtiment (par ex. dommages aux stores, à la toiture, à la façade et à la couverture de piscine). Un bâtiment est considéré comme «bâtiment endommagé» si un ou plusieurs sinistres ont été déclarés pour celui-ci.

Il était prévu de comparer les chiffres de l'établissement cantonal d'assurance d'Argovie avec les chiffres de mai 2009 de l'établissement cantonal d'assurance de Thurgovie. Toutefois, les conditions d'assurance des deux ECA sont en partie divergentes. Par exemple, contrairement à l'ECA de Thurgovie, l'ECA d'Argovie assure les dispositifs textiles de protection solaire (stores extérieurs, voiles pare-soleil). Par ailleurs, les données sur les dommages des deux ECA étaient présentées sous des formes différentes pour l'analyse: les données analysées de l'ECA d'Argovie décrivent les dommages de manière relativement succincte, tandis que les décisions analysées de l'ECA de Thurgovie à l'attention de ses clients sont formulées de manière plus approfondie. C'est pourquoi, il n'était pas possible d'appliquer la méthode d'analyse semi-automatique développée dans le cadre de l'étude de la grêle de 2009 (VBA-Script cf Choffet et al., 2011 et IRV, 2012). L'analyse des données d'Argovie a donc été réalisée au moyen de critères de sélection ciblés directement dans les rapports de sinistres.

Pour les raisons invoquées, les catégories d'éléments de construction touchés analysées dans la présente étude divergent en partie par rapport à l'étude «Grêle 2009» (UIR, 2012) et ne sont par conséquent comparables avec cette étude que de manière limitée. Des comparaisons avec l'événement 2009 ne seront donc effectuées qu'au cas par cas.

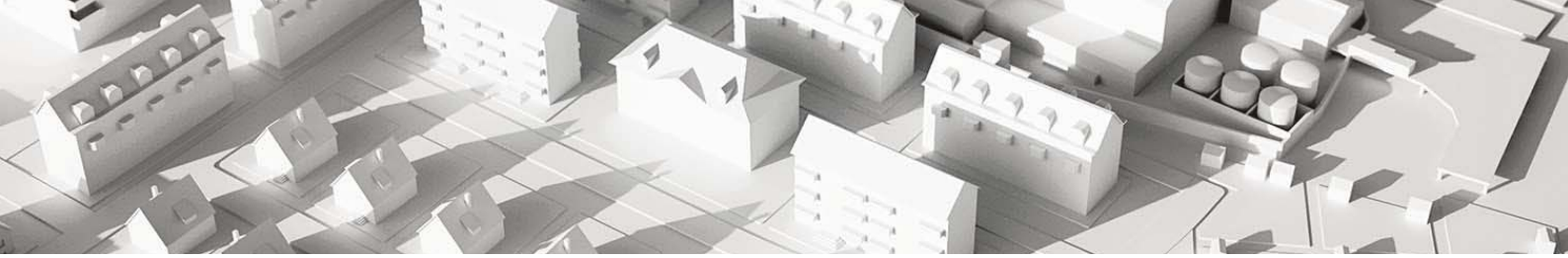
3.2 Répartition des dommages selon les éléments de construction touchés

Les 43'618 dommages[3] dont la somme totale budgétisée s'élève à 155 millions de francs ont été analysés selon la part que représentent les différents éléments de construction touchés dans le nombre total de dommages (ill. 18) ainsi que selon la part du montant des dommages par rapport à la somme totale des dommages (ill. 22). En termes de nombre de dommages, c'est la catégorie «Stores» avec 12'119 cas, soit 27,8 % du nombre total de dommages, qui est seule en tête.



Ill. 18: *pourcentage du nombre de dommages par éléments de construction. Exemple: les dommages de la catégorie stores représentent 27,8 % du nombre total de dommages (43'618 dommages au total).*

[3] 43'618 dommages partiels sont survenus sur 20'656 bâtiments. De nombreux bâtiments ont donc subi des dommages multiples (c'est-à-dire sur différents éléments de construction).



III. 19: *Dommage grêle typique sur un volet roulant : les grêlons ont provoqué des bosses bien marquées (photo : ECA d'Argovie).*

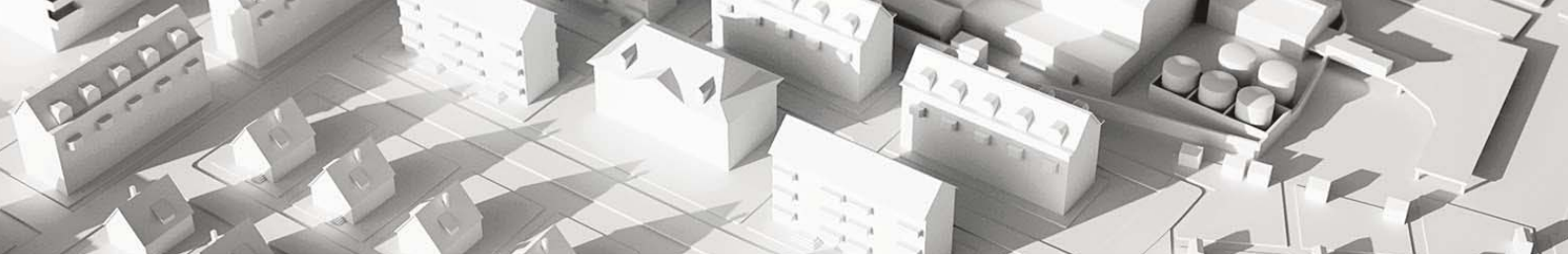
III. 21 : *Dommage grêle typique sur un toit en eternit ondulé : les grêlons ont provoqué des éclatements et des fissures (non visibles sur la photo) (photo : ECA d'Argovie).*

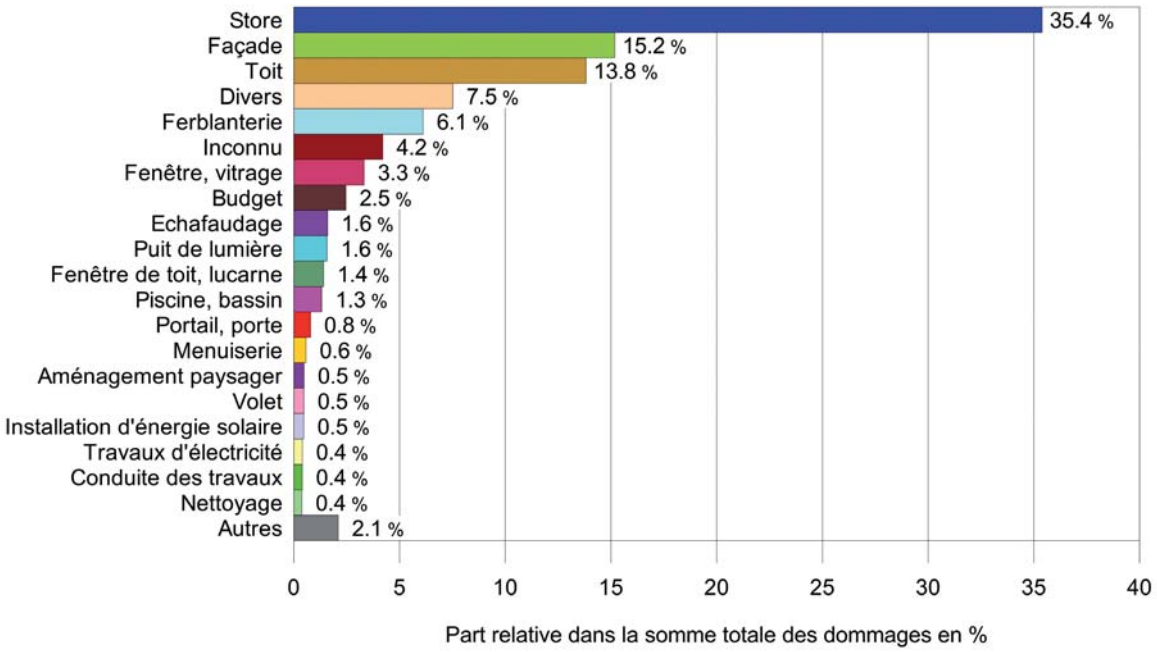
Avec une part presque égale à la moitié de cette catégorie (13,6 % ou 5'911 sinistres), la catégorie « Parois, façades » occupe la deuxième place. 4'530 cas, soit un pourcentage de 10,4 %, sont à attribuer à la catégorie « Toits ». Viennent ensuite les éléments en tôle et en métal avec 8,6 % de sinistres qui nécessitaient des travaux de ferblanterie. Les trois catégories suivantes sont plus difficiles à cerner : il s'agit de sinistres sur des éléments de construction mentionnés certes dans les données de dommages mais pour lesquels aucune catégorie n'a été créée (réunis sous « Autres »). Ce sont aussi des sinistres et des adaptations de budget en rapport avec les éléments de construction non identifiables dans le fichier de sinistres. Viennent ensuite à nouveau des catégories concrètes telles que Fenêtres / vitrages, Coûts des échafaudages, Travaux d'électricité et de nettoyage, Fenêtres de toit / lucarnes ainsi que Travaux de menuiserie. Toutes les autres catégories se situent en dessous de 1 % en ce qui concerne le nombre de survenances. À elles seules, les trois plus grandes catégories (stores, façades et toits) représentent la majorité de tous les cas de sinistre avec 51,7 %.

III. 20: *dommage grêle typique sur une façade : fissures et éclatements dans le crépi (photo : ECA d'Argovie)*

Les stores sont aussi très nettement en tête en ce qui concerne la somme totale des dommages (155 millions de francs). Ils en représentent 35,4 % (54,8 millions de francs) (ill. 22). Une fois encore, les stores sont suivis des parois et façades dont la part de 15,2 % (23,5 millions de francs) n'atteint même pas la moitié de celle des stores. Tout comme pour le nombre des cas de dommages, la catégorie « Toits » se trouve en troisième position avec 13,8 % (21,4 millions de francs). Elle est rejointe derrière par les éléments en tôle et en métal, la catégorie « Inconnus », les fenêtres / vitrages, les adaptations de budget et les échafaudages.
Avec 1,6 %, la catégorie « Impostes, coupoles d'éclairage » arrive ensuite. En ce qui concerne le nombre de dommages, elle ne représente que 0,5 %. Il s'agit donc ici apparemment de montants de dommages élevés au-dessus de la moyenne (vraisemblablement en raison de dommages subséquents dus aux infiltrations d'eau de pluie). Il en est de même pour les piscines qui représentent 1,3 % du montant des dommages, derrière les Fenêtres de toit et les lucarnes, ce qui correspond en nombre à 0,6 % seulement. Toutes les catégories restantes se situent en dessous de 1 % en ce qui concerne le montant des dommages.

Les trois catégories Stores, Parois et Façades ainsi que les Toits sont responsables à elles seules de presque les deux tiers (64,4 %) du montant total des dommages. Elles s'avèrent être ainsi de loin les principaux facteurs de coûts dans les dommages grêle du canton d'Argovie. Il est vrai que ceci n'est pas étonnant si l'on considère la large proportion, en termes de surface, de ces trois types éléments de construction sur les bâtiments.





Ill. 22: *pourcentage du montant de dommages par élément de construction. Exemple: les dommages de la catégorie stores représentent 35,4 % du montant total des dommages qui s'élève à 155 millions de francs.*

3.3 Analyse des dommages suivant le matériau des éléments de construction

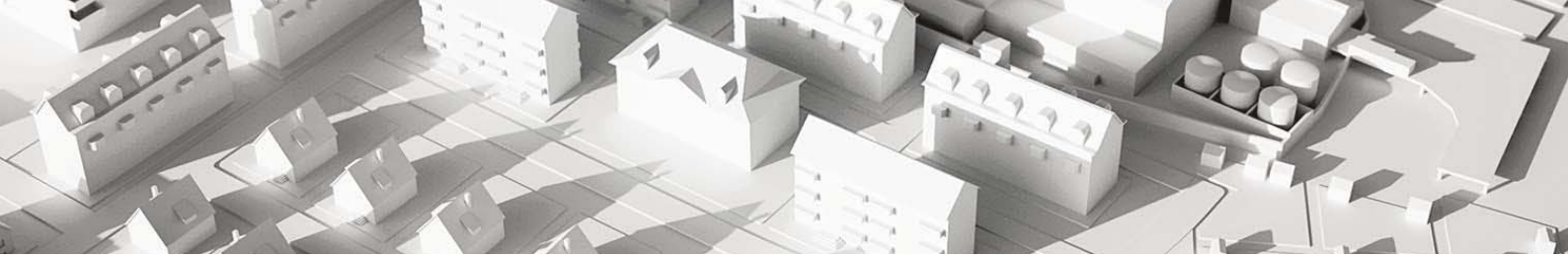
Les borderaux de sinistre de l'ECA de Thurgovie analysés dans le cadre de l'étude 2009 (UIR, 2012) faisaient souvent également mention du matériau des éléments de construction endommagés. Les possibilités d'analyse des données sur les dommages fournies par l'établissement cantonal d'assurance d'Argovie sont très limitées en raison des formulations plus succinctes. Environ 2/3 des sinistres ont dû être attribués à la catégorie « Inconnus » pour manque d'informations sur le matériau.
S'il est possible de déduire assez clairement le type de matériau à partir de certains éléments de construction et travaux de réparation (p. ex. « revêtement en eternit», « stores en toile », « toiture en tôle »), ce n'est pas le cas pour d'autres (« volets », « stores », « couverture de toit »). L'analyse a donc été systématiquement faussée. C'est pour cette raison que les résultats de l'analyse des matériaux ne sont pas repris ici.

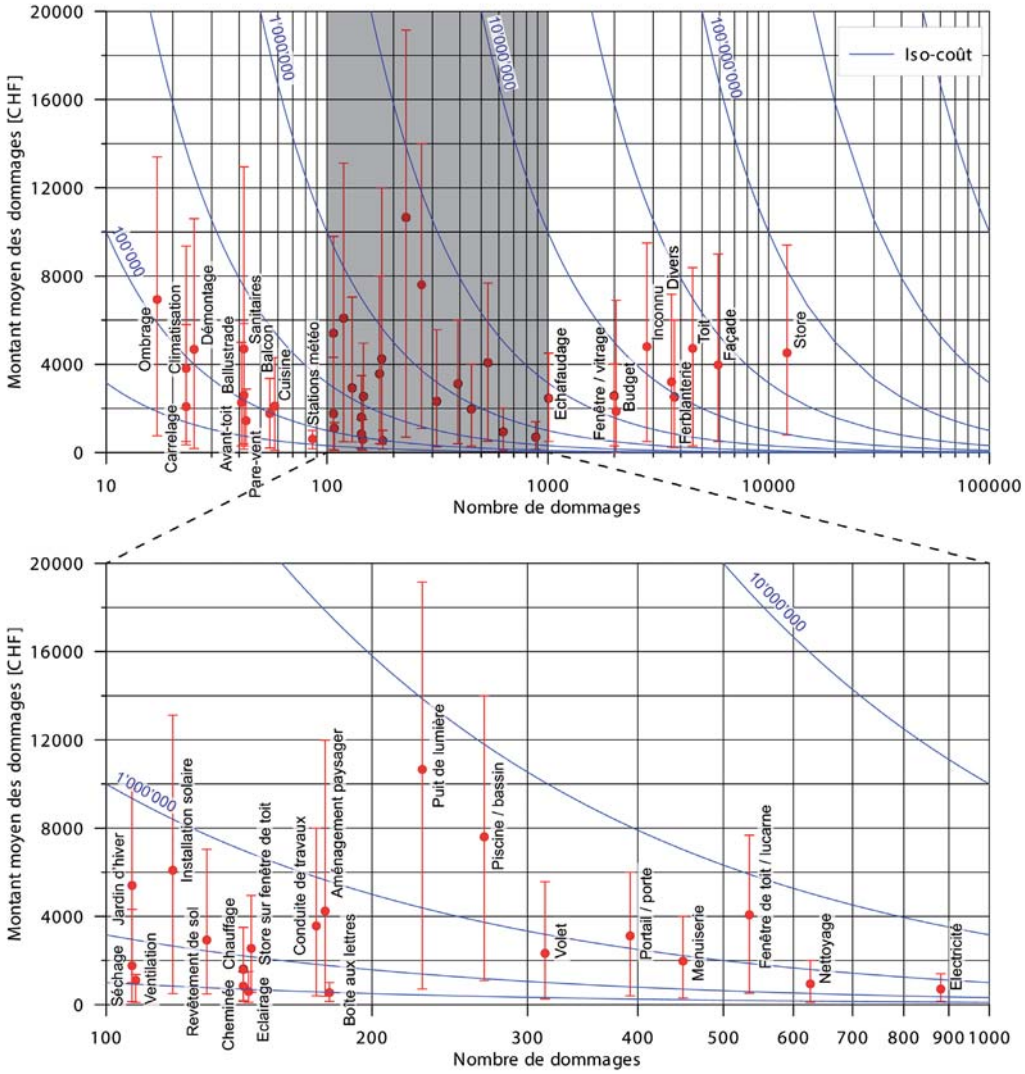
3.4 Coût moyen des dommages par élément de construction

Il est possible de calculer le coût moyen des dommages par catégorie à partir de la somme et du nombre de dommages. Avec un montant moyen de 10'667 francs par cas, les dommages sur les impostes / coupoles d'éclairage sont en tête (voir ci dessus). Ils sont loin devant la deuxième catégorie, les piscines (et leur couverture), qui représente 6'944 francs. Viennent ensuite les voiles pare-soleil avec 6'609 francs et les installations d'énergie solaire avec 6'095 francs.
Avec 4'727 francs, les toits se trouvent à la septième position sur les 40 catégories. Les stores (la catégorie la plus importante en termes de nombre et de montant des dommages) occupent la dixième place avec 4'526 francs. Ainsi, les catégories d'éléments de construction qui contribuent le plus aux dommages totaux (stores, façades, toits) ne sont pas en tête en ce qui concerne la moyenne du montant des dommages par élément de construction. Il convient toutefois de préciser que la représentativité du coût moyen des dommages dépend du nombre de dommages dans chaque catégorie. En effet, dans une catégorie contenant un nombre de 10 dommages, un dommage deux fois supérieur au montant moyen va augmenter le montant moyen de 10 %, alors que pour une catégorie de 100 dommages, cette augmentation sera de 1 %, et elle ne sera plus que de 0,1 % pour une catégorie comprenant 1000 dommages. Afin de mieux se rendre compte de l'importance de chaque catégorie, l'ill. 23 met en relation le nombre de cas par catégorie d'élément de construction avec le coût moyen de ces dommages. Les « antennes » sur le graphique illustrent la dispersion partiellement vaste des montants des dommages isolés pour les différentes catégories.

3.5 Comparaison avec l'événement de mai 2009 dans le canton de Thurgovie

La comparaison des parts en pourcentage des différentes catégories d'éléments de construction dans le canton



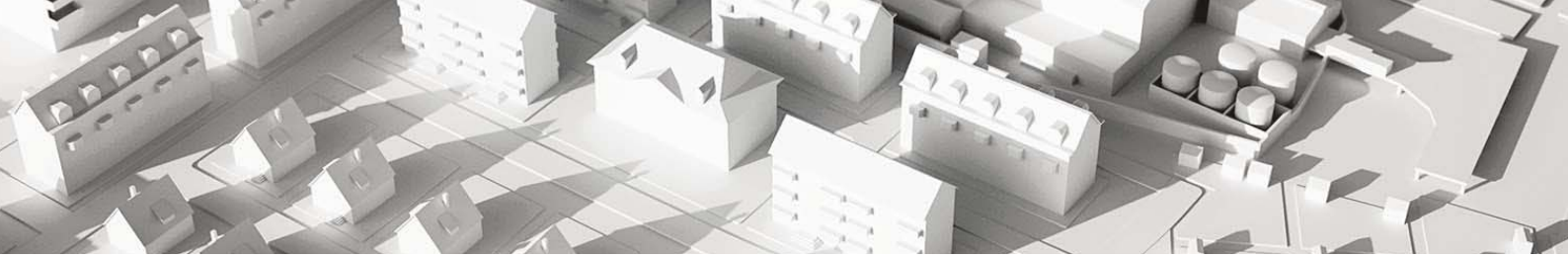


Ill. 23: *nombre de dommages par catégorie d'éléments de construction et montant moyen des dommages de ces catégories. Les lignes d'iso-coût représentent des lignes pour lesquelles le montant total des dommages (nombre de dommages multipliés par le coût moyen) est identique. Les catégories importantes pour le montant total des dommages ont ainsi tendance à se situer en haut à droite et les moins significatives sont en bas à gauche. Le bas et le haut des barres d'erreur, les «antennes», marquent les quantiles de 10 % et 90 %.*

d'Argovie avec les chiffres correspondants de l'événement de grêle du 26 mai 2009 dans le canton de Thurgovie révèle quelques divergences intéressantes en dépit des réserves déjà émises sur la comparabilité.

La part en pourcentage des cas de sinistres dans la catégorie «Stores» est identique dans les deux cantons avec presque 30 % du nombre total de dommages (ill. 25). Ce qui est surprenant au premier abord car l'averse de grêle a eu lieu en pleine nuit en Argovie et dès la fin de l'après-midi en Thurgovie. Mais si l'on compare la proportion des stores par rapport au montant des dommages pour les deux cantons, les chiffres sont remarquablement plus élevés dans le canton d'Argovie. Il n'y a pas eu plus proportionnellement de stores endommagés en Thurgovie mais les stores ont subi des dommages nettement plus coûteux. L'explication la plus plausible est que dans les deux cantons au moment de l'averse de grêle, au moins un store était descendu sur la plupart des bâtiments touchés. Un sinistre de grêle sur des stores a été recensé pour ces bâtiments et la proportion par rapport au nombre de dommages était identique dans les deux cantons.

Toutefois, comme l'averse de grêle en Argovie est survenue pendant la nuit, les stores descendus sur chaque bâtiment étaient proportionnellement nettement plus nombreux, si bien qu'une plus grande surface de stores était exposée à la grêle. Par conséquent, les montants des dommages pour



les stores sur les bâtiments qui en étaient pourvus étaient en moyenne plus élevés. L'heure à laquelle s'est produit l'événement a donc eu une influence décisive sur les sinistres : non pas en ce qui concerne le nombre de bâtiments présentant des stores endommagés mais en ce qui concerne le montant des dommages.

Cette constatation confirme l'utilité des systèmes de commande qui déclenchent l'enroulement automatique des stores en cas de menace de grêle. Un système de ce type se trouve actuellement en phase de test (cf encadré).

Projet « Alerte grêle pour relever à temps les équipements de protection solaire » de la fondation de prévention des Établissements cantonaux d'assurance.

En collaboration avec SRF Meteo et d'autres partenaires, l'AEAI a développé un système moderne d'alerte grêle pour protéger les stores et d'autres équipements de protection solaire. Dès qu'un bâtiment est menacé par un danger de grêle accru, SRF Meteo envoie un signal à un système électronique de gestion du bâtiment. Ensuite, les stores remontent automatiquement et sont épargnés par la grêle. Quand l'averse de grêle est terminée, un deuxième signal fait en sorte que les stores reviennent dans leur position antérieure.

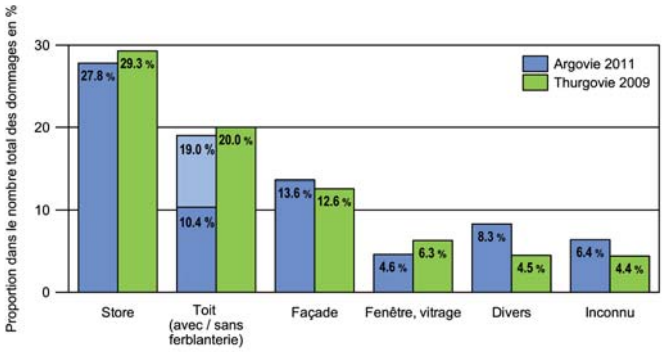
Pour que le dispositif d'alerte soit en mesure de prévenir efficacement les dommages, une fiabilité maximale est requise. Les prévisions correspondantes nécessitent des calculs complexes et coûteux, eux-mêmes basés sur des modèles météorologiques dont les données proviennent des radars, des éclairs et des stations météorologiques. Le système a également recours à des analyses statistiques. Il calcule en tout plus de 714 millions de valeurs par jour, ce qui permet d'établir une prévision grêle fiable toutes les 5 minutes. Si un événement a lieu, le signal est transmis aussi bien par Internet que par SMS à l'appareil de commande.

Le système d'alerte est encore actuellement en phase de test. Cette phase dure au total trois ans et se terminera à la fin de l'année 2015.

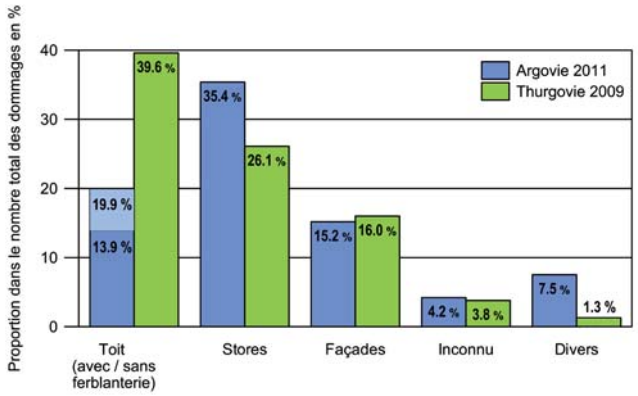
Dans la catégorie « Toit », avec 10,4 %, la proportion de dommages aux toits correspond à seulement la moitié du nombre relevé dans le canton de Thurgovie pour lequel l'étude grêle de 2009 (UIR, 2012) indiquait 20 %: À ce sujet, il faut toutefois noter que le contenu de la catégorie « Toit » n'est pas le même dans les deux études.

Les chiffres sur les sinistres aux parois et aux façades suivent un modèle semblable : par rapport à l'événement de Thurgovie, si la part quantitative des façades endommagées est légèrement plus élevée, elle est toutefois plus faible si l'on regarde le montant des dommages. Notons à cet égard que la part élevée des stores en termes de montant des dommages dans le canton d'Argovie diminue celle des autres catégories. La catégorie « Autres » a aussi le même effet. Elle est beaucoup plus forte dans le canton d'Argovie que dans le canton de Thurgovie. C'est pour cette raison que la comparaison des chiffres entre les deux cantons n'est possible qu'avec certaines réserves.

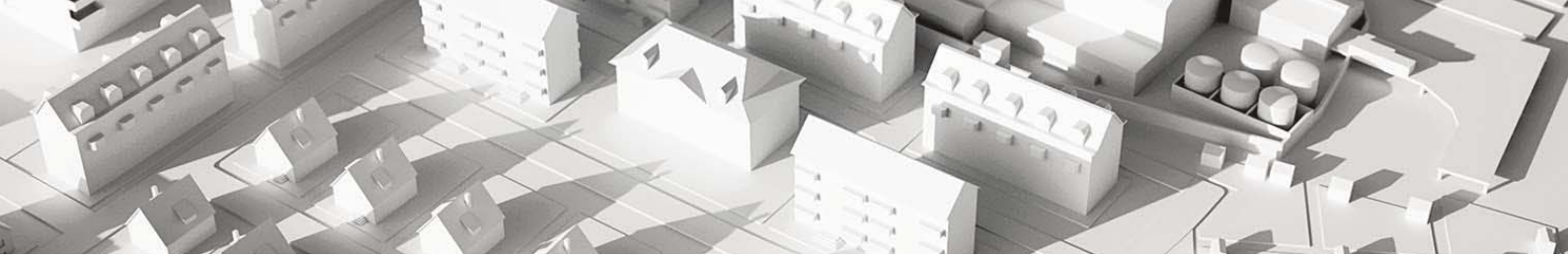
En un mot, tant en Thurgovie qu'en Argovie, les stores, les toits et les parois / façades représentent les plus importants facteurs de coûts. Une situation qu'il convient de prendre en considération pour les mesures de prévention (p. ex. Répertoire suisse de la protection contre la grêle).



III. 24: *comparaison de la proportion du nombre de dommages par éléments de construction par rapport au nombre total des dommages entre l'événement du canton d'Argovie en 2011 et celui de Thurgovie en 2009.*



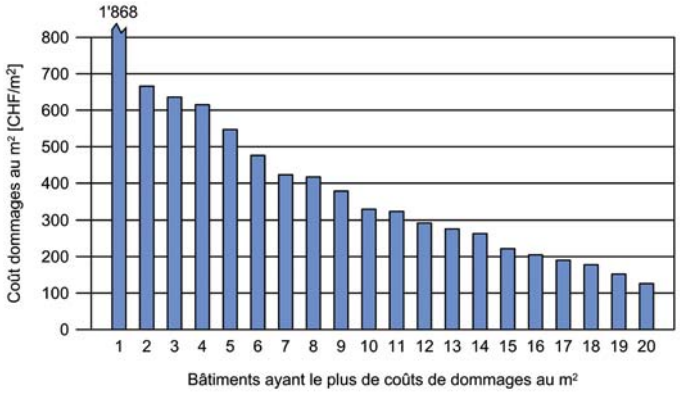
III. 25: *comparaison de la proportion du montant de dommages par éléments de construction par rapport au montant total des dommages entre l'événement du canton d'Argovie en 2011 et celui de Thurgovie en 2009.*



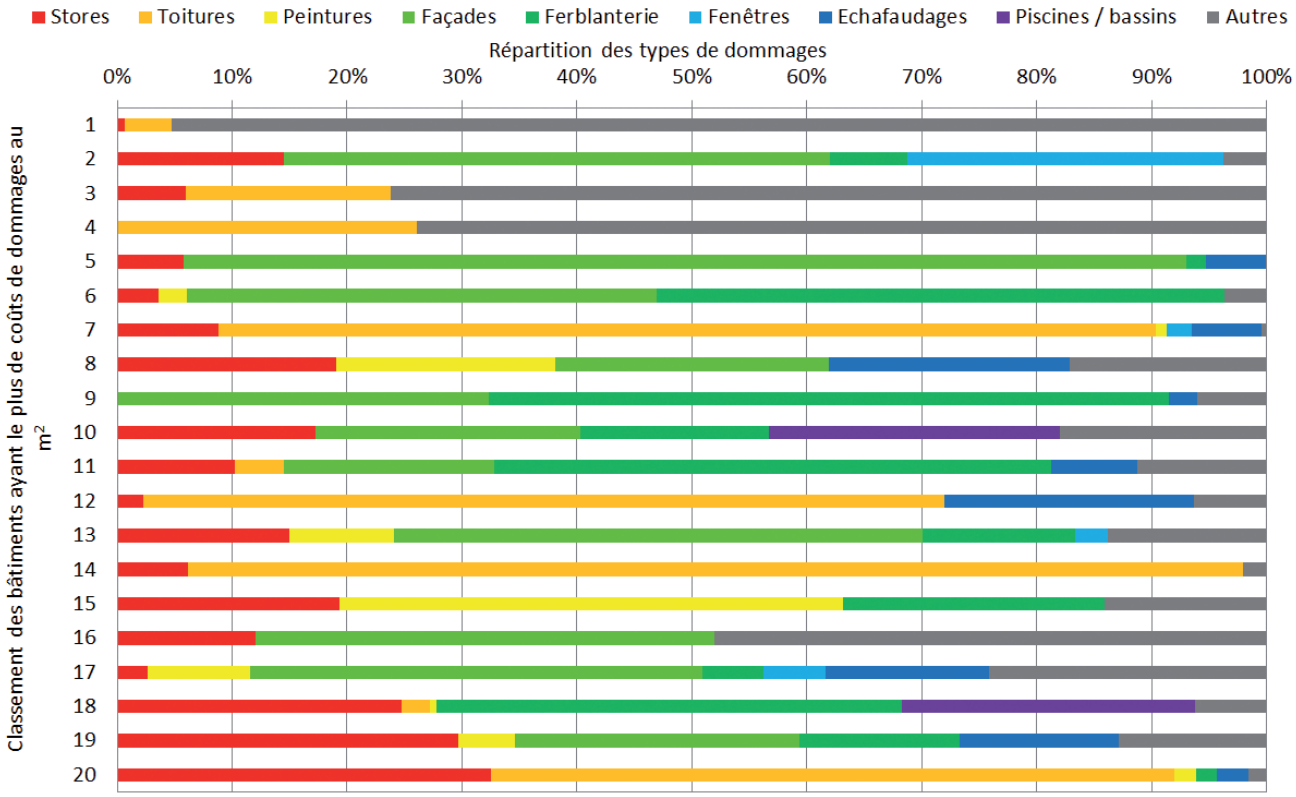
3.6 Les vingt bâtiments ayant les dommages les plus chers au m²

Les dommages d'un montant particulièrement élevé présentent un certain intérêt. Les vingt bâtiments avec les montants de dommages les plus élevés par surface au sol ont donc fait l'objet d'une analyse plus approfondie (ill. 26). C'est surtout le bâtiment atteignant une valeur maximum extraordinaire de 1'868 francs/m², soit un montant total des dommages de près de 375'000 francs, qui ressort de l'analyse. Les données ne permettent malheureusement pas d'attribuer précisément la majeure partie de ce montant élevé pour ce bâtiment à une catégorie d'élément de construction concrète (ill. 27). Avec un montant de dommages de 660 francs / m² de surface, le bâtiment occupant la deuxième place se trouve nettement en retrait. Dans ce bâtiment, c'est la façade qui est responsable de la plus grande partie du montant. À la vingtième position, ce montant atteint finalement 126 francs/ m².

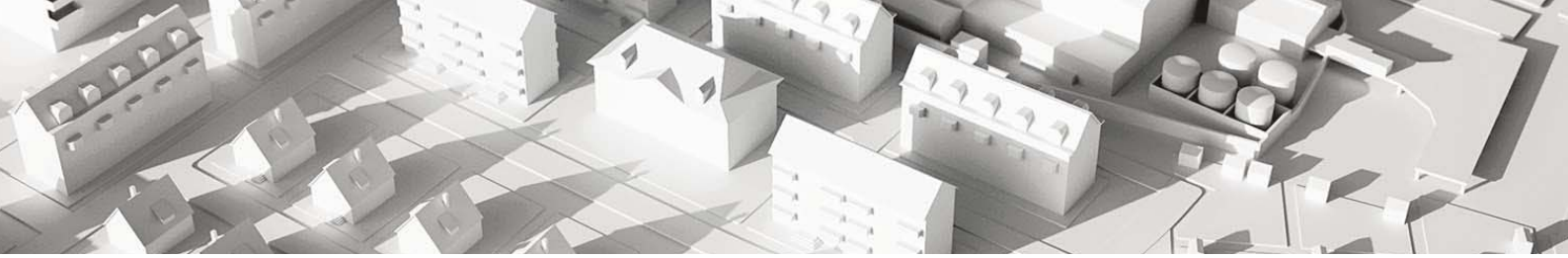
Selon la description contenue dans le fichier de dommages, les stores, les toits, les façades et les éléments en tôle et en métal constituent également la majeure partie du montant des dommages pour ces vingt bâtiments.



III. 26: *les vingt bâtiments ayant les dommages les plus chers au m². La colonne avec la valeur maximale de 1'868 francs / m² a été coupée pour permettre une meilleure lisibilité du graphique.*



III. 27: *répartition des dommages par catégorie d'élément de construction pour les vingt bâtiments présentant le montant de dommages le plus élevé par surface au sol*



Installations d'énergie solaire : une épée de Damoclès pour les établissements cantonaux d'assurance ?

Dès l'événement de grêle de 2009 dans le canton de Thurgovie (Choffet et al., 2011 ; UIR, 2012), la question s'est posée : les installations d'énergie solaire pourraient-elles finir par poser problème aux ECA ? Toujours est-il que l'on peut s'attendre à ce que le « virage énergétique » recherché, en vue de s'éloigner du fossile et de se rapprocher du renouvelable, continue de faire augmenter le nombre d'installations d'énergie solaire sur les toits. Les chiffres des ventes d'éléments photovoltaïques montrent que c'est bien le cas (Swissolar, 2012) : entre 2007 et 2012, la puissance photovoltaïque vendue chaque année en Suisse a fait un bond de presque 10'000 kW à pratiquement 160'000 kW. La « rétribution à prix coûtant du courant injecté (RPC) » allouée depuis le 1er janvier 2009 a sûrement sa part de responsabilité dans le « boom photovoltaïque ».
L'avancée des collecteurs thermiques est un peu moins forte mais quand même évidente : la surface des collecteurs thermiques vendue par année a presque doublé entre 2007 et 2012.

Certaines inquiétudes découlent du fait que le montant moyen des dommages sur les installations d'énergie solaire était relativement élevé par rapport à d'autres éléments de construction, tant en mai 2009 qu'en juillet 2011. Comme le montrent les chiffres de l'analyse de l'événement de grêle de juillet 2011, le dommage moyen des installations d'énergie solaire touchées correspond à :

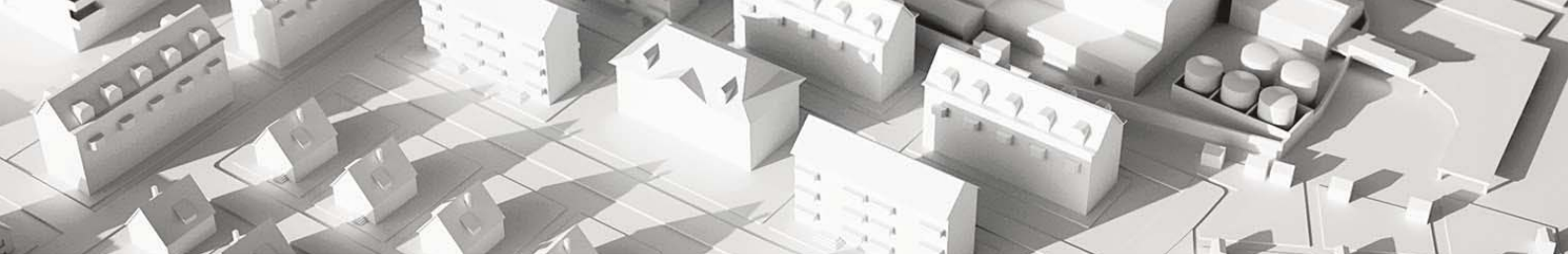
- *environ 1,3 fois celui des toits ou des stores*
- *bien 1,5 fois celui des parois et façades,*
- *environ 2,4 fois celui des éléments en tôle et en métal.*

Faut-il donc s'attendre à l'avenir à une forte augmentation des coûts des dommages dus à la grêle à cause de l'utilisation croissante d'installations d'énergie solaire ?

La réponse n'est pas si simple. La part des dommages sur les installations d'énergie solaire est actuellement assez insignifiante dans les chiffres absolus et en comparaison avec d'autres éléments de construction. Son importance à l'avenir ne peut être évaluée qu'à condition de savoir ce que représente la part des installations d'énergie solaire endommagées par rapport à leur nombre total. C'est là le seul moyen d'en déterminer la vulnérabilité et l'évolution future. D'importants moyens sont toutefois nécessaires pour connaître le nombre des installations d'énergie solaire en place. Le fait est que le problème a aussi été reconnu par les fabricants.

Ill. 28 : *en haut, élément photovoltaïque défectueux. En bas, capteur à tubes endommagé (photos : ECA d'Argovie).*

Par le passé, les capteurs à tubes se sont révélés particulièrement sensibles aux averses de grêle. Ils ne représentent cependant que 10 % environ des surfaces de capteurs installées en Suisse. Pour ce type de construction, il est par ailleurs possible de remplacer des tubes individuellement afin de limiter éventuellement le sinistre. Un coup d'œil au Répertoire suisse de la protection contre la grêle (www.rpgonline.ch) montre toutefois qu'aujourd'hui les collecteurs à tubes et les collecteurs plats sur le marché présentent des degrés de résistance à la grêle de 3 et 4. Des éléments photovoltaïques atteignent même des degrés de résistance à la grêle de 5. Ce n'est donc pas l'existence ou non de produits résistants à la grêle qui pose problème, mais le fait que ces produits soient installés ou non. Et comme pour tout, ici aussi : la qualité a un prix. Les établissements cantonaux d'assurance doivent donc réussir à rendre les architectes et les maîtres d'ouvrage attentifs aux différences de qualité. Ils doivent leur démontrer qu'une variante moins chère au départ peut s'avérer être une fausse solution. Il convient d'évoquer au moins l'éventualité d'exclure les installations qui ne résistent pas suffisamment à la grêle.

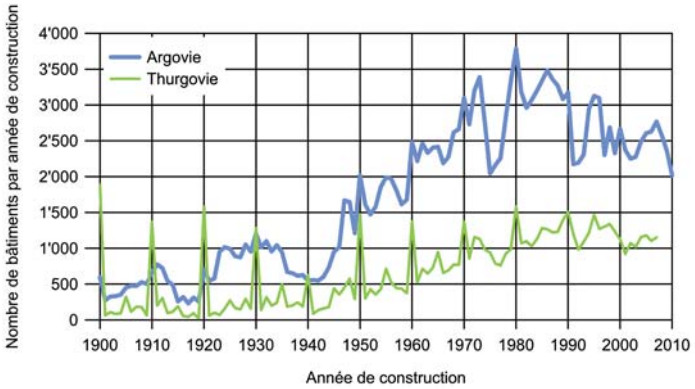


3.7 Dommages en fonction de l'année de construction

Dans l'étude 2009, l'analyse des sinistres en fonction de l'année de construction des bâtiments touchés a abouti à des résultats dont on pouvait tirer des conclusions intéressantes sur la sensibilité à la grêle ainsi que sur les attentes de la clientèle. Un point restait toutefois incertain : s'agissait-il de résultats spécifiques aux cas en question ou bien les résultats pouvaient-ils être transposés à d'autres événements de grêle et d'autres cantons ? On a ainsi pu constater une nette augmentation de la vulnérabilité entre les bâtiments d'habitation anciens et récents. De plus, les données étayaient la thèse selon laquelle des propriétaires d'habitations neuves déclarent leurs sinistres de manière particulièrement pointilleuse.

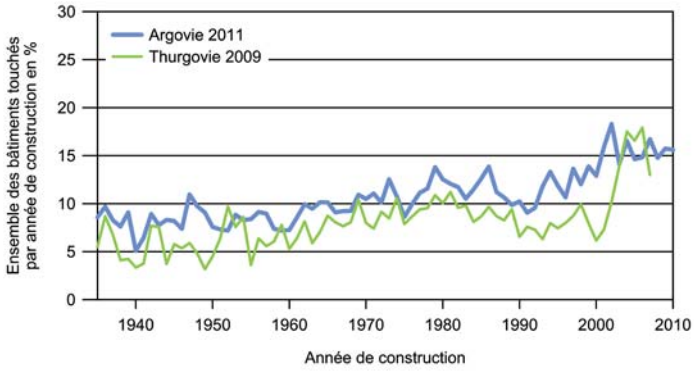
Comme pour la publication UIR (2012), le nombre de bâtiments touchés selon leur année de construction a aussi fait l'objet d'une analyse dans le canton d'Argovie.
Afin de pouvoir procéder à une comparaison avec l'événement du 26 mai 2009, les bâtiments construits à partir de 1935 ont été analysés (18'972 bâtiments endommagés). Comme dans le canton de Thurgovie, la part des bâtiments datant d'avant 1945 est faible : l'essor économique d'après-guerre se reflète nettement dans l'augmentation marquée du nombre de bâtiments (ill. 29). Sans oublier bien sûr que bon nombre de bâtiments anciens ont été démolis entre temps et ont été remplacés par des neufs. Mis à part les pics tous les dix ans (1900, 1910, 1920...) qui sont sensiblement moins marqués sur la courbe d'Argovie, les deux courbes suivent la même évolution si l'on considère que la population du canton d'Argovie équivaut à plus du double de celle du canton de Thurgovie. On reconnaît nettement sur les deux courbes par exemple les baisses au milieu des années 1970 et au début des années 1990 (périodes de récession économique).

L'ill. 30 présente le pourcentage de bâtiments endommagés par les événements de grêle de mai 2009 ou juillet 2011 par rapport à l'ensemble des bâtiments existants pour chaque année de construction à partir de 1935.



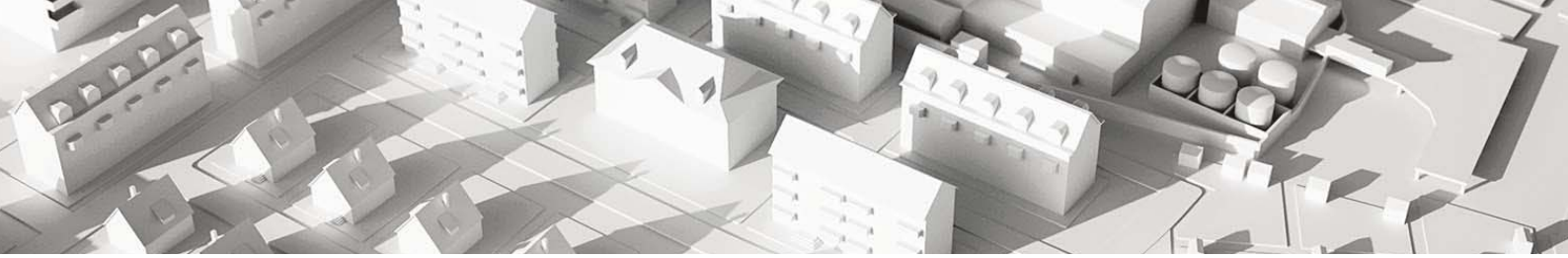
Ill. 29: *nombre de bâtiments par année de construction dans les cantons d'**Argovie** et de **Thurgovie.***

Cela compense ainsi le fait que, comme indiqué sur l'ill. 29, le nombre de bâtiments existants par année de construction est très différemment élevé. Les courbes permettent ainsi de mettre en évidence une sensibilité moyenne à la grêle des bâtiments existants pour chaque année de construction. Lors de la comparaison directe des deux courbes, il ne faut pas oublier que le pourcentage ne dépend pas seulement de la sensibilité à la grêle mais aussi de l'intensité de l'événement. Il apparaît donc plus probable que l'averse de grêle dans le canton d'Argovie ait été en fait plus intense et/ou plus étendue et non pas que les bâtiments de ce canton soient plus sensibles à la grêle. Les deux courbes ont en commun une augmentation de la proportion de bâtiments endommagés au fur et à mesure que l'on avance dans les années de construction. Dans le canton de Thurgovie, les valeurs sont multipliées par trois par rapport aux valeurs de départ. Elles sont presque doublées dans le canton d'Argovie. En raison du plus grand nombre de bâtiments, la courbe d'Argovie évolue de manière plus régulière. Une nette augmentation apparaît toutefois ici aussi entre les années 1990 et 2000. Tandis que 8 % environ des bâtiments des années 1940 ont subi des dommages, ce fut le cas pour près de 15 % des bâtiments construits après l'an 2000.

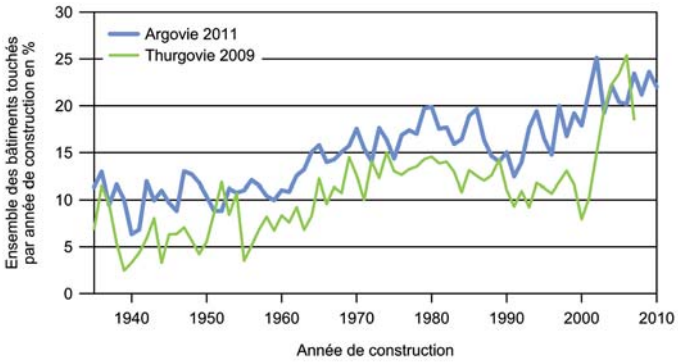


Ill. 30: *pourcentage de **bâtiments endommagés** sur l'ensemble des bâtiments existants dans les communes concernées en **Argovie** et **Thurgovie** en fonction de leur année de construction.*

Comme pour le canton de Thurgovie dans l'étude « Grêle 2009 » (UIR, 2012), les bâtiments d'habitation d'Argovie (code d'affectation 20 - 29) ont été traités séparément (ill. 31). La courbe correspondante révèle une augmentation marquée et relativement régulière à partir des années de construction autour de 1990. La courbe d'Argovie ne présente pas de pic abrupt comme celui de la courbe de Thurgovie à partir de l'an 2000. Le bond de Thurgovie a été interprété dans l'étude précédente par le fait que les propriétaires avaient déclaré particulièrement consciencieusement leurs sinistres sur leurs bâtiments quasi neufs car, habituellement, le premier dommage survenu sur un objet neuf affecte particulièrement le propriétaire.



Les données d'Argovie ne contredisent au moins pas cette interprétation car le même niveau y est atteint. Les valeurs tournent en effet entre 20 et 25 %. Il est intéressant de constater que la courbe d'Argovie révèle une légère tendance à la baisse entre les années de construction de 1980 à 1990, tout comme la courbe de Thurgovie. Une analyse du mode de construction des habitations pendant les périodes en question ainsi qu'au cours des années antérieures et ultérieures serait à cet égard intéressante, quoique difficile.

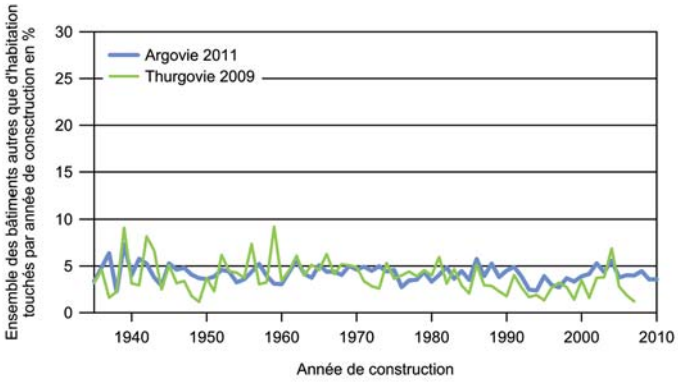


Ill. 31 : *pourcentage* ***d'habitations endommagées*** *(affectation 20–29 du code AEAI) sur l'ensemble des habitations existantes dans les communes concernées en* ***Argovie*** *et* ***Thurgovie*** *en fonction de leur année de construction*

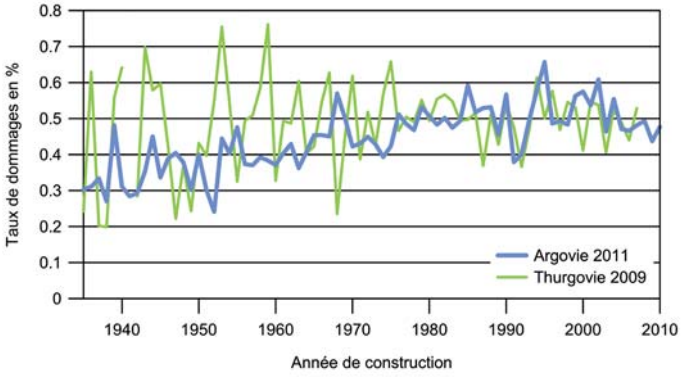
L'ill. 32 présente les courbes correspondantes pour les bâtiments autres que des habitations (codes d'affectation 10–19 ou 30–90). Les deux courbes évoluent de manière très rapprochée dans les niveaux inférieurs et ne montrent pas de tendance claire. Dans le canton d'Argovie, les pourcentages varient entre 4 et 7 % et sont donc ainsi bien en dessous de ceux des habitations. Le problème d'une augmentation de la vulnérabilité à la grêle ou en tout cas de la plus forte sensibilité des propriétaires de bâtiments récents n'est pas manifeste ici. Cela est quelque peu surprenant quand on pense que les bâtiments industriels modernes sont recouverts de tôle et de lés d'étanchéité.

Il est possible d'expliquer en partie les valeurs plus faibles des bâtiments sans affectation d'habitation par le fait que les ECA et les clients s'entendent plus fréquemment que dans le cas d'une habitation sur une indemnité partielle pour des dommages esthétiques et non fonctionnels (p. ex. bosses sur les revêtements en tôle), en particulier si les parties touchées ne sont que peu visibles.

Les courbes présentées précédemment se réfèrent uniquement au pourcentage de bâtiments touchées par année de construction, l'étendue des sinistres n'étant pas prise en considération. Mais la thèse d'une augmentation de la vulnérabilité est-elle aussi étayée par le taux de dommage, c'est-à-dire le rapport entre le montant des dommages et la valeur d'assurance (en d'autres termes : la part des valeurs détruites) ? L'analyse correspondante pour les cantons d'Argovie et de Thurgovie (ill. 33) montre en effet pour les deux courbes une légère augmentation partant d'environ 0,4 % pour atteindre près de 0,5 % entre les bâtiments anciens et les bâtiments récents. La modification est mineure mais elle peut aboutir à des montants non négligeables pour un gros événement : pour un bâtiment d'habitation moyen d'Argovie (code d'affectation AEAI 20) avec une valeur d'assurance de 900'000 francs, l'augmentation du taux de dommage de 0,1 pour cent signifie tout de même un montant de dommage plus élevé de 900 francs. Au vu des 120'000 bâtiments d'habitation environ, dont près de 14 % ont été touchés en 2011, l'économie réalisable lors d'un événement de grêle comparable pourrait être de l'ordre de 10 millions de francs si l'on parvenait à rendre les bâtiments modernes aussi résistants à la grêle que ceux des années 40 !



Ill. 32: *pourcentage de* ***bâtiments autres qu'habitations*** *(affectation 10–19 ou 30–90 du code AEAI) sur l'ensemble des bâtiments existants autres qu'habitations dans les communes concernées en* ***Argovie*** *et* ***Thurgovie*** *en fonction de leur année de construction.*



Ill. 33: *valeurs médianes des taux de dommages des bâtiments d'habitation endommagés (affectation 20–29) dans les cantons d'****Argovie*** *et* ***Thurgovie*** *en fonction de l'année de construction.*

4. Potentiel d'économie par l'utilisation d'éléments de construction avec un indice de résistance à la grêle RG ≥ 3

D'après la carte des dangers de grêle de l'Association des établissements cantonaux d'assurance incendie (ECA, 2007), un bâtiment dans le canton d'Argovie se retrouve environ une fois tous les 50 ans exposé à une averse de grêle avec des grêlons de ≥ 3 cm. L'AEAI recommande donc pour le canton l'utilisation d'éléments de construction présentant un indice de résistance à la grêle de 3 et plus, afin de leur permettre de résister au moins à des grêlons d'un diamètre pouvant atteindre 3 cm. Les répercussions sur le montant des dommages d'une utilisation notable de ce type d'éléments de construction sont évaluées grâce à une analyse correspondante de l'événement de juillet 2011.

Dans un souci de simplification, on a admis que les bâtiments n'avaient subi aucun dommage en dehors des zones où la carte radar avait enregistré les grêlons de plus de 3 cm le jour de l'événement. Ces bâtiments ont été exclus au moyen d'une analyse SIG, leur contribution au montant total des dommages a été déterminée et cette part a été déduite (ill. 34). L'analyse a abouti aux résultats suivants :

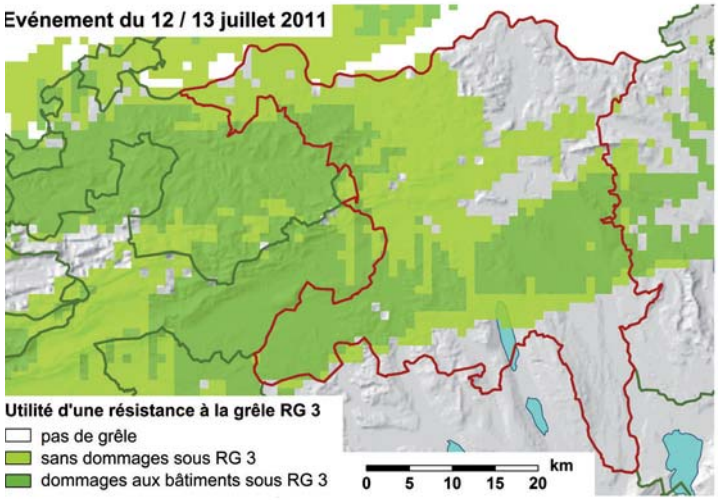
sur les 18'000 bâtiments environ endommagés et géoréférencés, environ 4'100 se situent en dehors de la zone d'intensité où sont tombés des grêlons de plus de 3 cm. Ils ont participé à hauteur de 17 % environ au montant total des dommages de 151 millions de francs (bruts) ou 145 millions de francs (nets). En d'autres termes : l'utilisation importante d'éléments de construction aurait permis d'empêcher environ 25 millions de francs de dommages. L'établissement cantonal d'assurance d'Argovie aurait économisé près de 24 millions de francs en indemnisations (la différence correspond à la franchise des propriétaires).

Après l'événement du 23 juillet 2009, le potentiel d'économie pour les cantons de Vaud, Fribourg, Berne et Lucerne a été évalué dans l'étude portant sur ce sujet entre 5 et 15 %, ce qui correspond à la somme de 15 à 40 millions de francs (UIR, 2012).

Il s'agit bien sûr d'une simplification sommaire puisque l'on a supposé qu'absolument aucun sinistre n'était survenu dans les régions où les grêlons présentaient un diamètre ≤ 3 cm. On peut considérer en outre qu'une application conséquente de la consigne RG ≥ 3 aurait contribué à réduire les dommages également dans les régions touchées par des grêlons plus gros. Par ex. les coupoles d'éclairage à double vitrage ou les toits en fibres-ciment auraient été certes endommagés mais sans être complètement brisés, ce qui aurait permis d'éviter des dommages supplémentaires dus à l'infiltration des eaux de pluie. Par ailleurs, les tailles de grêlons déterminées à partir des données radar ne sont pas des valeurs exactes et on ne connaît pas non plus la part des éléments de construction déjà installés à ce jour présentant un indice RG ≥ 3 sur l'ensemble des bâtiments assurés par l'ECA d'Argovie. La valeur de 17 % pour le potentiel d'économie ne doit donc pas être considérée comme un chiffre exact. Ce chiffre est toutefois tout à fait plausible et il justifie de façon saisissante le potentiel de cette mesure de prévention.

Remonter les stores pendant une averse de grêle constitue une mesure encore plus efficace pour faire diminuer les sinistres : comme le montre l'ill. 22, le potentiel d'économie correspondant pour juillet 2011 aurait atteint 35,4 % de la somme totale des dommages, ce qui équivaut à environ 50 millions de francs en chiffres absolus. Peu importe que les stores soient remontés à la main ou automatiquement. En cas d'intervention manuelle, il est toutefois difficile, pour des raisons évidentes, de garantir la fiabilité requise.

Le projet AEAI « Alerte grêle », décrit à l'alinéa 3.5, pour que se déclenche automatiquement la remontée des stores, vise justement à combler cette lacune



Ill. 34 : *étendue des régions touchées par des grêlons > 3 cm (vert foncé) et ≤ 3 cm (vert clair) dans le canton d'Argovie selon les données radar de meteoradar (cf ill. 1). Zones non colorées : soit elles n'ont pas été touchées par l'averse, soit c'est du grésil et/ou de la pluie qui est tombé (bases cartographiques : swisstopo).*

5. Analyse de la relation dommages – orientation des bâtiments

5.1 Introduction

S'il est connu que l'altération des matériaux les rend plus vulnérables à la grêle (e.g. Cullen, 1992; Crenshaw & Koontz, 2001; Hohl et al., 2002), l'influence de l'orientation des bâtiments sur leur vulnérabilité n'a à ce jour pas été étudiée. L'altération est notamment déterminée par l'orientation du bâtiment, surtout en ce qui concerne la couverture des toits en pente. De plus, l'orientation d'un bâtiment peut aussi être déterminante si l'orage de grêle est accompagné de vent. Afin d'étudier la relation entre les dommages et l'orientation des bâtiments par rapport au nord, respectivement par rapport à la trajectoire suivie par la cellule de grêle, deux analyses ont été réalisées. Pour ces analyses, il a été estimé, à partir des données radar disponibles, que la trajectoire moyenne suivie par la cellule de grêle des 12 et 13 juillet 2011 était de 73°, c'est-à-dire que l'orage se déplaçait de OSO vers ENE. La première analyse concerne la totalité des bâtiments du canton d'Argovie. La deuxième étude, plus précise dans la manière de calculer les orientations des bâtiments, porte sur les bâtiments de deux communes du canton fortement touchées.

Lors de la comparaison avec la trajectoire suivie par l'orage de grêle, la totalité des dommages par bâtiment a été prise en compte, ainsi que les dommages seulement aux toits et les dommages seulement aux stores. Pour ce qui est des dommages comparés à l'orientation par rapport au nord, les mêmes catégories ont été étudiées, mais seuls les dommages aux toits sont présentés, puisque l'effet supposé du vieillissement en fonction de l'orientation affecte surtout les tuiles.

5.2 Méthodologie

Analyse à l'échelle du canton d'Argovie

Première étape dans l'analyse cantonale : le calcul des orientations de l'ensemble des bâtiments argoviens.

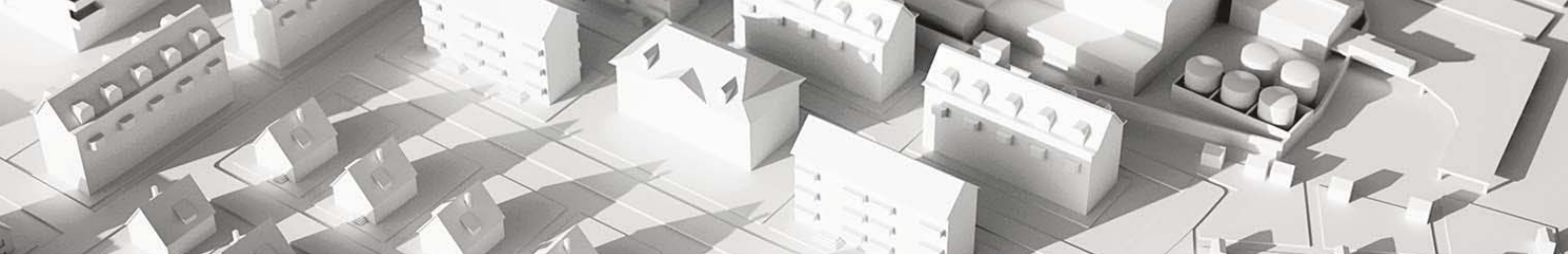
Ce calcul a pu être effectué grâce à une fonction du système d'information géographique « ArcMap 10® » nommée « Calculate Polygon Main Angle » sur la base des données « VECTOR25 »[4] de l'Office fédéral de topographie (swisstopo). L'hypothèse de travail est que le faîte du toit d'un bâtiment est orienté dans le sens du plus long côté du bâtiment. Si cette hypothèse est particulièrement vraie pour la majorité des immeubles d'habitation avec toiture en deux pans, elle ne l'est pas toujours pour des bâtiments au périmètre presque carré (le faîte du toit pouvant se trouver aussi bien dans un sens que dans l'autre) ou pour les bâtiments à géométrie autre que rectangulaire (ill. 35).

Autre problématique de cette méthode : le polygone de la carte VECTOR25 ne correspond pas toujours à l'apparence dans la vue aérienne rectifiée (orthophoto). Les emplacements des bâtiments ont été géolocalisés à l'aide des données GéoPost[5], puis liés spatialement avec les polygones des bâtiments de la carte VECTOR25. Les coordonnées de position de chaque bâtiment endommagé ont été reliées au polygone le plus proche, à condition que celui-ci se trouve à moins de 10 m. Sinon, aucune liaison n'a lieu. Le but de cette condition est d'éviter de lier des dommages à des bâtiments auxquels ils n'appartiennent pas

Il. 35: *image illustrant les liens entre les bâtiments de la carte VECTOR25 et les coordonnées de bâtiments selon la base de données d'adresses GeoPost. Un point de coordonnées et un polygone de bâtiment sont ensuite reliés si le premier se situe à l'intérieur du polygone ou s'il se trouve dans une zone autour de celui-ci sans dépasser une distance de 10 m. Les points bleus correspondent à une attribution réussie, les rouges représentent une attribution qui a échoué (distance par rapport au bâtiment suivant > 10 m ou bâtiment pas encore contenu dans la carte VECTOR25). L'orientation des bâtiments n'a été calculée que pour les points bleus.*

[4] Modèle numérique de paysage de la Suisse dont le contenu et la géométrie sont basés sur la carte nationale au 1:25'000. Les objet naturels et artificiels du paysage sont représentés sous forme de vecteurs.

[5] Base de données d'adresses de la Poste, comprenant entre autres les coordonnées de position des entrées de bâtiments.



En conséquence, cette manière de calculer l'orientation d'un bâtiment est correcte à trois conditions :

1. le faîte du toit du bâtiment est orienté du même côté que le plus long côté dudit bâtiment,
2. le polygone du cadastre suisse illustrant l'empreinte au sol réelle du bâtiment correspond à la réalité,
3. les coordonnées des bâtiments endommagés tirées de GeoPost se situent à moins de 10 m du polygone ou sont à l'intérieur de celui-ci sur la carte VECTOR25.

Si les orientations de bâtiments obtenues par cette méthodologie sont parfois approximatives, cette hypothèse de travail a comme avantage l'obtention en peu de temps et de façon standardisée des orientations d'un grand nombre de bâtiments. L'orientation calculée des bâtiments a été observée par rapport au sens de déplacement de la cellule de grêle et par rapport au nord. Le taux de dommage a été calculé, c'est-à-dire le ratio entre le montant des dommages (total / stores / toiture) et la valeur d'assurance.

Analyse locale à Bremgarten et à Widen

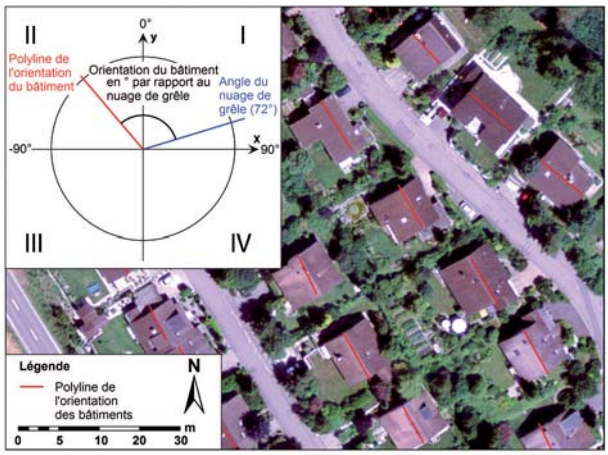
L'analyse locale a été réalisée sur les deux communes voisines Bremgarten et Widen, dans l'est argovien. Bremgarten, bourgade de 6'423 habitants fin 2011, est située à 390 m d'altitude et est traversée par la Reuss. La commune comprenait 3'702 logements et 12 exploitations agricoles au moment de l'événement. Widen, qui comptait 3'536 habitants et 7 exploitations agricoles en 2011, est une commune orientée sud-ouest située sur un flanc de colline à une altitude variant de 470 m à 700 m. Bremgarten est située au pied de cette colline.

Ces deux localités comprennent un large spectre de bâtiments tels que des villas individuelles ou des immeubles locatifs en passant par des bâtiments historiques au centre-ville. Pour effectuer l'analyse, il importait tout d'abord de déterminer l'orientation des bâtiments. Les bâtiments spéciaux tels que les bâtiments industriels ont été écartés de l'analyse.

L'orientation du faîte du toit a été déterminée sur la base d'orthophotos de swisstopo datant de 2006, soit 5 ans avant l'événement. La résolution des orthophotos est de 25 cm.

Pour chaque faîte de toit compris dans le périmètre de l'analyse, une ligne a été tracée manuellement dans le SIG (polyligne). Les coordonnées X et Y des points de départ et de fin de chaque ligne ont été sauvegardés.
Les orientations des faîtes ont ensuite été calculées à partir de ces coordonnées par trigonométrie dans le logiciel Matlab® 2013. Les orientations en degrés de chaque polyligne par rapport à la trajectoire suivie par la cellule de grêle et par rapport au nord ont été calculées dans un premier temps sur les quatre quadrants, (-180° à 180°), puis rapportées sur les deux quadrants puisque les orientations des faîtes avec un angle α par rapport au nord (azimut) sont équivalentes aux orientations des faîtes de α + 180°. Les orientations ont ensuite été reliées aux coordonnées des bâtiments ainsi qu'aux données de dommages par les numéros de contrats d'assurance des bâtiments.

Les bâtiments construits ou transformés structurellement de manière significative entre 2006 et 2011 n'apparaissant pas sur les orthophotos, leur orientation n'a donc pas pu être déterminée.



III. 36: *caractérisation de l'orientation des faîtes par le SIG ArcMap 10® grâce à une orthophoto (prise de vue : swisstopo).*

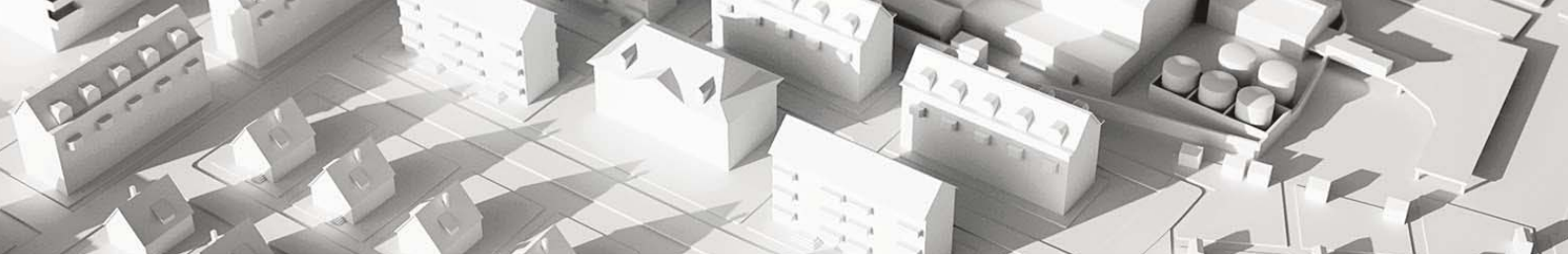
5.3 Résultats de l'analyse à l'échelle du canton

Les analyses ont porté sur les dommages dans leur ensemble (désignés par « dommage totaux » ci-après). Elles ont été menées d'autre part pour les dommages aux stores ainsi qu'aux toits. En ce qui concerne l'analyse par rapport au nord, seuls les résultats pour les dommages aux toits sont présentés. Chaque résultat d'analyse est illustré par deux graphiques :

- Un histogramme présentant la proportion de bâtiments endommagés en fonction de leur orientation.
- Un box plot représentant le rapport entre taux de dommage et orientation du bâtiment.

Données

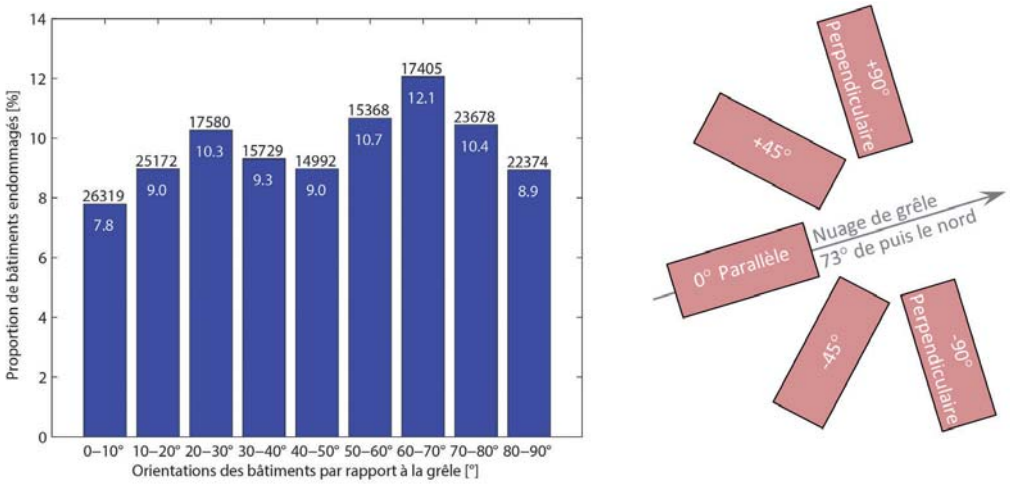
Pour le calcul de l'orientation des bâtiments, 139'076 orientations de polygones de bâtiments ont été définies dans la base de données de VECTOR25. Les 219'042 bâtiments assurés par l'ECA d'Argovie ont pu être géoréférencés avec la base de données GeoPost et reliés avec la base de données VECTOR25 et les orientations calculées.



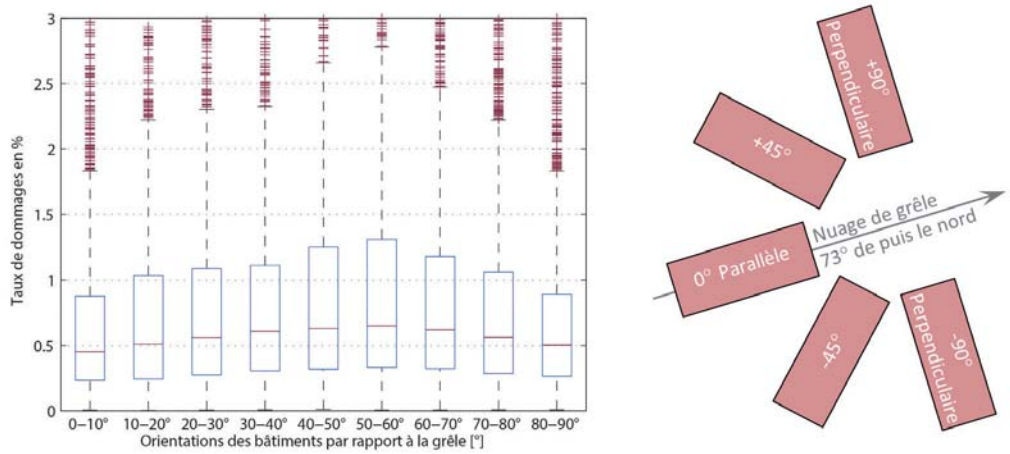
L'orientation de 179'923 bâtiments assurés a ainsi pu être déterminée. Parmi ces bâtiments, il y a beaucoup de maisons mitoyennes pour lesquelles plusieurs coordonnées se retrouvent dans un même polygone de la carte VECTOR25. Ces 179'923 bâtiments sont liés aux 53'495 dommages individuels (plusieurs dommages possibles par bâtiments) dont 13'443 dommages aux stores et 5'068 dommages aux toits. Il faut comprendre par taux de dommage d'un bâtiment le quotient « montant des dommages divisé par valeur d'assurance ».

Dommages totaux

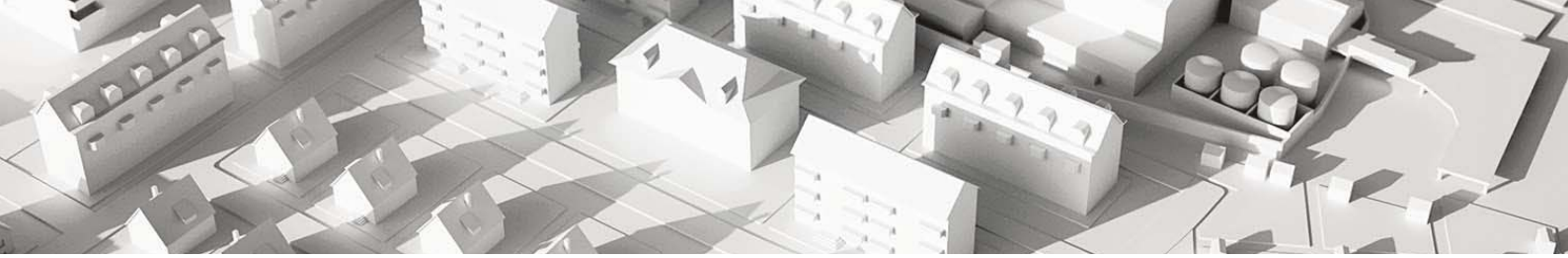
Les proportions de bâtiments endommagés selon leur orientation varient entre 7,8 % (pour des orientations comprises entre 0° et 10°, c'est-à-dire pour les bâtiments les plus parallèles à la trajectoire de la cellule de grêle) et 12,1 % (orientation entre 60° et 70°). Les bâtiments dont l'axe du faîte diverge fortement de la trajectoire suivie par l'orage (entre 50° et 80°) sont dans l'ensemble beaucoup plus fréquemment endommagés (taux de bâtiments endommagés entre 10,4 % et 12,1 %) que les bâtiments dont la longueur diverge moins, entre 0 et 50 % (taux de bâtiments endommagés entre 7,8 % et 10,3 %, voir ill. 37).



III. 37: *proportion de bâtiments endommagés, l'orientation des bâtiments étant classée par rapport à la trajectoire de la cellule de grêle de 0 à 90°. Les pourcentages sont indiqués en blanc. Les valeurs inscrites au-dessus des barres indiquent le nombre de bâtiments appartenant à la classe d'orientation.*



III. 38: *taux de dommages des bâtiments endommagés, l'orientation des bâtiments étant classée par rapport à la trajectoire de la cellule de grêle de 0 à 90°.*



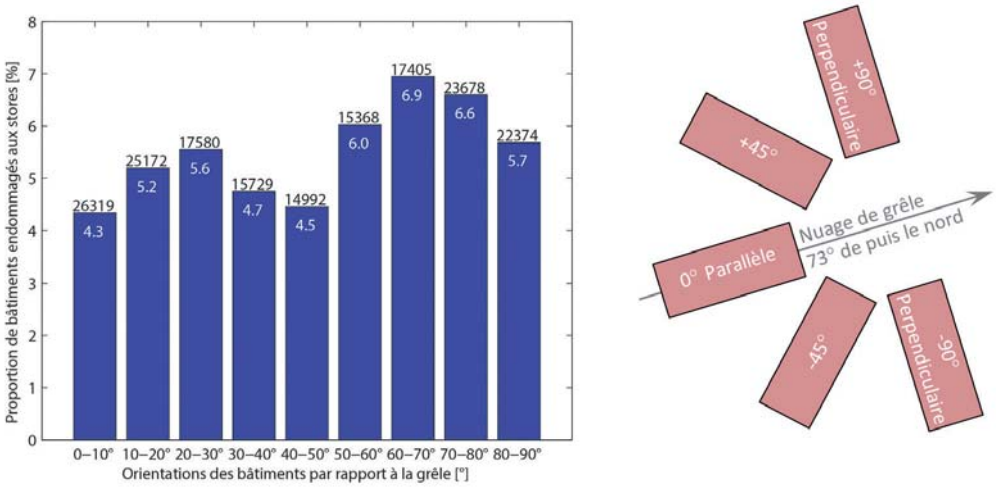
Les taux de dommages médians varient entre 0,45 % (orientation de 0 à 20° par rapport à la trajectoire de la cellule) et presque 0,65 % (orientation de 40 à 60°) ; voir ill. 38.

Dommages aux stores

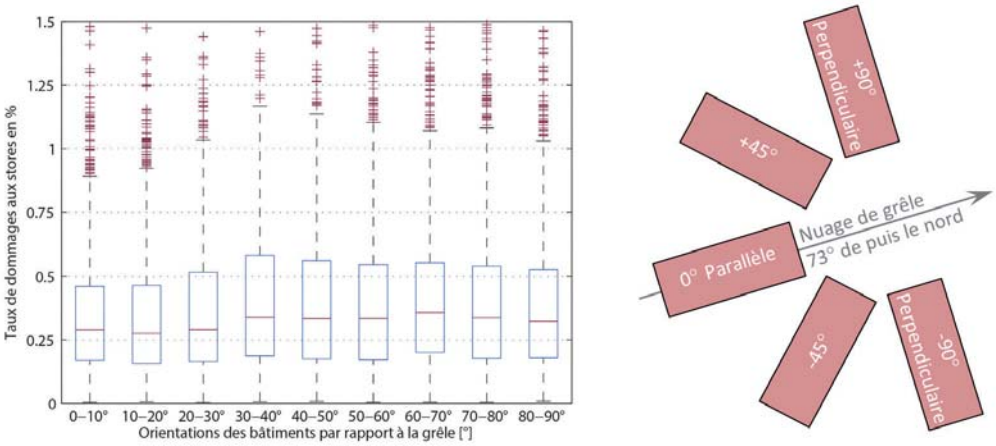
La proportion des bâtiments dont les stores sont endommagés varie entre 4,3 % pour les classes présentant les degrés de divergence les plus faibles par rapport à la trajectoire de la cellule et 6,9 % pour les classes dont la divergence est située entre 60° et 70°. Ces valeurs sont ainsi comparables à celles des dommages totaux.

Les stores des bâtiments orientés entre 50° et 90° par rapport à la trajectoire de la cellule sont endommagés dans 5,7 à 6,9 % des cas contre 4,3 % à 5,6 % pour les bâtiments dont l'orientation est située entre 0° et 50° (ill. 39).

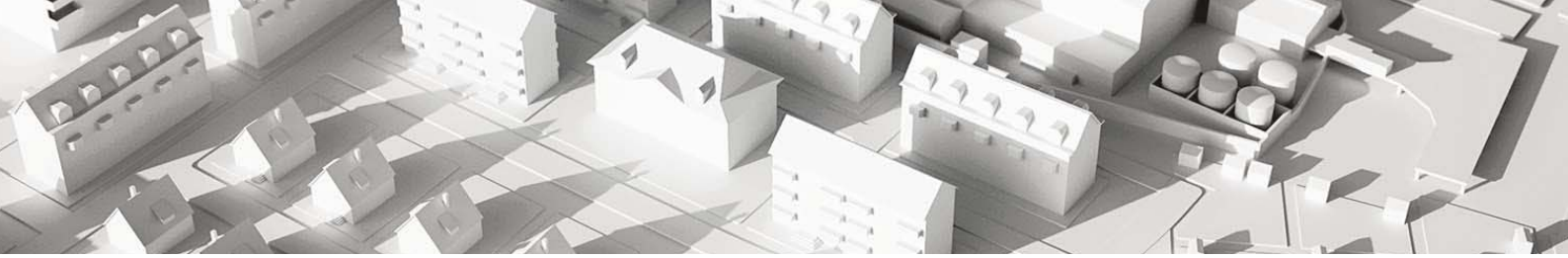
Les taux de dommages médians varient entre 0,28 % (orientation de 0 à 20° par rapport à la trajectoire de la cellule) et 0,36 % (orientation de 60 à 70°) ; voir ill. 40. Le taux des dommages aux stores dépend ainsi très faiblement de l'orientation des bâtiments



Ill. 39: *proportion de bâtiments endommagés, l'orientation des bâtiments étant classée par rapport à la trajectoire suivie par la cellule de grêle de 0 à 90°. Les pourcentages sont indiqués en blanc. Les valeurs inscrites au-dessus des barres indiquent le nombre de bâtiments appartenant à la classe d'orientation.*



Ill. 40: *taux de dommages des stores de bâtiments endommagés, l'orientation des bâtiments étant classée par rapport à la trajectoire suivie par la cellule de grêle de 0 à 90°.*



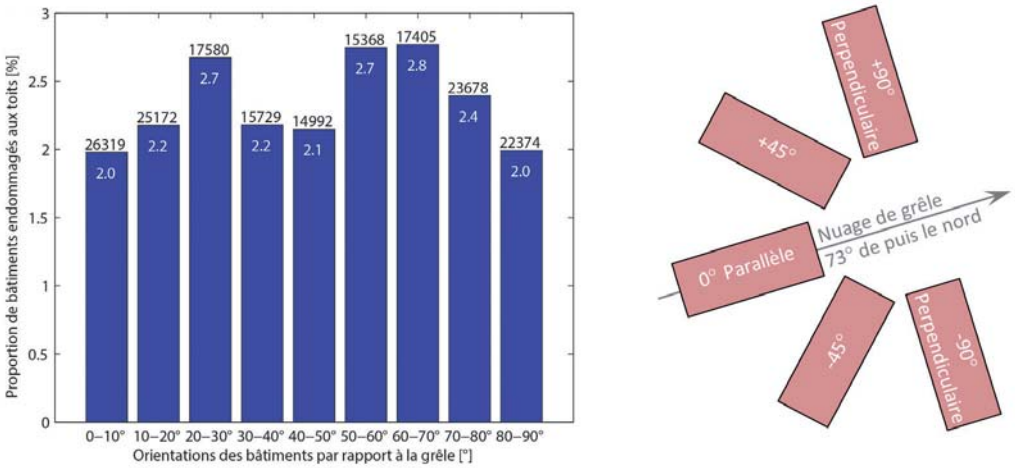
Dommages aux toits

Les proportions de bâtiments dont le toit a été endommagé selon leur orientation par rapport à la trajectoire de la grêle varient entre 2 % (orientation entre 0 et 10° et entre 80 et 90°) et 2,8 % (orientation entre 50 et 70°). Ces chiffres sont comparables aux valeurs des bâtiments dont les stores ont été touchés. La répartition présente un maximum de 2,7 % pour une orientation entre 20 et 30 ° (ill. 41).

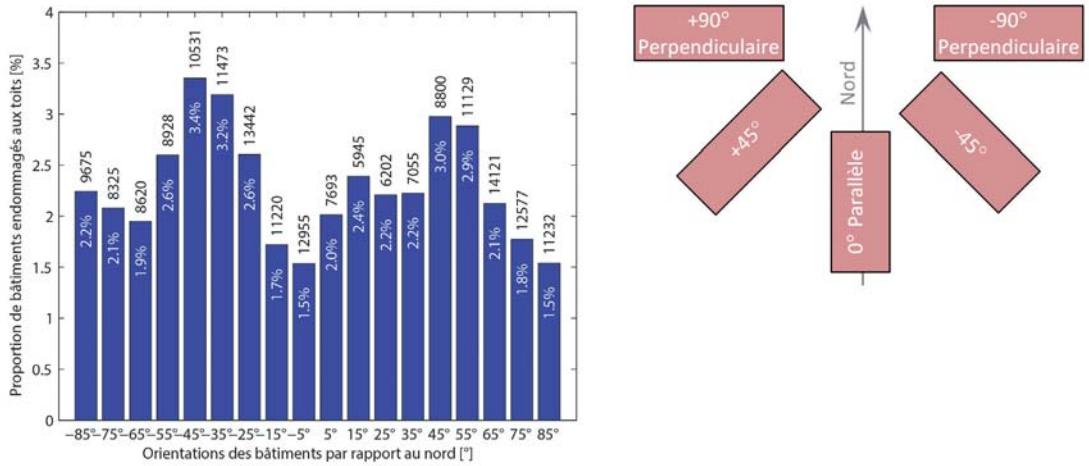
Le diagramme en barres des proportions de bâtiments endommagés des bâtiments dont la toiture a été endommagée selon leur orientation par rapport au nord présente deux pics :

au nord-est et au nord-ouest. Le taux de dommage varie entre 1,5 et 3,4 % (ill. 42).

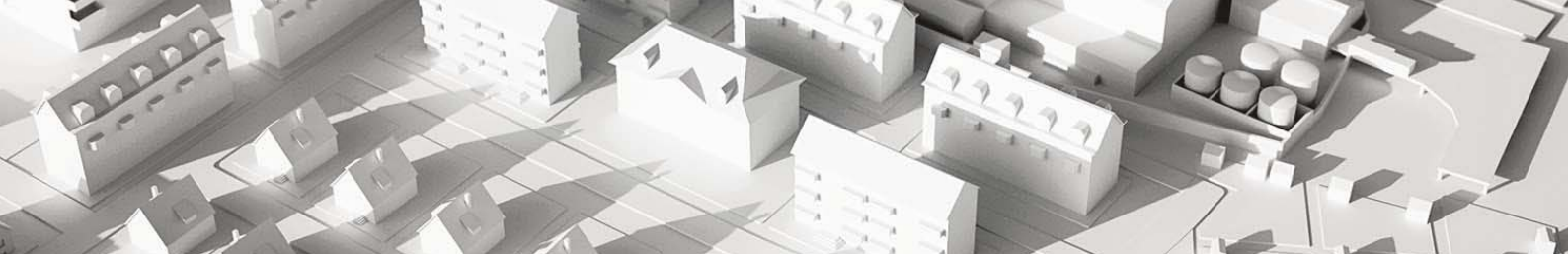
Le taux de dommage des bâtiments dont la toiture a été endommagée ne varie que faiblement selon leur orientation par rapport à la trajectoire suivie par la grêle. Il se situe entre 0,18 et 0,28 % (ill. 43). Logiquement, il en est de même pour le taux de dommage selon l'orientation par rapport au nord (ill. 44).



Ill. 41 : *Proportion de bâtiments dont la toiture est endommagée selon leur orientation par rapport à la trajectoire suivie par la cellule de grêle de 0 à 90°. Les pourcentages sont indiqués en blanc. Les valeurs inscrites au-dessus des barres indiquent le nombre de bâtiments appartenant à la classe d'orientation.*



Ill. 42 : *proportion de bâtiments dont la toiture a été endommagée selon leur orientation par rapport au nord (0°), classés de -90° (est) à +90° (ouest). Les pourcentages sont indiqués en blanc. Les valeurs inscrites au-dessus des barres indiquent le nombre de bâtiments appartenant à la classe d'orientation.*

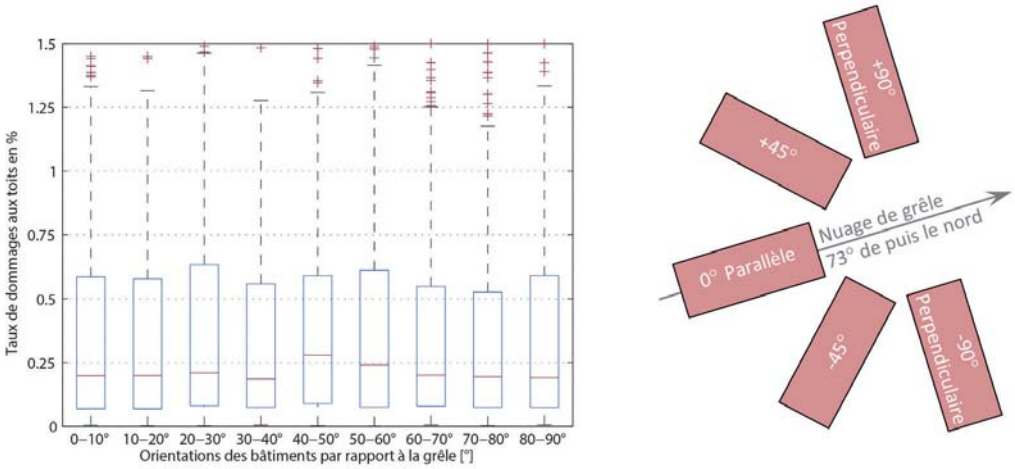


5.4 Résultats de l'analyse locale

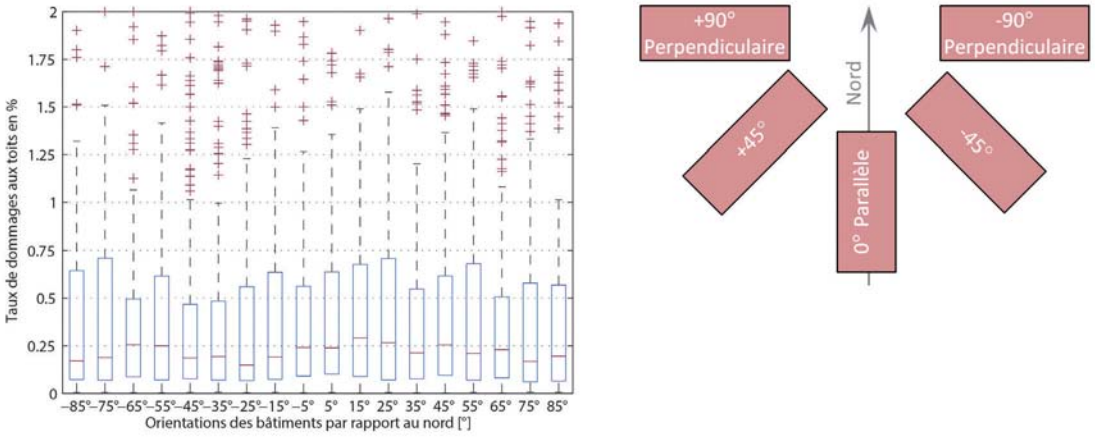
Avant d'examiner de plus près les résultats de l'analyse locale, il convient de rappeler que le faible nombre de bâtiments pris en compte dans cette analyse ne permet pas d'obtenir des valeurs absolument fiables mais délivre seulement certaines tendances. C'est pour cette raison que les graphiques présentent seulement 9 classes d'orientation par rapport au nord au lieu de 18, le faible nombre dans chaque classe ne permettant pas de tirer des conclusions fiables pour un si grand nombre de classes.

Données

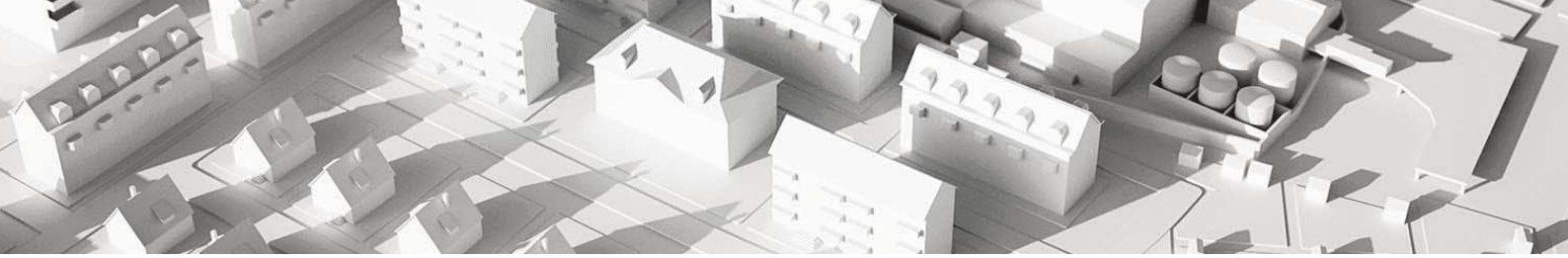
1'931 orientations de toits au total ont été définies manuellement et calculées au moyen de la vue aérienne (orthophoto) dans le logiciel SIG ArcMap®. Le nombre de dommages individuels dans ces deux communes est de 3'725 cas (plusieurs dommages possibles par bâtiment), dont 906 dommages aux stores et 418 dommages aux toits. Tous ces dommages sont pris en compte dans l'analyse locale. Le taux de dommage d'un bâtiment correspond au quotient du montant des dommages (dommages totaux ou dommages aux stores ainsi qu'aux toits) et de la valeur d'assurance.



III. 43: *taux de dommages de la toiture des bâtiments endommagés en fonction de leur orientation classée par rapport à la trajectoire de la cellule de grêle de 0 à 90°.*



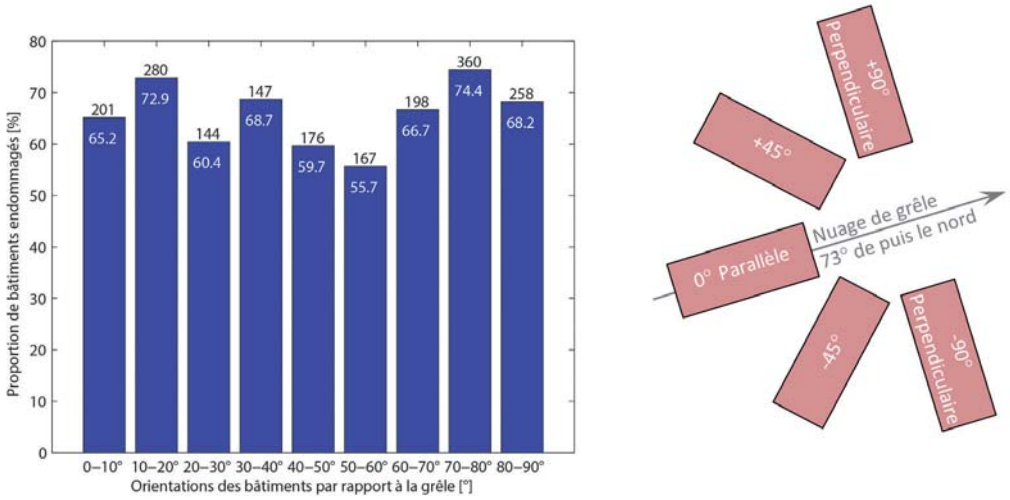
III. 44: *taux de dommages de la toiture des bâtiments endommagés en fonction de leur orientation, classée par rapport au nord de -90 à +90°.*



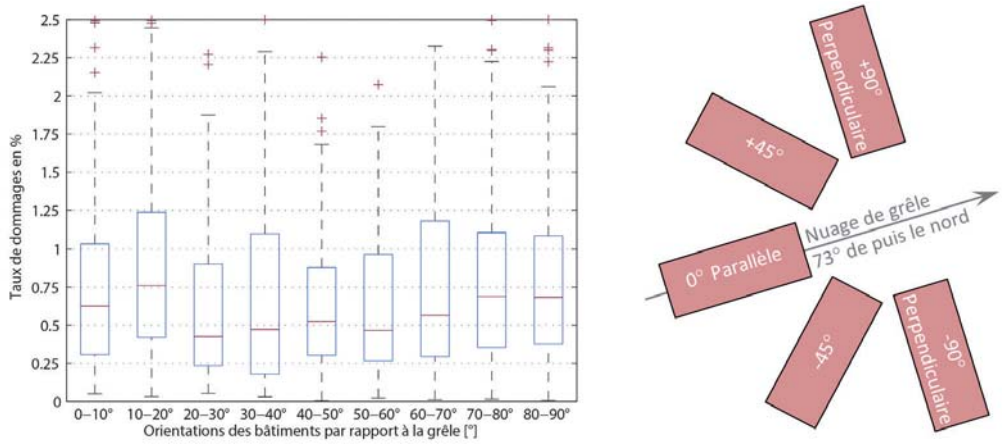
Dommages totaux

Il apparaît que la proportion de bâtiments endommagés selon leur orientation par rapport à la trajectoire de la grêle dans les communes de Bremgarten et Widen est la plus faible dans la classe d'orientation entre 50 et 60° avec 55,7 % (ill. 45). Pour les bâtiments orientés à peu près transversalement (catégorie 70 - 80°), la proportion s'élève à 74,4 %. Elle est de 65 % pour les bâtiments parallèles ou presque à l'orage. Il n'en ressort toutefois aucune tendance nette.

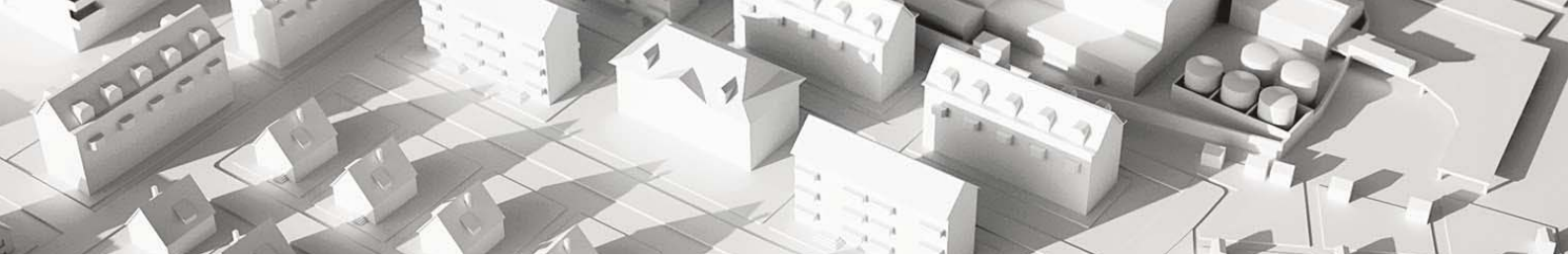
Le taux de dommage des bâtiments endommagés révèle en grande partie des valeurs similaires, quelle que soit l'orientation du bâtiment par rapport à la trajectoire de la grêle



Ill. 45: *proportion de bâtiments endommagés à Bremgarten et Widen selon l'orientation du faîte par rapport à la trajectoire de la cellule de grêle de 0 à 90°. Les pourcentages sont indiqués en blanc. Les valeurs inscrites au-dessus des barres indiquent le nombre de bâtiments appartenant à la classe d'orientation.*



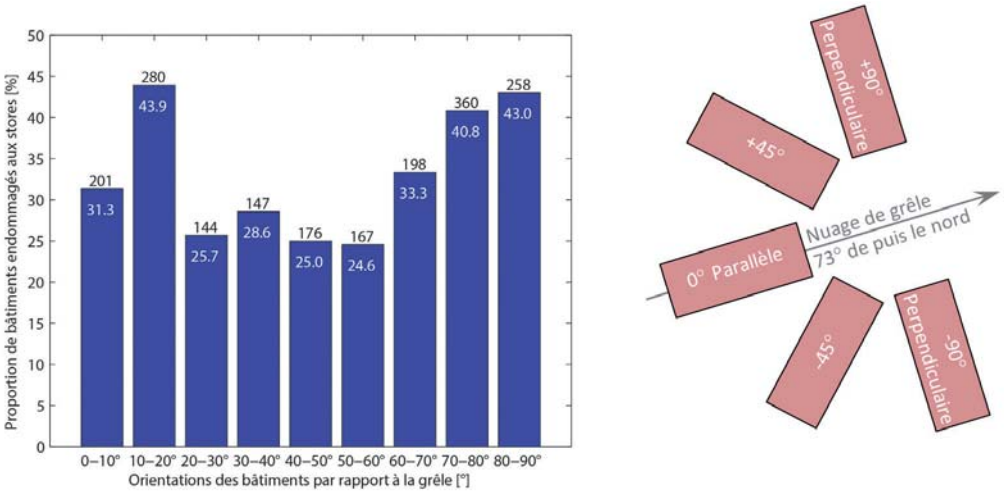
Ill. 46: *taux de dommages des bâtiments touchés à Bremgarten et Widen selon leur orientation par rapport à la trajectoire de la cellule de grêle de 0 à 90°.*



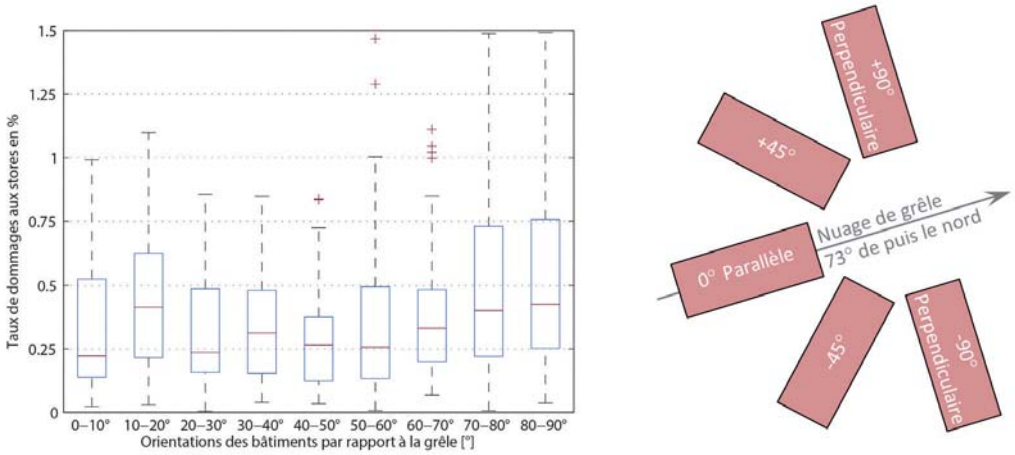
Dommages aux stores

Selon l'ill. 47, la proportion des bâtiments dont les stores ont été endommagés est la plus faible pour les deux communes avec 24,6 % lorsque l'orientation par rapport à la trajectoire de la grêle se situe dans la classe 50–60°. Elle est la plus élevée dans la classe 10–20° avec 43,9 % ainsi que dans la classe transversale à l'orage (80–90°) avec 43,0 %. Il semble que les proportions ont légèrement tendance à être plus élevées pour les bâtiments dont l'orientation est supérieure à 60° par rapport à la trajectoire suivie par la grêle. Mais le pic entre 10–20° semble plutôt indiquer que cette constatation n'est pas significative.

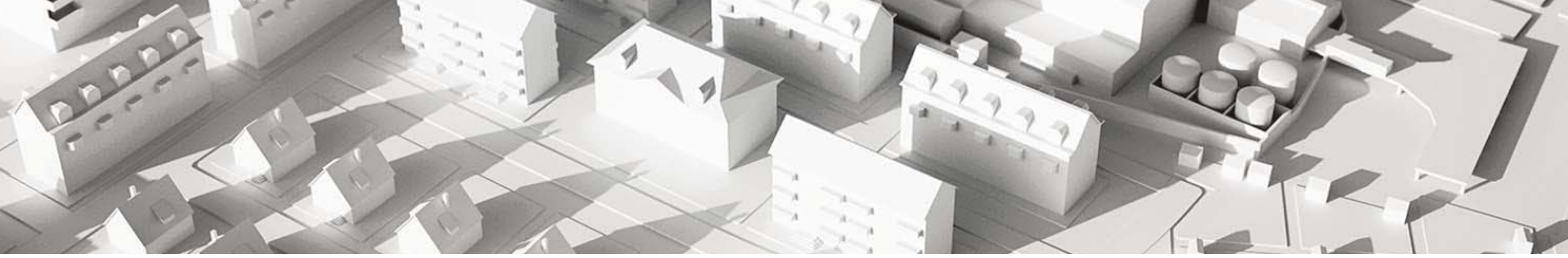
Les valeurs médianes des taux de dommages aux bâtiments dont les stores ont été endommagés dans les communes de Bremgarten et Widen selon leur orientation par rapport à la trajectoire de la grêle sont comprises entre 0,23 % et 0,44 % (ill. 48). Elles reflètent largement les relations de l'ill. 47. Elles montrent ainsi les valeurs les plus élevées en cas d'orientation transversale par rapport à la trajectoire de la grêle ainsi que dans la classe 1–20°.



Ill. 47: *proportion de stores endommagés dans les communes de Bremgarten et Widen selon leur orientation par rapport à la trajectoire de la cellule de grêle de 0 à 90°. Les pourcentages sont indiqués en blanc. Les valeurs inscrites au-dessus des barres indiquent le nombre de bâtiments appartenant à la classe d'orientation.*



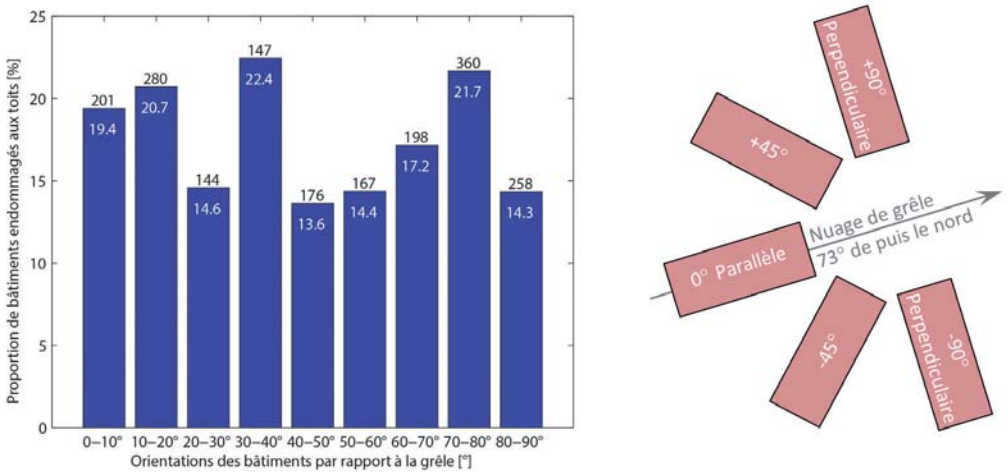
Ill. 48: *taux de dommages sur les stores endommagés dans les communes de Bremgarten et Widen selon leur orientation par rapport à la trajectoire de la cellule de grêle de 0 à 90°.*



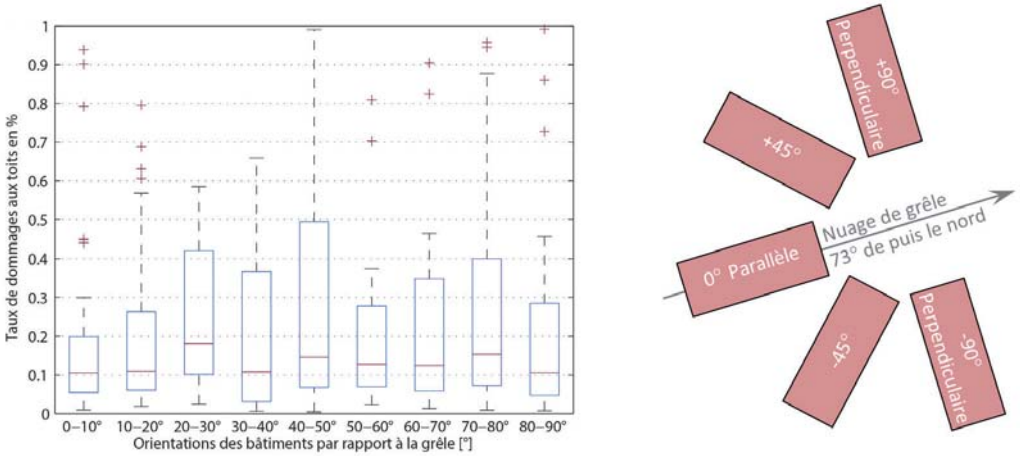
Dommages aux toits

La proportion de bâtiments dont les toits ont été endommagés dans les communes de Bremgarten et de Widen selon leur orientation par rapport à la trajectoire de la grêle s'élève à 13,6 % (bâtiments orientés entre 40 et 50°) et 22,4 % (bâtiments orientés entre 30 et 40°) ; voir ill. 49. Il n'en ressort toutefois aucune tendance nette ici non plus.

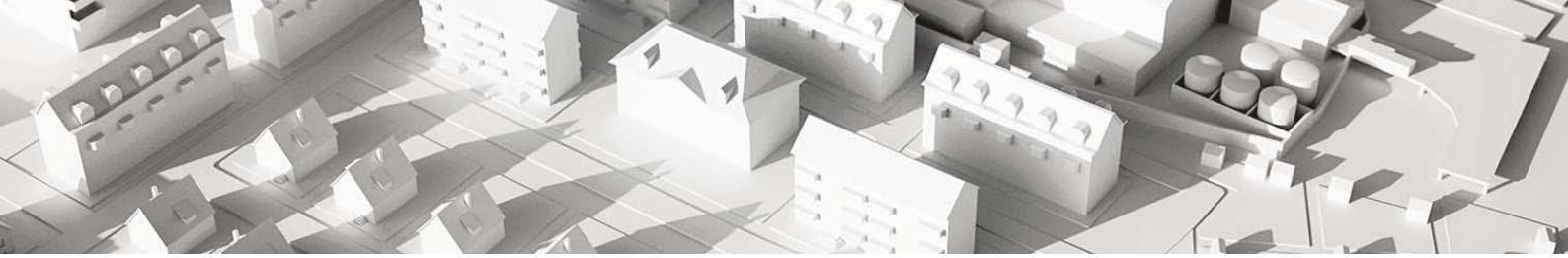
Les taux de dommages aux toits des bâtiments touchés dans les communes de Bremgarten et Widen selon leur orientation par rapport à la trajectoire de la grêle sont compris entre 0,10 % et 0,18 % (ill. 50). Là encore, aucune tendance ne se dégage.



III. 49: *proportion de toits endommagés dans les communes de Bremgarten et Widen selon leur orientation par rapport à la trajectoire suivie par la cellule de grêle de 0 à 90°. Les pourcentages sont indiqués en blanc. Les valeurs inscrites au-dessus des barres indiquent le nombre de bâtiments appartenant à la classe d'orientation.*



III. 50: *taux de dommages sur les toits des bâtiments touchés dans les communes de Bremgarten et Widen selon leur orientation par rapport à la trajectoire de la cellule de grêle de 0 à 90°.*

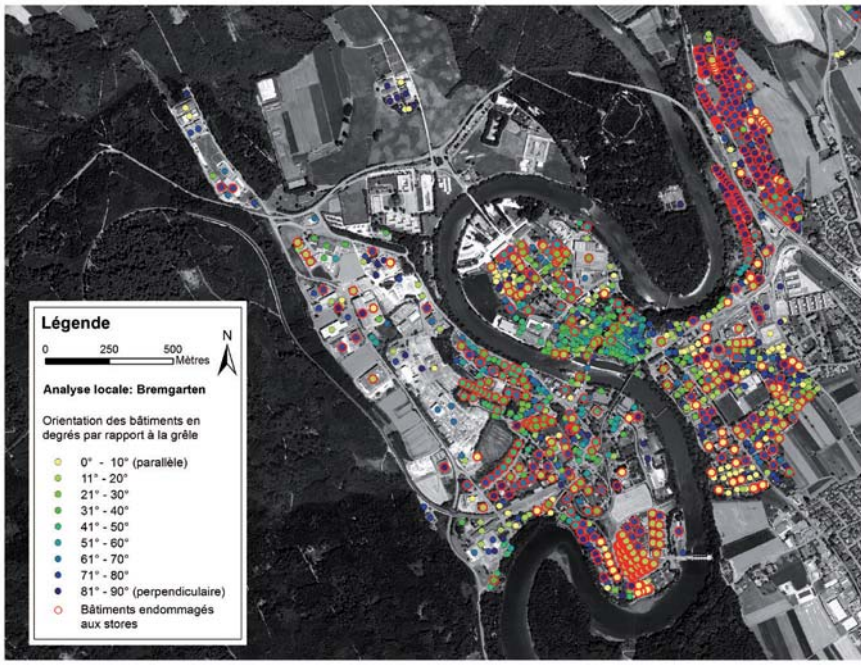


Analyse spatiale

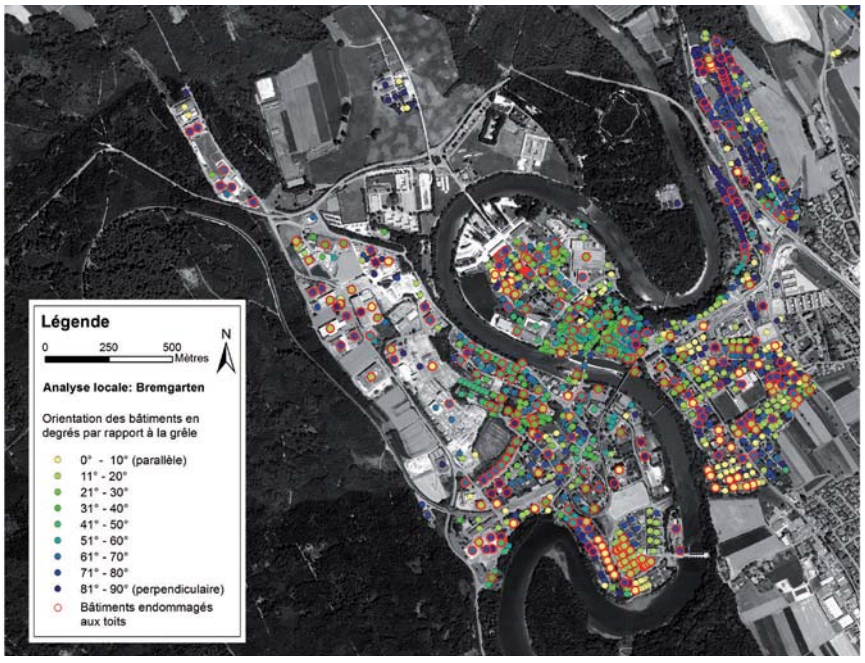
Les vues aériennes ci-après permettent d'observer les résultats de l'analyse selon l'orientation des bâtiments endommagés dans les communes de Bremgarten et Widen dans leur contexte spatial (ill. 51 à 54). Les bâtiments dont les stores ou la toiture ont subi des dommages sont mis en évidence par un cercle rouge tandis que les bâtiments dont l'orientation a été calculée sont représentés par des points de différentes couleurs en fonction de leur orientation par rapport au nuage de grêle.

Comme on peut s'y attendre, les bâtiments d'un même quartier ont généralement des orientations similaires, comme l'on peut le constater à Bremgarten et à Widen.

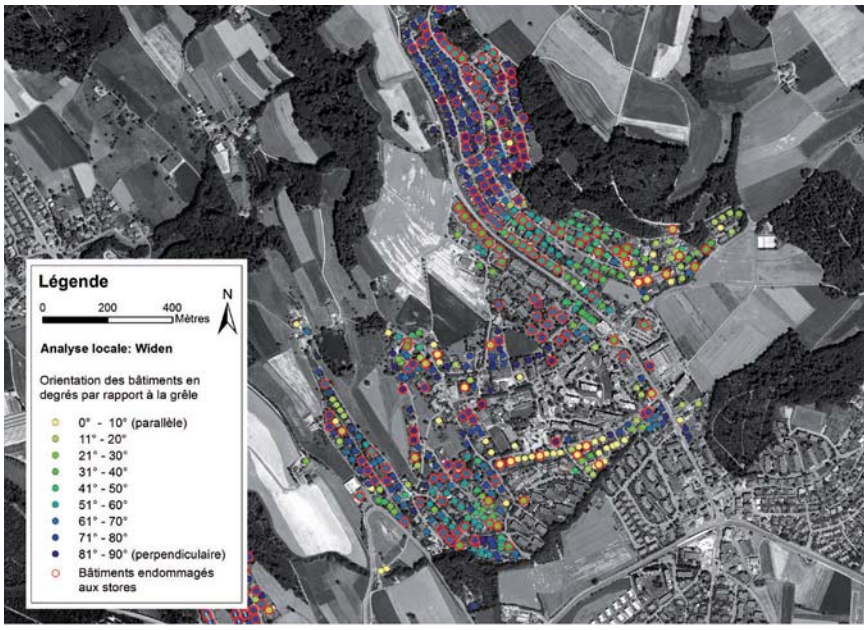
Les bâtiments dont la toiture a été endommagée ont, dans une grande majorité, également subi des dommages aux stores. Ceci n'est toutefois pas le cas dans le cœur historique de Bremgarten où il y a plus de toits endommagés que de stores. Cela est dû au fait que les toits des maisons souvent construites de manière très rapprochée protègent les façades (et aussi les stores) ; il y a peu de distance entre les bâtiments (effet écran) et surtout les stores sont très peu présents dans les centres historiques. Les stores sont également moins souvent concernés que les toits dans les secteurs industriels et agricoles où les types de bâtiments spécifiques sont rarement pourvus de stores.



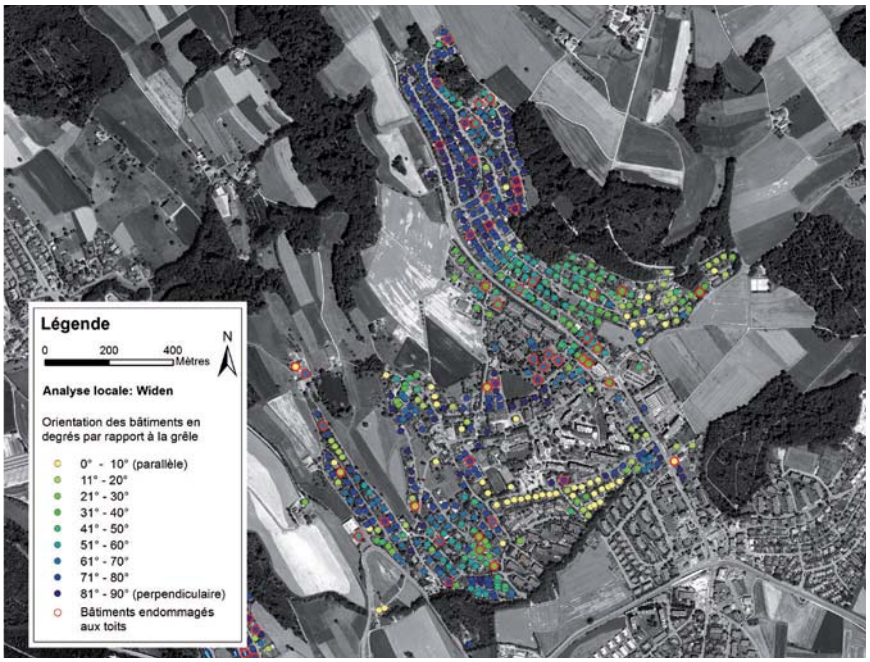
III. 51: *photo aérienne de Bremgarten ; les cercles rouges désignent les bâtiments dont les stores ont été endommagés, les points de couleur désignent l'orientation par rapport à la trajectoire suivie par la grêle (voir légende). (Prise de vue : swisstopo)*



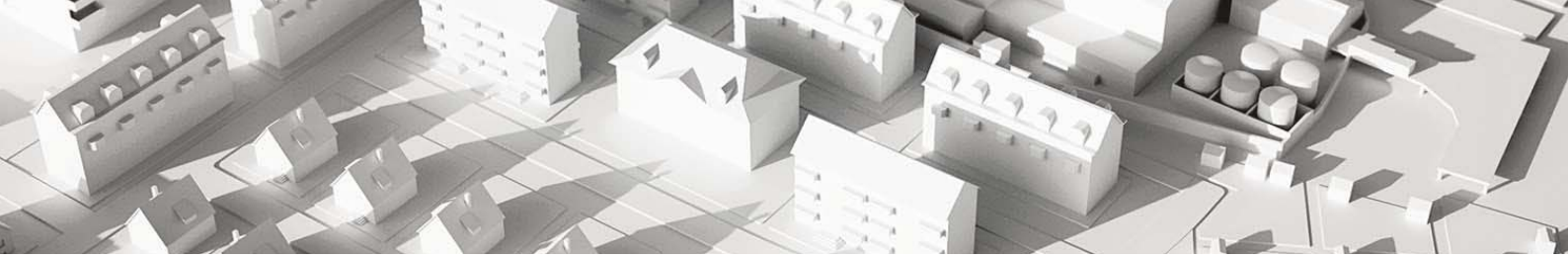
III. 52: *photo aérienne de Bremgarten ; les cercles rouges désignent les bâtiments dont les toits ont été endommagés, les points de couleur désignent l'orientation par rapport à la trajectoire suivie par la grêle (voir légende). (Prise de vue : swisstopo)*



III. 53: *photo aérienne de Widen ; les cercles rouges désignent les bâtiments dont les stores ont été endommagés, les points de couleur désignent l'orientation par rapport à la trajectoire suivie par la grêle (voir légende). (Prise de vue : swisstopo)*



III. 54: *photo aérienne de Widen ; les cercles rouges désignent les bâtiments dont les toits ont été endommagés, les points de couleur désignent l'orientation par rapport à la trajectoire suivie par la grêle (voir légende). (Prise de vue : swisstopo)*



5.5 Validation des orientations automatiques

L'analyse automatique des orientations de bâtiments effectuée à l'échelle cantonale sur le long côté des polygones offre l'avantage de traiter rapidement et de manière standardisée un grand nombre de bâtiments. Comme précisé précédemment, les résultats sont en revanche moins sûrs. Afin de vérifier la fiabilité de la méthode, les orientations de bâtiments définies automatiquement dans les communes de Widen et de Bremgarten ont été comparées avec les orientations définies manuellement (ill. 55 à gauche). Il en ressort que dans 68 % des cas, l'orientation obtenue automatiquement se situe dans une marge de tolérance de ± 20° par rapport aux orientations obtenues manuellement. Pour 29 % des cas, l'axe longitudinal se situe en revanche dans une même plage de tolérance transversale par rapport à l'orientation définie manuellement, ce qui signifie que le faîte de ces bâtiments correspond à l'axe du petit côté. Il est à noter que la différence d'angle entre l'orientation et l'axe longitudinal peut être de 90° au maximum, dans la mesure où les axes ne sont pas considérés comme des vecteurs d'orientation (c'est-à-dire qu'une ligne du nord au sud est équivalente à une ligne du sud au nord). Ce résultat mérite toutefois d'être relativisé, du fait que certains bâtiments complexes, dont l'orientation ne pouvait pas être définie manuellement, ont été ignorés, tandis que la méthode automatique leur a attribué une orientation malgré que celle-ci ne soit pas significative.

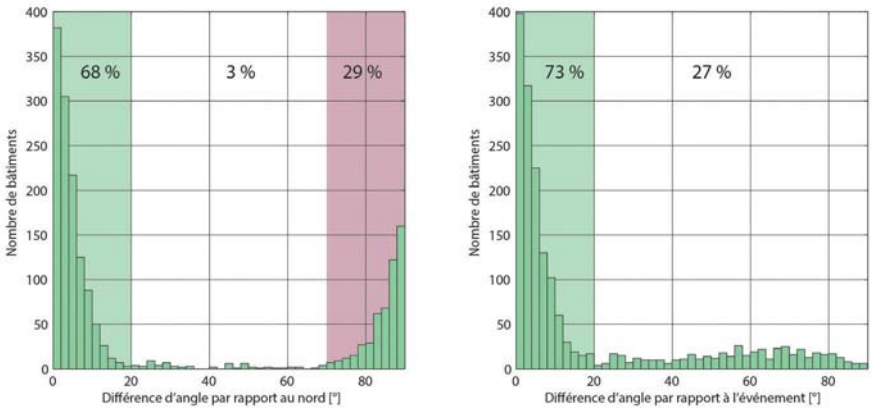
Une fois transformés en une valeur d'angle par rapport à la trajectoire suivie par la grêle, 73 % des axes déterminés automatiquement et manuellement se situent dans une plage de tolérance de ± 20°, le reste des différences étant réparti de manière relativement homogène entre 20 et 90°.

Aucun maximum n'est visible à 90° puisque, pour que la différence soit de 90° entre l'axe défini automatiquement et l'axe défini manuellement, un axe doit se situer sur un angle de 90° par rapport à la trajectoire de la grêle et l'autre axe doit obligatoirement correspondre à la direction de l'orage. En effet, si les deux axes sont perpendiculaires et que le premier forme un angle de 62° par exemple avec la trajectoire suivie par la grêle, alors le deuxième formera forcément un angle de 28° par rapport à la trajectoire de la grêle (ill. 56).

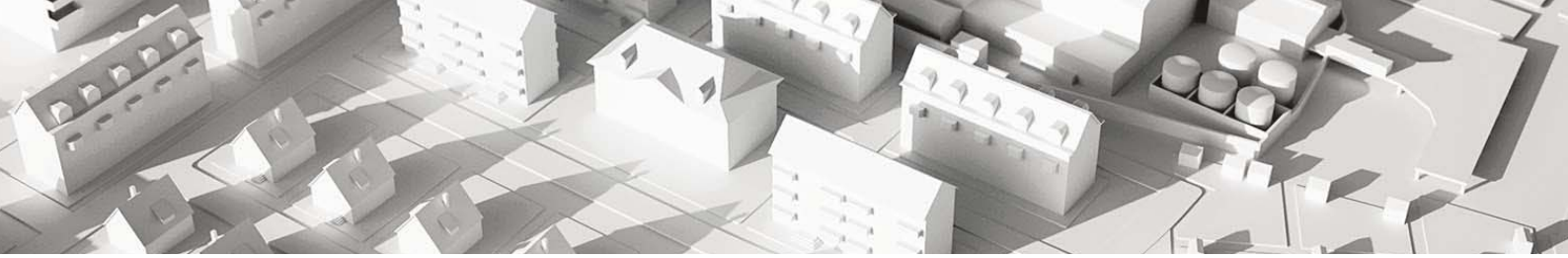
Pour un même angle de 90° entre l'orientation réelle et l'orientation déterminée à partir du polygone Vector25, l'angle par rapport à l'autre direction du bâtiment principal est obligatoirement de 83° si l'angle de l'un de deux axes du bâtiment est de 7°, ce qui implique que les orientations différentes de 90° sont réparties entre 0° et 90° par rapport à la trajectoire suivie par la grêle.

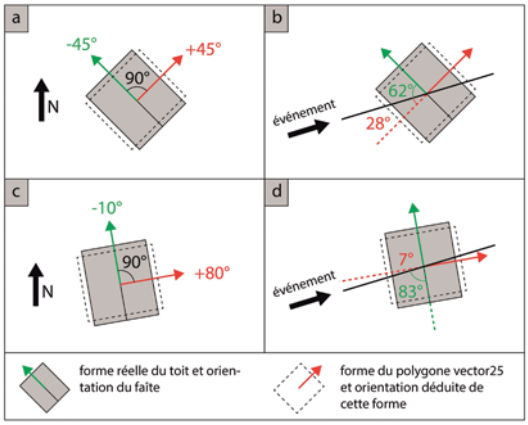
Il ressort de ces deux graphiques qu'environ 70 % des valeurs définies automatiquement sont acceptables. Tant qu'un lien de causalité demeure entre l'orientation et les dommages du bâtiment, il faut s'attendre à un deuxième maximum décalé de 90° par rapport au premier pour l'analyse de l'orientation du bâtiment par rapport au nord. Pour l'analyse en rapport avec la trajectoire de la grêle, il n'existe aucun second maximum car les axes non convergents sont répartis de manière homogène.

Outre les problèmes liés à la définition de l'orientation des bâtiments, l'analyse à l'échelle cantonale pourrait être faussée si la distribution des orientations des bâtiments n'était pas homogène spatialement et si elle était déterminée par la topographie, par exemple le cours de la vallée. Afin de déterminer si l'analyse est biaisée par un tel effet, la répartition de l'orientation des bâtiments a été analysée pour chaque catégorie de taille de grêlon déduite des données radar (ill. 57). Mise à part la catégorie 5 cm qui ne concerne que peu de bâtiments, les répartitions sont généralement similaires dans les différentes catégories. On observe néanmoins pour les intensités les plus faibles (catégories de taille de grêlon de 0 à 2 cm) que les orientations proches de 45° par rapport à la trajectoire de la cellule de grêle sont légèrement surreprésentées. Cela pourrait avoir pour effet une diminution de la proportion de bâtiments endommagés, ainsi que des taux de dommages, pour les bâtiments orientés avec un angle d'environ 45° par rapport à la trajectoire de la grêle.

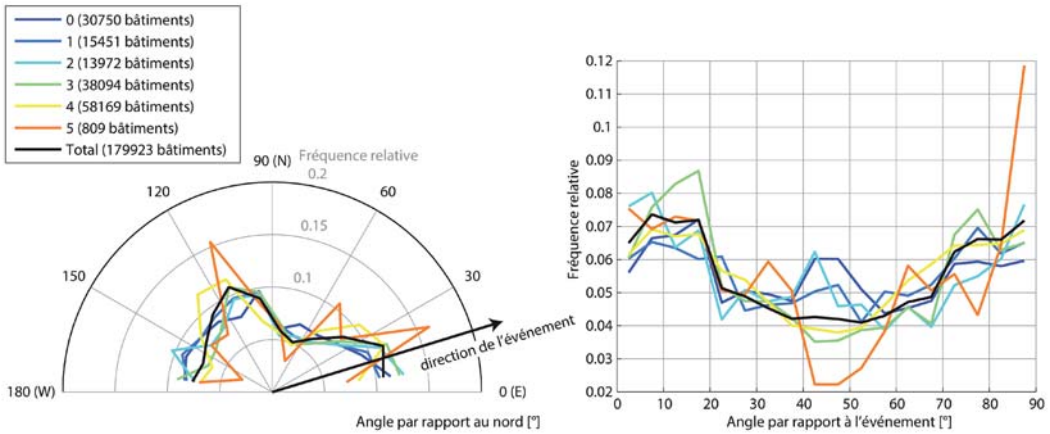


Ill. 55: *différence d'angle entre les orientations définies manuellement et celles définies automatiquement. À gauche par rapport à l'axe nord, à droite par rapport à la trajectoire suivie par la grêle.*





III. 56: *différence des axes de bâtiments par rapport au nord (a et c) entre les valeurs effectives (vert) et les valeurs déduites de VECTOR25 (rouge). Dans les 2 cas, on admet que les axes déduits du VECTOR25 divergent de 90° par rapport aux axes réels.Pour une même différence d'orientation de 90° par rapport à la trajectoire suivie par la grêle (b et d), les différences se situent entre 0 (si les deux axes forment un angle de 45° avec la direction de l'orage) et 90° (si l'un des deux axes se trouve exactement sur la direction suivi par l'orage) Dans les cas b et d, les différences d'angle par rapport à la trajectoire sont respectivement de 34° (62°–34°) et 76° (83°–7°).*



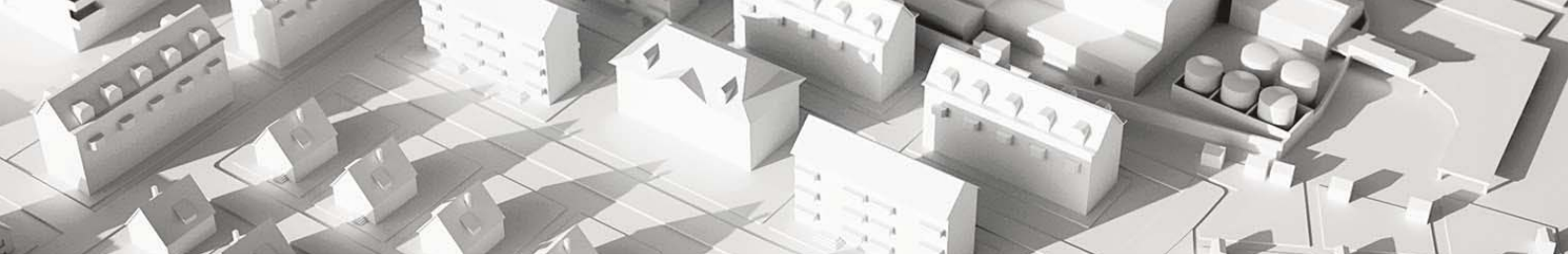
III. 57: *fréquence relative des orientations des bâtiments par rapport au nord (gauche) et par rapport à la trajectoire de la grêle (droite) dans chaque catégorie de taille de grêlon. Les valeurs pour chaque catégorie ont été normalisées de manière à ce que le total soit égal à 1. Le nombre de bâtiments dans chaque catégorie est indiqué dans la légende et donne une idée de la représentativité des courbes. Les points des courbes sont situés au milieu de chaque classe d'angle. La fourchette des différentes classes d'angle est de 10° pour le graphique de gauche et de 5° pour le graphique de droite.*

5.6 Discussion des résultats

Certains éléments de construction sont plus ou moins fortement exposés à la grêle en fonction de leur orientation. Cette affirmation s'appuie au moins en partie sur les résultats de l'analyse cantonale et locale et elle peut par exemple être prise en considération pour les mesures de prévention.

A l'échelle cantonale, il semble que les taux de dommages (des bâtiments touchés) soient les plus élevés pour les bâtiments dont l'angle avec l'orage de grêle est d'environ 50° (ill. 58) par rapport à la trajectoire suivie par la grêle. Ce constat est particulièrement vrai pour les dommages totaux, tandis que la tendance est moins claire pour les dommages aux stores. Un léger seuil est en effet visible pour ceux-ci, entre 0–30° (les moins endommagés) et entre 30–90° (les plus endommagés) (ill. 40). Les taux de dommages aux toits, quant à eux, sont relativement homogènes, sauf pour les classes de 40 à 60° où les dommages sont légèrement plus élevés (ill. 43). Cause éventuelle : lorsque l'angle est de 45°, deux faces (ou deux pans de toit) du bâtiment sont exposées, tandis que quand le bâtiment est parallèle ou perpendiculaire à la direction de la grêle, seule une face peut être atteinte.

En ce qui concerne la proportion de bâtiments endommagés, deux pics sont visibles à environ 20–30° et 60–70° (ill. 37). Il est plus difficile d'en déterminer la cause. Il pourrait s'agir d'orientations défavorables pour lesquelles plusieurs faces seraient exposées, l'une d'entre elles étant soumise pratiquement de face aux impacts de la grêle, tandis que l'autre y serait relativement moins soumise, mais les objets les plus sensibles pourraient tout de mêmes être abîmés. Les choses sont un peu moins évidentes pour les bâtiments dont la toiture a été endommagée. Ceci pourrait être dû au fait que les surfaces de toit sont en principe toujours exposées aux impacts de grêle. L'ill. 58 présente les orientations favorables et défavorables



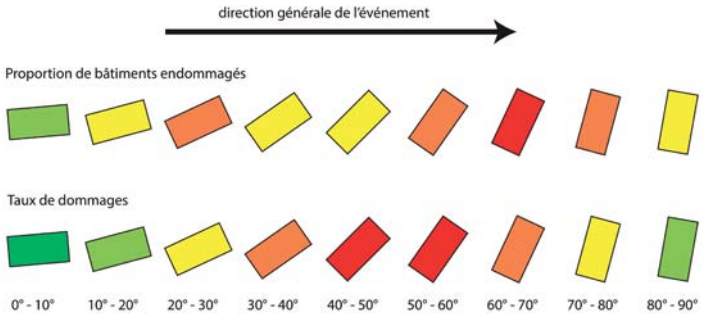
selon l'analyse par rapport à la trajectoire de la cellule de grêle. Elle repose essentiellement sur les évaluations des dommages totaux.

L'analyse à l'échelle locale de la proportion des bâtiments endommagés fait ressortir également deux pics (toutefois seulement faiblement prononcés). Ils apparaissent dans la zone des 25° ou 75° (ill. 45). L'explication doit être la même que pour l'analyse cantonale. Il est difficile en revanche de tirer des conclusions définitives à partir des taux de dommages sur les bâtiments touchés (ill. 46).

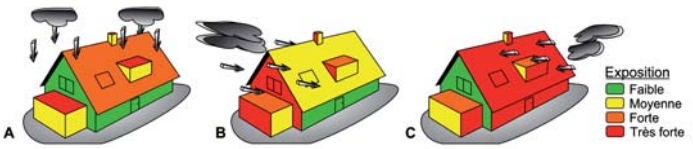
L'analyse des dommages par rapport au nord n'a été réalisée que pour les dommages sur la toiture, en supposant qu'il existe un lien de cause à effet entre les cycles de gel-dégel et la dégradation des tuiles. Pour ce qui est de la proportion de bâtiments touchés, deux pics se distinguent autour de -45° et de +45° (ill. 42). Ces deux pics étant situés à 90° d'intervalle, ils peuvent vraisemblablement s'expliquer par la méthode de calcul selon laquelle certains bâtiments presque carrés se voient attribuer à tort une orientation perpendiculaire à l'orientation réelle. Cela impliquerait qu'il ne s'agirait en réalité que d'un seul pic, probablement le plus prononcé aux environs de -45°. Ce pic correspond bien à l'orientation de 57° par rapport au nuage de grêle, orientation dans laquelle les bâtiments ont été le plus fortement touchés. Cet état de fait dépend davantage de la trajectoire suivie par la cellule de grêle que des cycles de gel-dégel, car les bâtiments dont l'orientation est de ± 90° (orientation de l'un des pans de toit vers le sud) ne présentent pas de taux de dommages extraordinairement élevés.

Les tendances observées ne peuvent toutefois pas faire office de norme pour les dommages futurs et passés. Un facteur météorologique peut en effet influencer cette tendance, à savoir l'angle d'impact des grêlons sur les éléments de construction touchés (ill. 59). L'exemple extrême est un orage avec un vent très violent faisant tomber les grêlons selon une orientation proche de l'horizontale (B et C) : La surface d'un toit à deux pans pour un bâtiment parallèle au déplacement de la grêle ne devrait être que relativement peu endommagée, car les grêlons le percutent avec un angle proche de l'horizontale (B), tandis que le toit d'un bâtiment perpendiculaire à la grêle devrait être très endommagé, les grêlons arrivant tout droit sur la surface du toit (C).

A contrario, des grêlons tombant quasi verticalement par vent faible vont épargner les façades protégées par la toiture mais ils vont atteindre cette dernière indépendamment de l'orientation du toit (A).



Ill. 58: *représentation schématique des orientations les plus favorables (en vert) et les plus défavorables (en rouge) par rapport à la trajectoire suivie par la cellule de grêle. En haut, selon la proportion de bâtiments touchés. En bas, selon le taux de dommage des bâtiments touchés.*



Ill. 59: *représentation schématique de l'influence de l'angle d'impact des grêlons sur les dommages. Cas A : sans vent, les grêlons tombent presque verticalement. Cas B : poussés par un vent fort, les grêlons tombent avec un angle d'incidence proche de l'horizontale sur le toit dont le faîte est parallèle au sens du vent. Cas C : poussés par un vent fort, les grêlons tombent à l'angle droit sur le toit dont le faîte est perpendiculaire au sens du vent. Les éléments de construction perpendiculaires au sens de l'impact sont exposés fortement, voire très fortement à la grêle. Les éléments de construction parallèles ne sont en revanche que moyennement à faiblement exposés, selon qu'ils soient protégés par un avant-toit ou non.*

Cette partie de l'analyse doit servir à clarifier s'il existe un lien entre la trajectoire généralement suivie par la grêle et le taux de dommage, c'est-à-dire si l'on constate une différence entre les cas B et C. Les données permettent de mettre à jour des tendances. Toutefois, l'angle d'incidence est directement déterminé par la vitesse et le sens du vent près du sol. Il dépend aussi de différents facteurs tels que la topographie et le recouvrement du sol (bâtiments, forêt, haies) qui crée des tourbillons dont la trajectoire peut diverger fortement de celle suivie par la cellule de grêle. La relation entre sol et vent pendant l'événement de grêle de juillet 2011 n'étant pas connue, seule une trajectoire moyenne de 73° a pu être prise en compte pour la présente étude. Afin que les futures analyses de ce type puissent aboutir à des résultats plus fiables, il conviendra de viser une meilleure connaissance de la relation entre sol et vent.

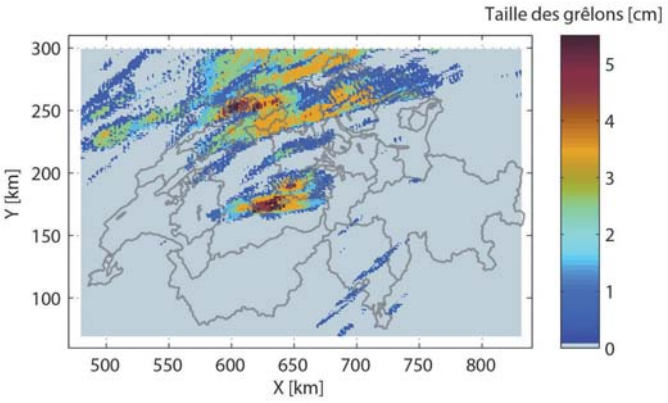
6. Estimation rapide des dommages après l'événement

6.1 Introduction

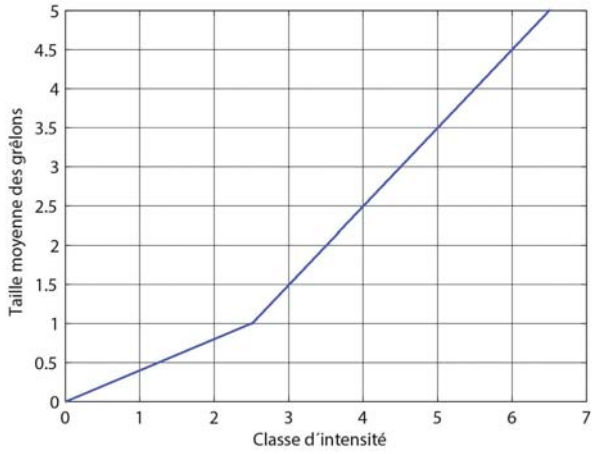
Lors d'un événement tel que celui des 12 et 13 juillet 2011, la charge de travail pour les établissements d'assurance devant traiter un nombre important de dossiers est considérable. L'ECA d'Argovie a ainsi été obligé de créer 26 nouveaux postes à plein temps à compter de l'événement jusqu'à fin 2012 afin de pouvoir faire face au volume de travail. Le délai de paiement moyen des indemnisations est malgré tout passé de six jours habituellement à 30 jours (AZ, 2012). De ce point de vue, il s'avère très important de pouvoir estimer rapidement la quantité de travail supplémentaire, ainsi que le montant escompté des dommages.

Parmi les données rapidement disponibles après un événement figurent les données radar. La société meteoradar gmbh fournit sur demande une carte des intensités maximales atteintes durant un événement en chaque endroit de la Suisse (ill. 60 et 61). Ces intensités correspondent à une estimation de la taille des grêlons au sol qui est ainsi directement liée à l'énergie cinétique.

Afin de tester dans quelle mesure les données radar peuvent être utilisées pour estimer les dommages rapidement après un événement, l'analyse décrite ci-après a été réalisée à partir des données de dommages aux bâtiments au cours des deux gros événements de grêle qui se sont produits en 2009.



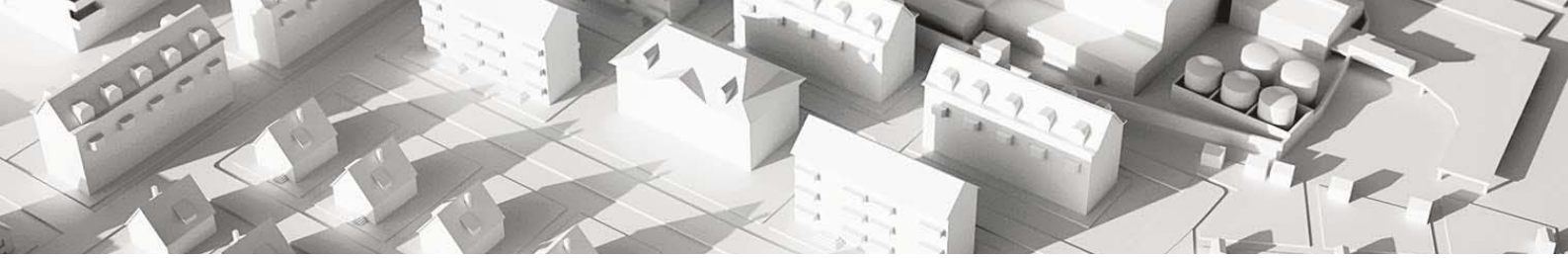
III. 60: *carte des grêlons de taille moyenne, tirée de l'intensité des précipitations selon l'ill. 61 (données : meteoradar).*

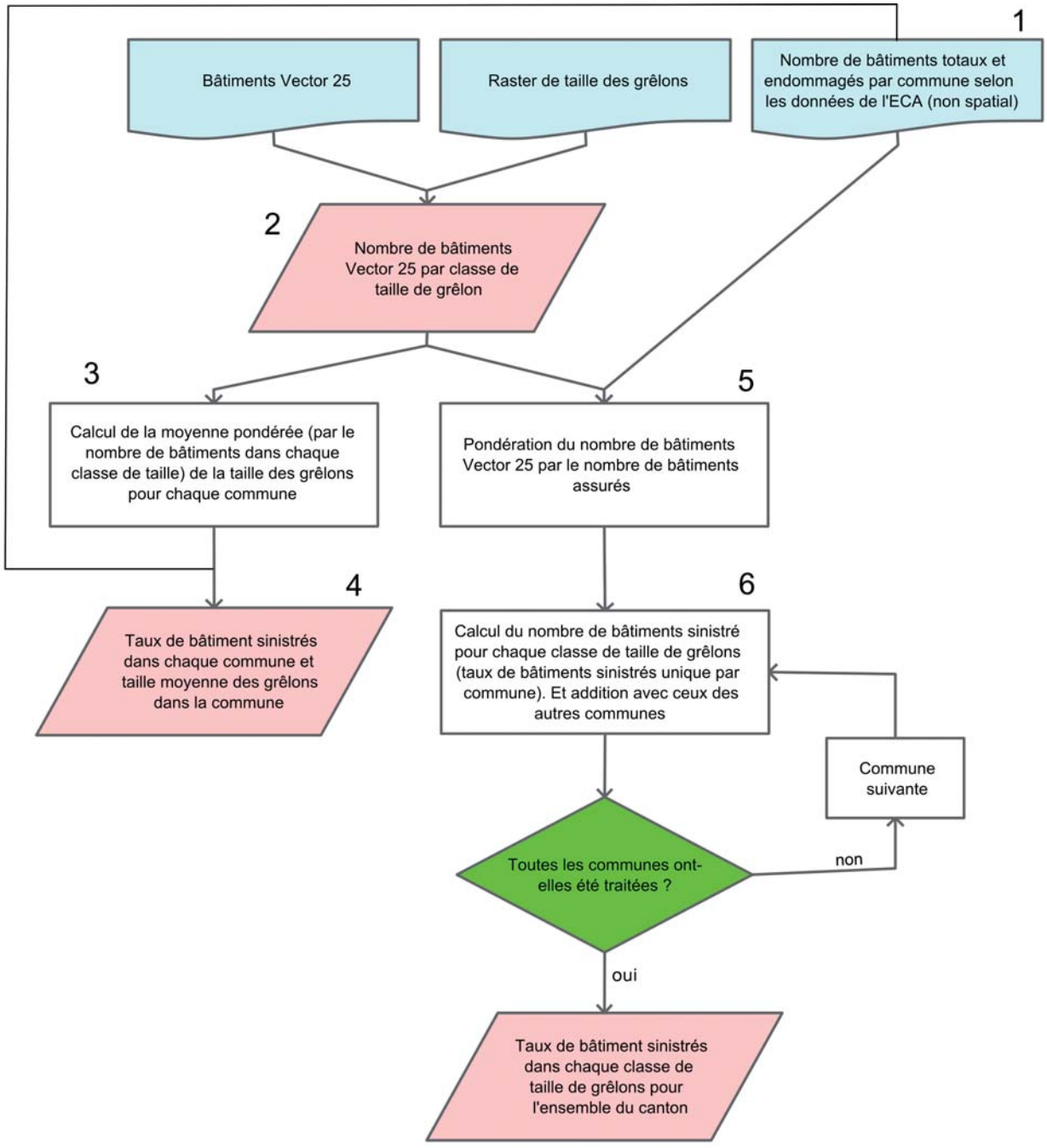


III. 61: *relation entre les catégories d'intensité fournies par meteoradar gmbh et la taille approximative correspondante des grêlons.*

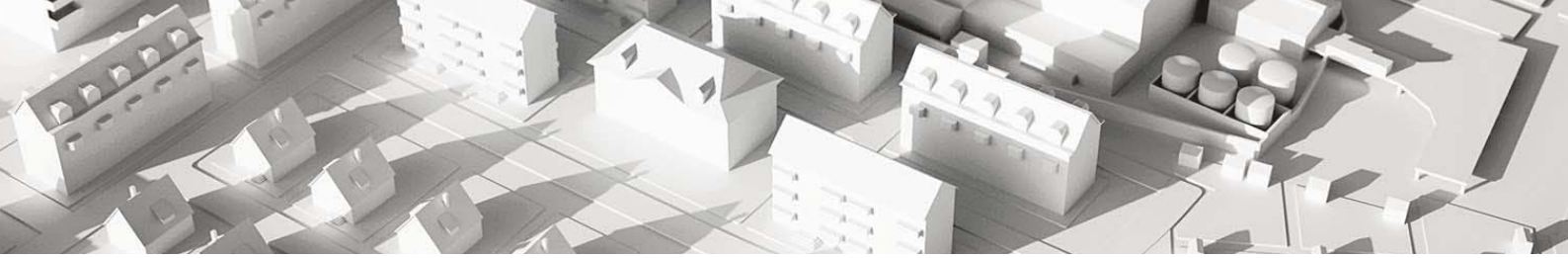
6.2 Dommages aux bâtiments suite aux deux importants événements de grêle de 2009

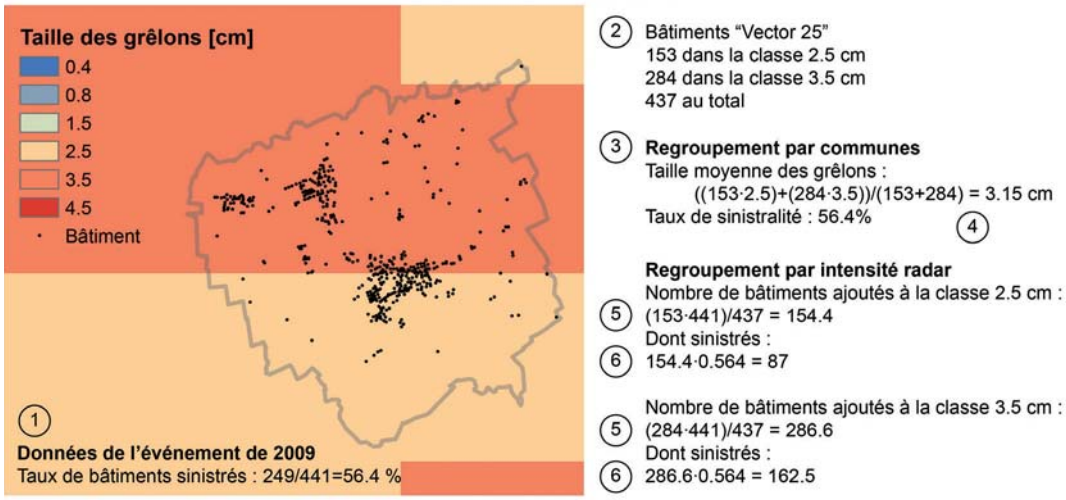
Une régression linéaire a été établie sur la base des données concernant les dommages de l'événement de grêle du 23 juillet 2009 dans les cantons de Vaud, de Fribourg, de Berne et de Lucerne ainsi que sur les tailles des grêlons issues des données radar (UIR 2012).
Ce calcul permet de déduire, en fonction de la taille des grêlons, l'ampleur escomptée des dommages aux bâtiments. Toutefois, cette relation ne permet pas de connaître la proportion des bâtiments touchés. Pour connaître cette proportion, un autre événement de 2009 a été utilisé, à savoir celui du 26 mai, qui a touché le canton de Thurgovie. L'information n'est pas disponible directement, mais le nombre de bâtiments sinistrés et le nombre total de bâtiments existants de chaque commune est connu.



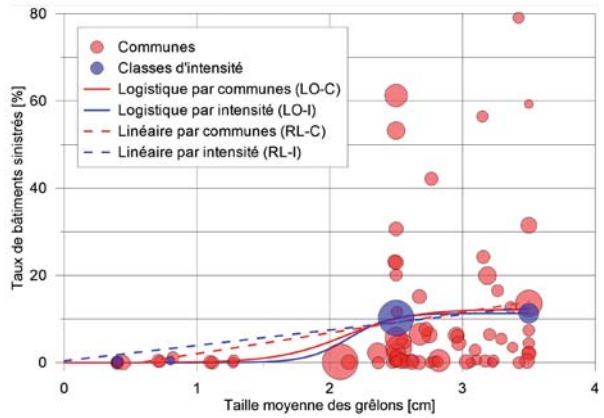


III. 62: *schéma de la procédure utilisée pour calculer les proportions des bâtiments endommagés par classe d'intensité et par commune. Les chiffres correspondent aux étapes de l'exemple présenté dans l'ill. 63. Les deux types de résultats sont présentés dans l'ill. 64.*





III. 63: *Exemple de calcul de taille des grêlons et de répartition des bâtiments par classe d'intensité pour une commune du canton de Thurgovie. Les points de situation des bâtiments proviennent de la carte « VECTOR25 » (swisstopo). Les nombres correspondent aux étapes décrites dans le flow-chart (ill. 62).*



III. 64: *proportion de bâtiments sinistrés dans chaque classe d'intensité (en bleu) et dans chaque commune (en rouge), en fonction de la taille moyenne des grêlons dans la commune.*

Dans les deux cas, les droites de régression et des fonctions logistiques ont été ajustées aux données, en pondérant par le nombre de bâtiments concernés pour chaque point (la taille de chaque point indique le nombre de bâtiments concernés ; les cercles rouges et les cercles bleus ont des échelles différentes). Les fonctions logistiques ont été contraintes de manière à ce que le paramètre k (valeur de l'asymptote supérieure) soit compris entre 0 et 1, que l'ordonnée à l'origine soit inférieure à 0,1 % et que le point d'inflexion soit situé entre 1 et 6 cm.

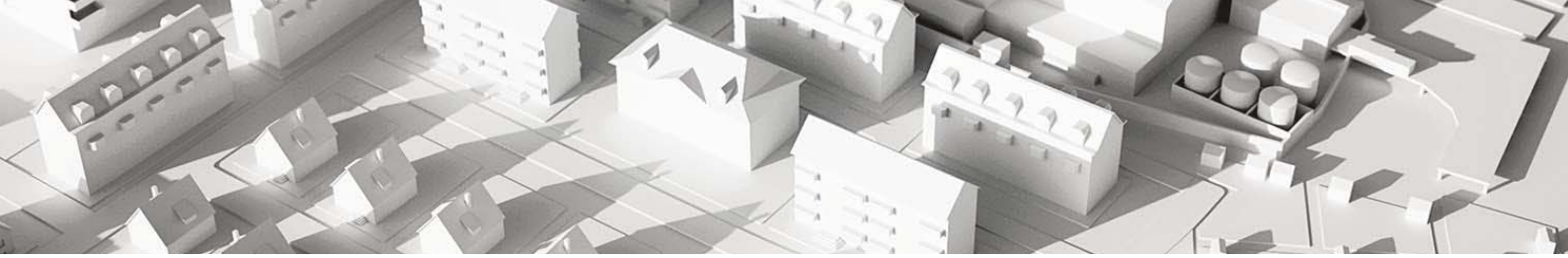
Afin de déterminer la proportion de bâtiments sinistrés dans chaque classe d'intensité, les données à disposition ont été traitées en 2 étapes : premièrement, l'empreinte des bâtiments de la carte vector25 (swisstopo) a été recoupée avec les données radar, ce qui permet d'estimer la proportion de bâtiments de chaque commune dans les différentes zones d'intensité définies par le radar. Dans un deuxième temps, le nombre de bâtiments sinistrés et le nombre de bâtiments au total dans chaque commune ont été attribués aux différentes classes d'intensité, proportionnellement à la répartition définie précédemment, en partant du principe que les bâtiments endommagés sont répartis équitablement sur toute la commune, c'est-à-dire que la proportion de bâtiments sinistrés est la même dans chaque classe d'intensité pour une commune donnée. Il est vrai que cette hypothèse est simpliste, mais il n'est pas possible de définir les proportions réelles à partir des données disponibles. Le nombre de bâtiments sinistrés et le nombre total de bâtiments existants par commune ont été finalement regroupés dans chacune des classes d'intensité pour établir une proportion à l'échelle du canton (ill. 61 et 62).

Une régression linéaire ainsi qu'une fonction logistique ont été adaptées à ces données (ill. 63).

6.3 Dommages aux bâtiments suite à l'événement de grêle de 2011

Pour cette partie de l'étude, 194'122 bâtiments géoréférencés à l'aide des données Geopost ont été utilisés, ce qui représente 88,6 % du nombre total des bâtiments assurés par l'ECA, tandis que le montant des dommages liés à ces bâtiments représente 123 millions de CHF, soit 94 % de l'ensemble des dommages.

La proportion de bâtiments sinistrés dans chaque classe de taille de grêlons est présentée dans l'ill. 65. Une fonction logistique a été ajustée sur la base de ces données. Cette fonction a été choisie parce que sa pente augmente progressivement dans sa première partie, et parce qu'elle peut être limitée à une valeur maximale, ce qui est utile dans la mesure où la proportion de bâtiments endommagés ne



peut pas être plus élevée que 1 (ou 100 %). Il n'est toutefois pas très facile d'ajuster cette courbe. Certaines conditions s'imposent.

Premièrement, l'ajustement a été effectué en tenant compte du nombre de bâtiments dans chaque classe, de manière à ce que le faible nombre de bâtiments touchés par des grêlons de taille 4,5 et 5,5 cm n'influence pas excessivement le résultat. En effet, une fonction gaussienne, par exemple, permettrait de reproduire plus précisément la diminution observée dans l'ill. 65 des bâtiments endommagés par des grêlons de plus de 4 cm, mais elle n'aurait pas de sens, puisque cette diminution provient manifestement du manque de représentativité des proportions observées dans ces catégories. Ensuite, l'ajustement de la courbe selon la méthode du plus petit écart quadratique forme une marche d'escaliers, ce qui signifierait que la proportion augmente brusquement lorsque la taille de grêlons dépasse 2,5 cm, alors qu'une progression plus douce semble plus réaliste. Deux courbes sont ainsi proposées en fixant les limites suivantes, pour la première courbe :

- Valeur maximale (k) comprise entre 0 et 1
- Pente maximale inférieure ou égale à la pente maximale observée (en l'occurrence entre les catégories 2,5 cm et 3,5 cm)
- Point d'inflexion situé entre 1 et 6 cm
- Ordonnée à l'origine inférieure ou égale à 0,1 %

Pour la seconde courbe :

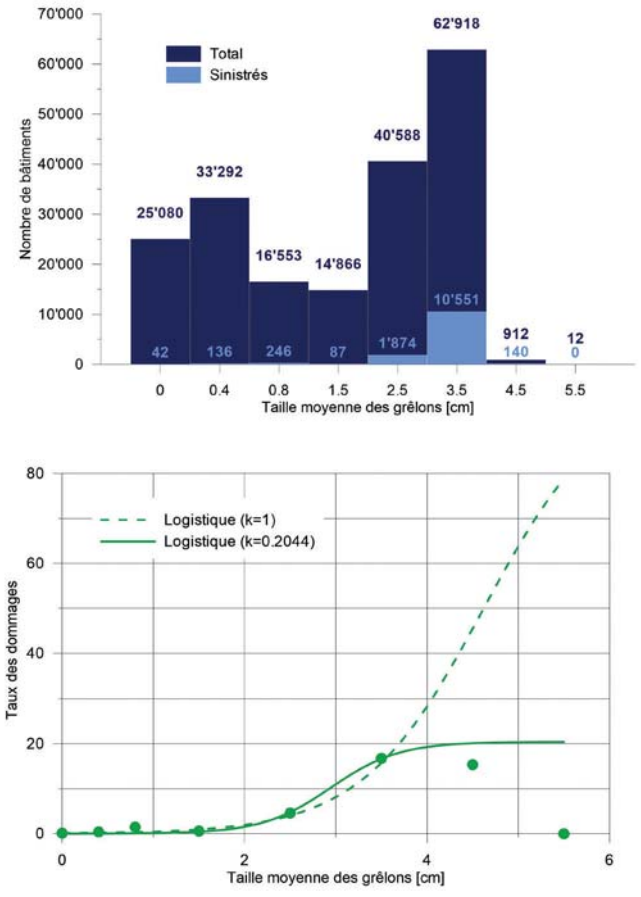
- Valeur maximale (k) égale à 1
- Point d'inflexion situé entre 1 et 10 cm
- Ordonnée à l'origine inférieure ou égale à 0,1 %

Les deux courbes ainsi que le nombre de bâtiments endommagés et le nombre total de bâtiments pour chaque catégorie sont présentés dans l'ill. 65. De par les contraintes imposées pour ajuster ces courbes et les différences entre les deux courbes, il est relativement évident que l'incertitude est grande en ce qui concerne les taux réels de dommages prévisibles. Toutefois, elles forment tout de même deux solutions plausibles qui seront comparées afin d'évaluer le niveau d'incertitude sur le nombre réel de bâtiments touchés.

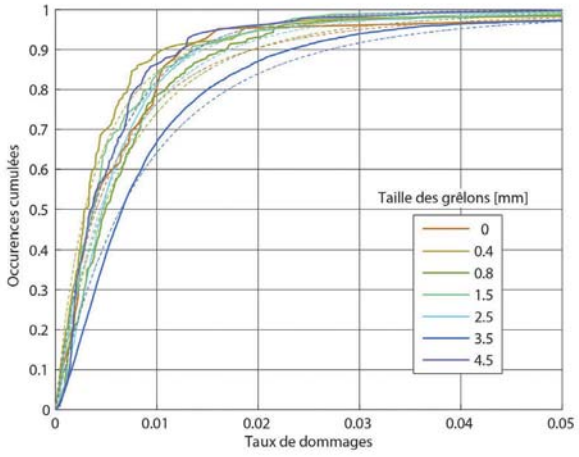
Le taux de dommages pour chaque bâtiment est calculé en divisant le montant des dommages par la valeur d'assurance. La distribution des taux de dommages de chaque catégorie est ensuite représentée à l'aide d'une distribution de Pareto généralisée, dont la fonction de distribution cumulée vaut

$$F(x) = 1 - (1 + \beta \frac{x}{\alpha})^{-\frac{1}{\beta}}$$

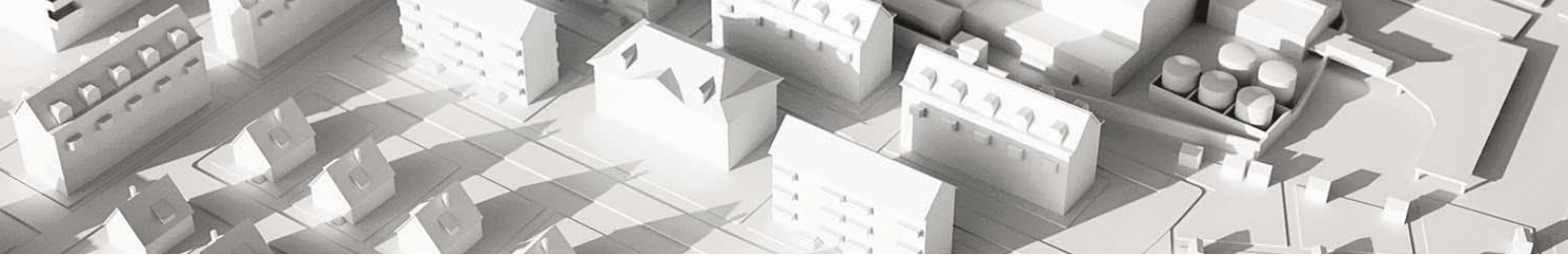
Où α détermine l'échelle et β la forme. Les fonctions d'évaluation ajustées sont présentées dans l'ill. 66 sous forme de courbes en traitillés. Pour apprécier la cohérence des résultats et donner ensuite une portée plus générale

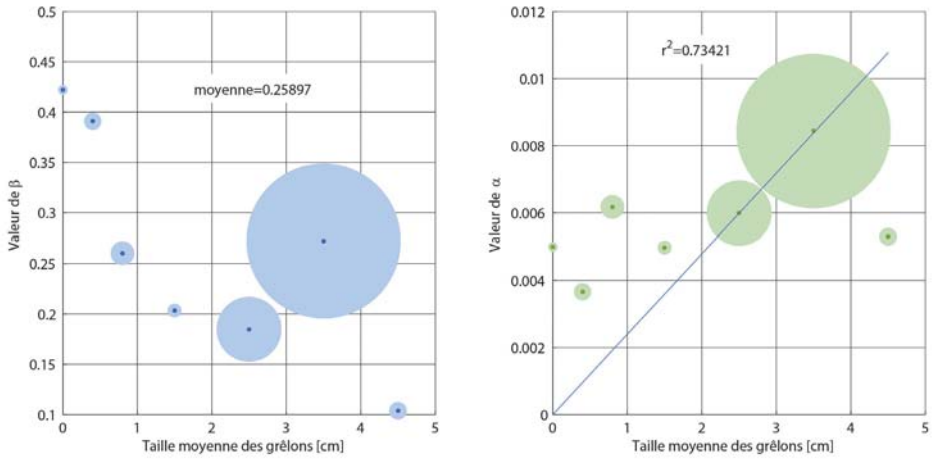


III. 65: *nombre de bâtiments endommagés et nombre total de bâtiments dans chaque catégorie de taille de grêlons (en haut) et fonctions logistiques ajustées aux proportions de bâtiments endommagés (en bas).*



III. 66: *occurrences cumulées de différents taux de dommages (traits pleins) pour chaque catégorie de grêlons. Les courbes en traitillés sont les distributions de Pareto tirées des données.*

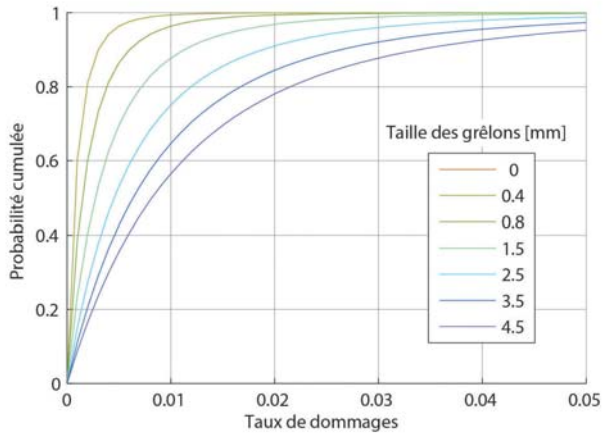




III. 67: *paramètres α et β des fonctions de Pareto tirées des données et régression linéaire utilisée pour généraliser le paramètre. Le paramètre β est généralisé à l'aide d'une moyenne, étant donné qu'aucune dépendance par rapport à la taille des grêlons ne ressort. La taille des cercles indique le nombre de données dans la catégorie qui a été utilisée pour pondérer les ajustements.*

aux fonctions, les paramètres α et β sont placés dans des graphiques. La variable β ne révèle pas de tendance marquée, mais la variable α est plus ou moins proportionnelle aux catégories de tailles des grêlons. Cette dernière est donc ajustée à l'aide d'une fonction linéaire en pondérant l'ajustement par le nombre de bâtiments endommagés dans chaque catégorie (ill. 67).

La droite ajustée sur la variable α a été contrainte à passer par l'origine, de manière à ce qu'une intensité nulle ne produise pas de dommage. Cette contrainte est néanmoins discutable, dans la mesure où une autre fonction (fonction logistique « oui/non ») détermine si un bâtiment est endommagé ou non et dans la mesure où des travaux de réparation entraînent forcément un certain montant minimum (frais de base). Ces fonctions ajustées seront toutefois utilisées pour la suite des analyses et sont présentées dans l'ill. 68. Dans la suite de ce rapport, il est supposé que ces fonctions sont représentatives du bâti argovien.



III. 68: *fonctions de probabilité des taux de dommages pour différentes catégories de taille de grêlons. La courbe pour la catégorie 0 cm n'est pas visible, parce qu'on suppose qu'aucun dommage n'est possible dans cette classe.*

6.4 Estimation rapide des dommages

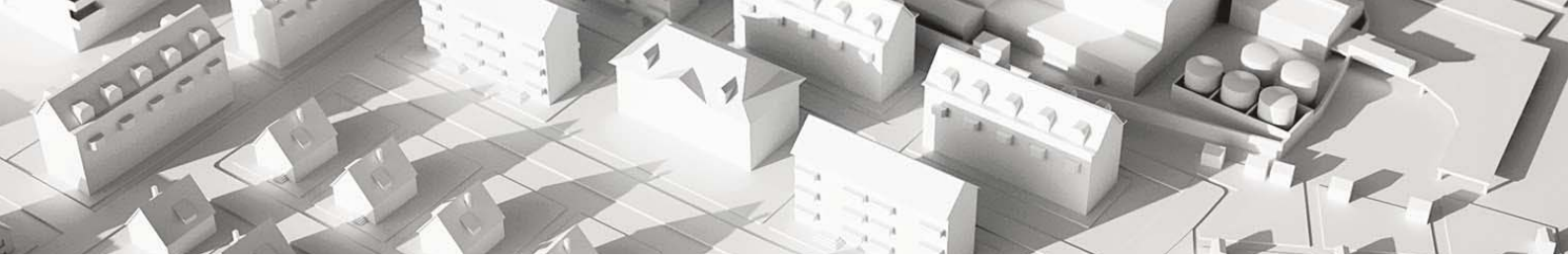
Les dommages sont évalués en estimant la proportion de bâtiments touchés ainsi que le montant des dommages à l'aide du tableau 2. Pour chaque bâtiment, le modèle détermine s'il a été touché ou non en générant une variable aléatoire « u » dont la valeur est comprise entre 0 et 1, avec une densité de probabilité uniforme entre ces deux bornes (voir ill. 69).

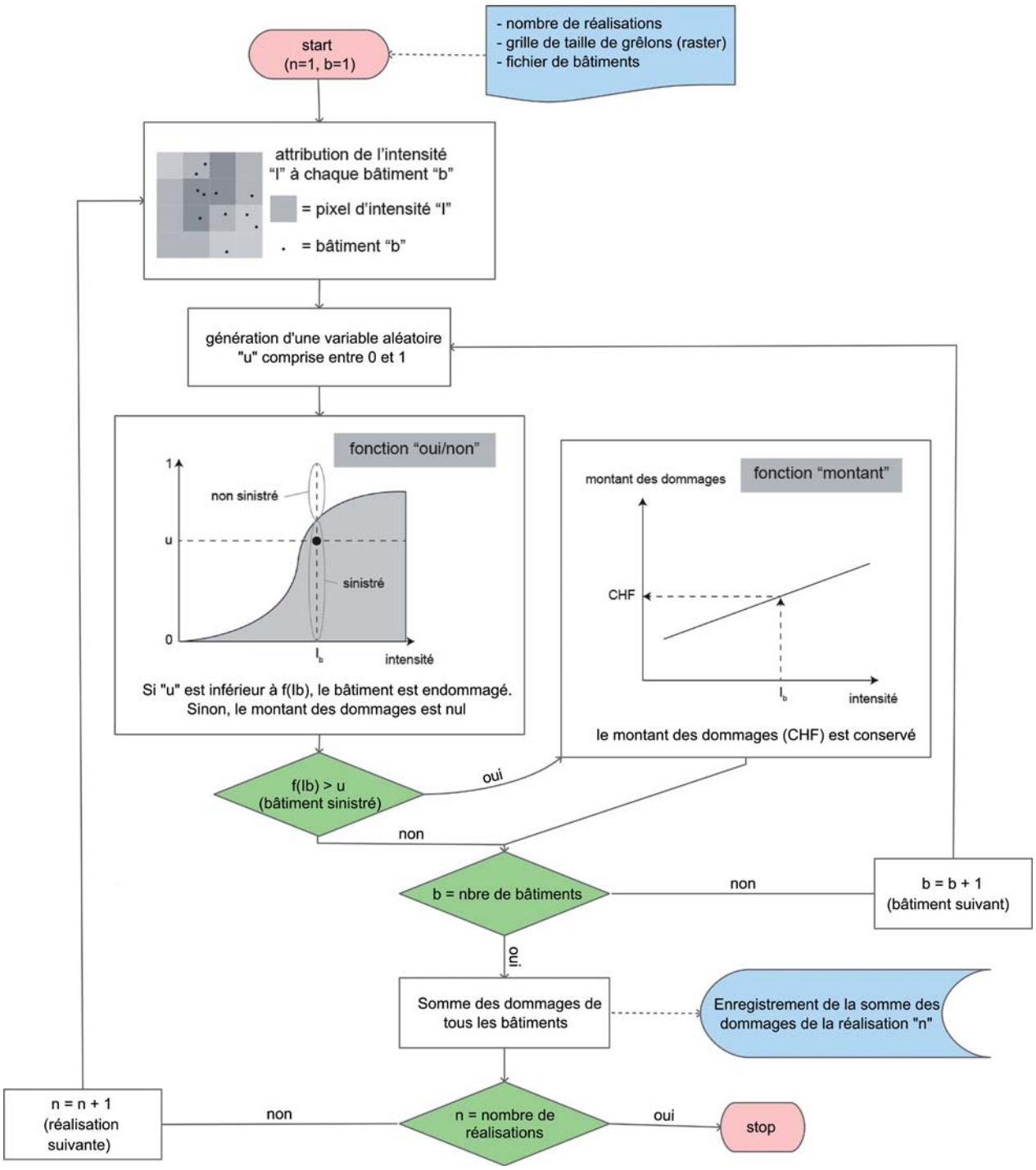
Si la variable aléatoire est inférieure à la valeur de la courbe à l'abscisse définie par la taille de grêlons (déduite à partir des données radar sur le lieu d'implantation du bâtiment), le bâtiment est considéré comme étant endommagé. Si tel est le cas, le montant des dommages est défini directement par la relation linéaire établie pour l'événement de juillet 2009 (UIR 2012), à savoir :

$$S = 695 \times d + 1'623$$

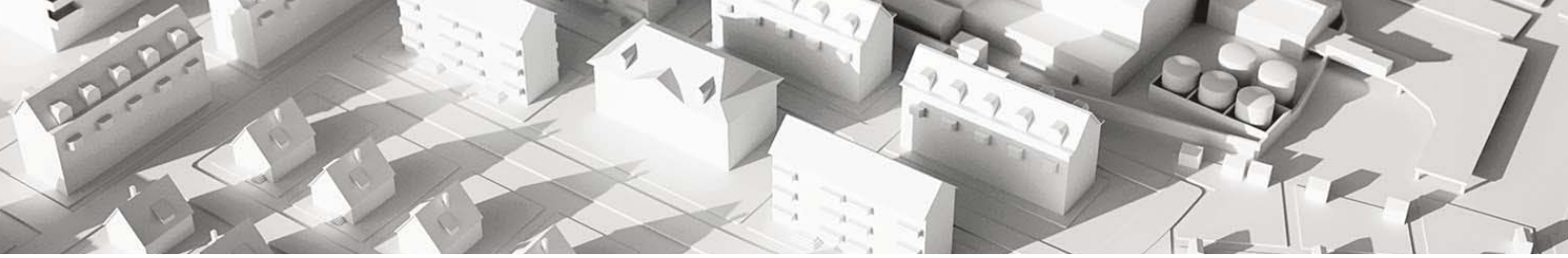
S correspondant au montant des dommages en CHF et d au diamètre des grêlons en cm.

La proportion de bâtiments touchés pour une intensité donnée semble similaire entre les deux événements puisque, à l'exception de la droite de régression ajustée sur les données de Thurgovie regroupées par catégorie d'intensité (RL-I), les droites de régression selon les communes et les fonctions logistiques reflètent relativement bien le nombre de bâtiments endommagés en 2011. En effet, même si les deux fonctions logistiques sont environ 10 % au-dessous de la valeur attendue, celles ajustées sur l'événement de 2011 ne reproduisent pas parfaitement le nombre de bâtiments touchés, mais toutes se situent dans une marge d'erreur acceptable.





III. 69: *schéma expliquant la démarche utilisée pour l'attribution du montant des dommages. La fonction «oui/non» sert à définir si le bâtiment est endommagé ou non, tandis que la fonction «montant» permet, dans le cas où celui-ci est endommagé, de définir le montant des dommages. Pour établir une courbe moyenne des résultats, plusieurs réalisations du modèle peuvent être effectuées.*



Fonction «oui / non»	Fonction «montant»	Montant du dommage (en millions de francs)	Taux	Nombre de bâtiments endommagés	Taux
RL-C	Relation linéaire (juillet 2009)	51.1	0.42	13'514	1.03
RL-I		75.8	0.61	22'500	1.72
LO-C		46	0.37	12'076	0.92
LO-I		43.4	0.35	11'400	0.87
LO-AG (k = 0.2044)		50.1	0.41	12'686	0.97
LO-AG (k = 1)		48.4	0.39	12'267	0.94
LO-AG (k = 0.2044)	Pareto AG	123	1	12'676	0.97
LO-AG (k = 1)		119	0.97	12'273	0.94
Valeur («réelle») attendue		**123**	**1**	**13'076**	**1**

Tab. 2: *montants de dommages et nombre de bâtiments endommagés selon les différentes fonctions. Les colonnes «taux» indiquent le rapport entre le montant estimé de dommages ou proportion estimée de bâtiments endommagés et la valeur («réelle») correspondante escomptée. Les proportions de bâtiments touchés sont définies soit par une régression linéaire (RL), soit par une fonction logistique (LO), déduite soit de l'événement de 2009 en Thurgovie (C et I, voir ill. 64), soit de l'événement de 2011 en Argovie (AG, voir ill. 65). Les montants de dommages des bâtiments sinistrés sont estimés soit à l'aide de la relation linéaire présentée ci-dessus, soit à l'aide des fonctions de Pareto présentées dans l'ill. 68.*

Pour ce qui est du montant des dommages estimé à l'aide de la relation linéaire définie pour les événements de 2009, celui-ci est systématiquement trop bas, même lorsque le nombre de bâtiments sinistrés est largement surévalué. Les données disponibles ne permettent pas d'en déterminer la cause, mais plusieurs hypothèses peuvent être émises pour tenter de l'expliquer :

- L'événement de 2011 s'est produit pendant la nuit, et donc à un moment où les stores sont généralement baissés. La part des stores sur le montant total des dommages était sensiblement plus élevée qu'en mai 2009, ce qui pourrait expliquer la différence.
- Autre explication possible : l'angle d'impact des grêlons en juillet 2011 pourrait avoir été plus horizontal en raison du vent, ce qui impliquerait que des éléments de construction différents (ou les mêmes éléments mais en proportions différentes) aient été touchés sur un bâtiment similaire. Il est à noter toutefois que les proportions des différents éléments touchés sont comparées avec les chiffres de l'événement de mai 2009 en Thurgovie, tandis que les montants de dommages totaux sont comparés avec l'événement de juillet 2009. L'absence de données pertinentes ne permet pas de tirer de conclusions plus approfondies.
- Outre la grêle, la tempête, l'infiltration des eaux de pluie et les inondations ont également causé des dommages aux bâtiment. Les établissements d'assurance classifiant[6] la cause des dommages premièrement selon le principe du phénomène dominant (un seul phénomène par bâtiment) et deuxièmement selon la cause initiale, d'autres dommages sont également inclus en partie par ces processus secondaires dans les dommages dus à la grêle. De ce fait, la part des classes de dommages «toits» et «stores» pourrait être réduite au profit d'autres éléments de construction (principalement à l'intérieur des bâtiments). L'analyse des dommages isolés n'a cependant fait ressortir aucun transfert de ce genre.
- Explication probable : dans les villages particulièrement fortement touchés, les bâtiments endommagés sont essentiellement des villas construites de manière non traditionnelle, constituées de nombreux éléments potentiellement coûteux.
  Ceci pourrait expliquer que le montant des dommages survenus en 2011 est plus élevé que lors de l'événement de juillet 2009.
  De plus, la proportion de maisons individuelles est plus élevée en Argovie qu'en Thurgovie et que dans les quatre cantons touchés par l'événement de juillet 2009 (OFS 2014c).

[6] Les dommages liés à l'eau qui s'infiltre par une fenêtre de toit brisée figurent également sous la cause «Grêle».

Une des grandes sources d'incertitude dans cette analyse est la taille réelle des grêlons. Même en supposant que les mesures radar soient parfaites, il est évident que la résolution ne permet pas d'affecter les tailles de grêlons aux bâtiments avec une exactitude absolue. Ainsi, l'ill. 63 montre une commune où la taille de grêlons est divisée en deux groupes séparés par une frontière nette, ce qui n'est évidemment pas réaliste. Lorsque la différence de taille entre 2 cellules adjacentes est faible (saut d'une catégorie seulement par exemple), l'erreur induite est relativement limitée. Si la différence est plus importante, l'incertitude sur la taille « réelle » des grêlons est plus grande en conséquence.

Le nombre de bâtiments constitue une autre source d'erreur possible : si l'étude repose sur les données géoréférencées de l'établissement d'assurance, le nombre de bâtiments sera plus élevé que si elle découle, par exemple, des contours des bâtiments dans VECTOR25. En effet, dans le second cas, des maisons mitoyennes ne seront représentées que sous forme d'un seul objet par le contour global, tandis que l'établissement d'assurance considère qu'il s'agit de plusieurs logements. Dans ce cas, il serait plus adapté de recourir à un taux de dommage plutôt qu'à un montant pour répartir la valeur d'assurance totale entre les différents bâtiments, afin d'obtenir des montants de dommages potentiellement plus proches de la réalité.

Cette approche ignore quelques paramètres importants pour calculer les taux de dommages, tels que le type de bâtiments, l'orientation du vent, le fait que les stores sont baissés ou non au moment de l'événement, et encore bien d'autres points. Ces facteurs pourraient relativement facilement être intégrés à l'estimation, pour autant que leur effet soit connu. Pour cela, comme pour réduire l'incertitude sur les fonctions de dommages dont la définition est encore très vague (ill. 64), il est important d'analyser d'autres événements.

7. Analyse du risque

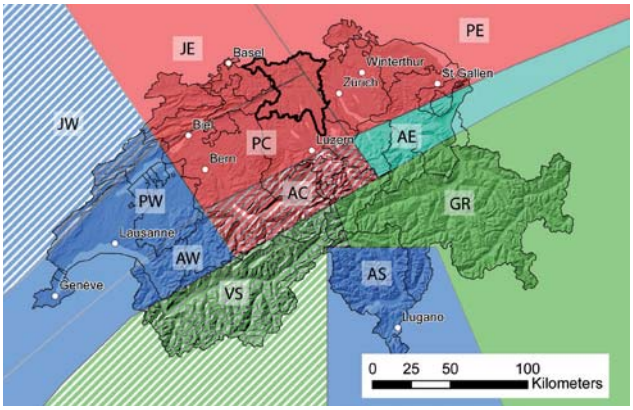
7.1 Danger

Une carte des différentes zones de danger pour l'ensemble de la Suisse a été établie dans le cadre du projet « Répertoire suisse de la protection contre la grêle » de la Fondation de prévention (ECA, 2007, voir ill. 70). Cette carte indique, pour différentes périodes de récurrence, la taille minimale des grêlons à attendre dans chacune de ces zones. Le canton d'Argovie se trouve dans la zone pour laquelle le danger est le plus élevé. Pour n'importe quel bâtiment implanté dans cette zone, il faut s'attendre en moyenne à des grêlons de 1 cm de diamètre une fois par an, de 2 cm une fois tous les 5 ans, de 3 cm une fois tous les 20 ans et de 4 cm une fois tous les 100 ans. Cela n'exclut pas que plusieurs événements aient lieu au sein d'un même canton avec les tailles de grêlons mentionnées sur les différentes périodes, car les orages de grêle ne concernent la plupart du temps qu'une partie du canton.

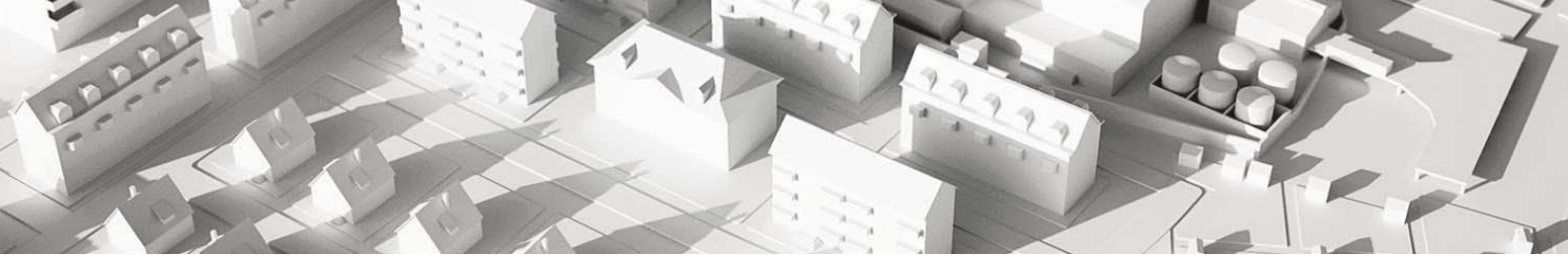
En ce qui concerne la distribution des tailles de grêlons au sein d'un événement, Pruppacher et Klett (2010) signalent que la plupart des auteurs utilisent, pour ajuster les données, une loi exponentielle de type « Marshall-Palmer » :

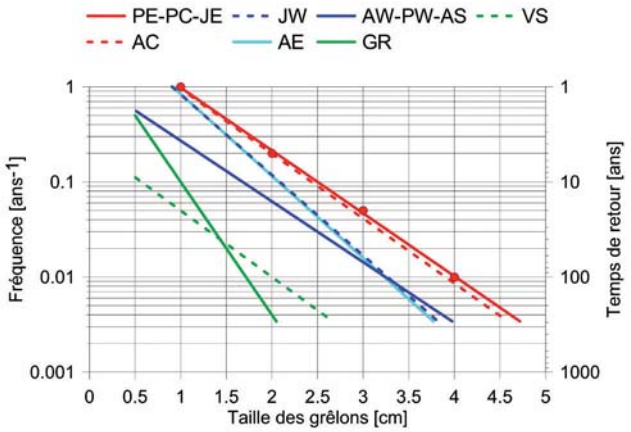
$$n(d) = n_0 e^{-\lambda d}$$

Où n(d) correspond au nombre de grêlons de diamètre supérieur ou égal à d, tandis que d; n_0 et λ sont des paramètres dépendants de l'événement ou de la région. Cette loi permet également de relativement bien décrire les premières apparitions des catégories de taille de la carte présentée dans ECA (2007). L'ill. 71 montre les différentes fonctions ajustées aux données, ainsi que les points des zones du plateau central (PC), du plateau est (PE) et du jura est (JE) dont Argovie fait partie. Punge et al. (2014) utilisent également une relation dérivée de la distribution exponentielle citée (avec $n_0 = \lambda$), pour ajuster la fréquence relative des tailles de grêlons entre différents événement.

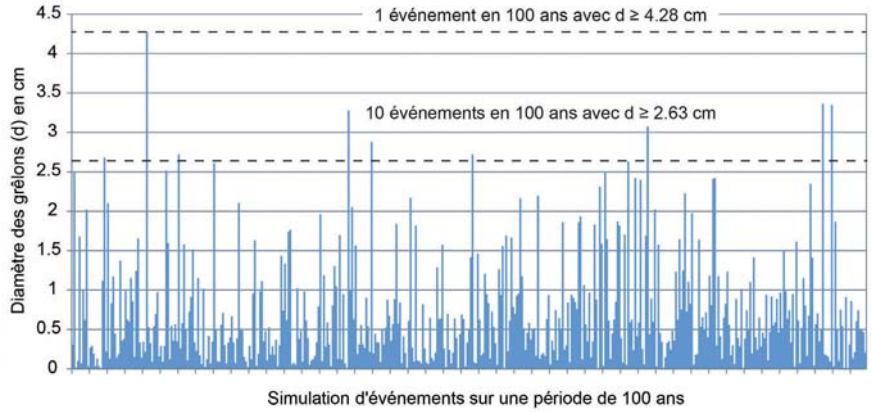


Ill. 70: *zones de danger définies par l'étude de l'ECA (2007), pour lesquelles des relations fréquence-taille de grêlons ont été définies (ill. 71). Les couleurs de la carte correspondent aux couleurs des courbes de l'ill. 71. Les zones de danger ont été prolongées au-delà des frontières de la Suisse pour les besoins de la modélisation.*





III. 71: *fonctions exponentielles ajustées sur les périodes de récurrence des tailles minimales de grêlons selon ECA (2007). Les points correspondent aux données brutes des zones du plateau est et du plateau central (PE et PC), ainsi que du Jura est (JE). L'ill. 70 montre la situation des zones correspondantes.*



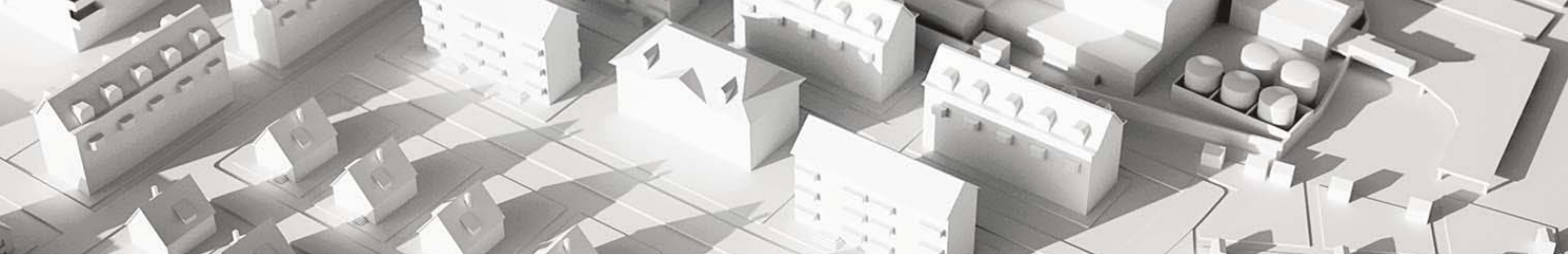
III. 72: *exemple de données générées aléatoirement à partir de la formule ajustée pour le canton d'Argovie et représentant 100 ans de données. À partir de ces données brutes, sans ajuster de loi de distribution, le scénario pris en compte pour la période de récurrence de 100 ans donnerait des grêlons de 4,28 cm, puisque cette taille est atteinte une fois. La taille de 2,63 cm serait atteinte ou dépassée dans un scénario de 10 ans. Si les scénarios 10 ans et 100 ans sont utilisés pour calculer le risque total, alors la fréquence f'10 = 0.09 (soit 0.1 – 0.01) doit être utilisée pour le scénario de 10 ans On évite ainsi que l'événement avec des grêlons de 4,28 cm soit pris en compte 2 fois. En effet, la fréquence à laquelle les grêlons ont une taille comprise entre 2,63 cm (inclus) et 4,28 cm (non inclus) vaut 9/100, soit 0,09.*

Si l'on considère la fréquence d'un événement i défini par une taille de grêlons minimum, la fréquence d'un événement plus rare « i+1 » est comprise dans le scénario « i ». En effet, si le scénario 30 ans est défini par la taille de grêlons atteinte ou dépassée en moyenne un fois tous les 30 ans, un événement dont la taille des grêlons est atteinte ou dépassée en moyenne une fois tous les 100 ans est déjà pris en compte pour le scénario 30 ans. Ainsi, la fréquence utilisée pour pouvoir additionner plusieurs scénarios est la suivante :

$$f_i' = f_i - f_{i+1}$$

f_i étant la fréquence du scénario i indépendamment des autres scénarios considérés et f_i + 1 étant la fréquence du scénario immédiatement supérieur. f_i' est ainsi la fréquence des grêlons compris entre les tailles définies pour les scénarios i et i + 1.

C'est également sur cet ajustement que se base le fameux outil d'analyse « EconoMe » pour déterminer le risque lié aux dangers naturels (Bründl et al. 2011). L'ill 72 en offre une illustration à l'aide d'une série de données générées aléatoirement.



7.2 Calcul du risque annuel moyen

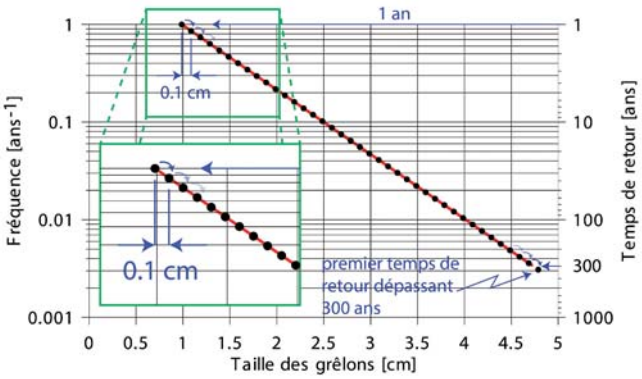
Afin d'estimer les risques pour les périodes de récurrence définies préalablement au moyen des données de dommages disponibles, un modèle simple a été développé dans le logiciel « Matlab® ». Pour chaque carte de taille de grêlons disponible, le dommage prévisible est calculé au moyen de la fonction logistique en générant, bâtiment par bâtiment, une variable aléatoire qui sert à définir si le bâtiment est sinistré ou non. Un taux de dommages est ensuite attribué à chaque bâtiment endommagé au moyen d'une autre variable aléatoire selon l'ill. 68: Ce taux de dommages est alors multiplié par la valeur d'assurance afin d'obtenir le montant des dommages en CHF. Les montants des dommages de tous les bâtiments sont ensuite additionnés. Le processus est répété une vingtaine de fois afin d'établir un montant total moyen des dommages. Cette moyenne est ensuite multipliée par la fréquence correspondante afin d'obtenir le risque en CHF/an.

Cette approche a été appliquée à l'aide des deux fonctions logistiques ajustées sur les données de l'événement de 2011 au moyen des cartes de danger de grêle (ECA 2007), puis avec des cartes de danger générées à partir de la fonction exponentielle. Ces dernières sont générées de la manière suivante (voir également l'ill. 73) :

1. L'utilisateur indique les périodes de récurrence minimale et maximale, tout comme la « résolution » (ou pas d'augmentation), c'est-à-dire la différence de taille de grêlons entre 2 étapes de calcul.

2. La taille des grêlons est calculée pour la plus petite période de récurrence, puis cette taille est augmentée de la valeur correspondant au pas de résolution défini par l'utilisateur. La période de récurrence correspondant à la taille de grêlons est ensuite calculée. Si les bâtiments sont situés sur des zones avec différentes fonctions exponentielles, le modèle s'adapte de manière à ce que la différence moyenne de taille corresponde à la valeur définie par l'utilisateur. Le montant des dommages est calculé par chaque étape de calcul, en admettant que tout le canton est touché en même temps par la taille de grêlons définie.

3. Le calcul s'arrête lorsque la période de récurrence maximale définie est atteinte ou dépassée.

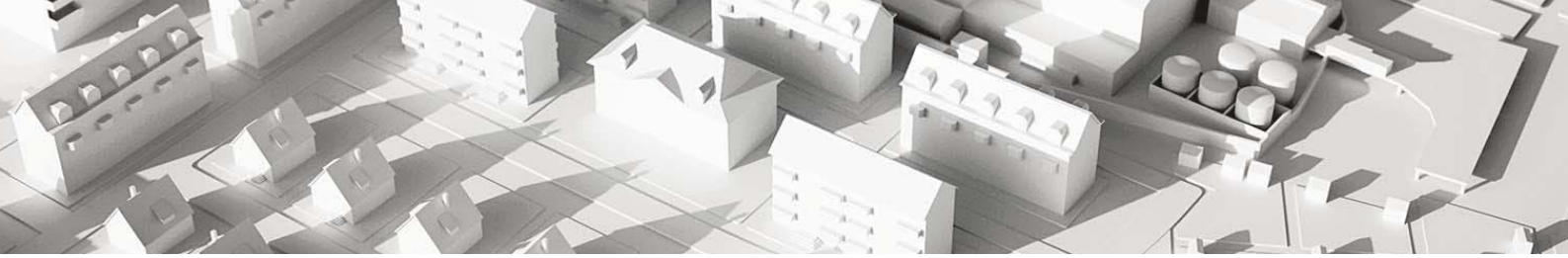


III. 73: *dans cet exemple de calcul de la période de récurrence, l'utilisateur a défini une période de récurrence minimale de 1 an, une période de récurrence maximale de 300 ans et un pas d'augmentation de 0,1 cm. La taille des grêlons correspondant à une période de récurrence de 1 an est tout d'abord calculée, puis, pour la deuxième étape de calcul, la taille est augmentée de 0,1 cm et la période de récurrence est déduite de la fonction exponentielle. Cette procédure est répétée jusqu'à ce qu'une période de récurrence atteigne ou dépasse la valeur maximale (300 ans). A chaque pas, le risque est calculé.*

Le risque a été calculé au moyen des fonctions exponentielles pour 3 différents intervalles de périodes de récurrence, à savoir 1 à 300 ans, soit la plage couverte par les cartes de danger de grêle de l'ECA (2007), 0,1 à 300 ans et 1 à 1000 ans, cela dans le but d'analyser l'influence sur le calcul du risque des périodes de récurrence très petites et des périodes très longues. Les résultats sont présentés dans le tab. 3 :

Danger	**Modèle de dommages**	**Intervalles des périodes de récurrence**		
		0.1–300 ans	1–300 ans	1–1000 ans
Cartes	AG (k = 0.2044)		15.2 mio CHF/an	
Cartes	AG (k = 1)		17.4 mio CHF/an	
Fonction exponentielle	AG (k = 0.2044)	27.3 mio CHF/an	27.1 mio CHF/an	27.2 mio CHF/an
Fonction exponentielle	AG (k = 1)	35.5 mio CHF/an	34.1 mio CHF/an	35.8 mio CHF/an

Tab. 3: *Le pas de la taille de grêlons pour les analyses faites à partir des fonctions exponentielles est de 0,1 cm. Les risques calculés concernent exclusivement les bâtiments géoréférencés, qui représentent 88,6 % du nombre total des bâtiments assurés par l'ECA (les autres bâtiments ne font pas partie des bases de calcul).*



L'utilisation des fonctions exponentielles donne des résultats largement supérieurs à ceux issus du calcul reposant sur les cartes de danger de l'ECA (2007). Cela s'explique par le pas d'augmentation appliqué dans le calcul. En effet, si celui-ci est fixé à 1 cm en faisant l'analyse avec la fonction exponentielle, le risque est calculé pour des périodes de récurrence de 1, 5, 21 et 439 ans et le résultat obtenu pour le canton d'Argovie est également de 15,2 millions de CHF/an. À l'opposé, si le pas est fixé à 0,01 cm, le résultat sera plus élevé (28,8 millions CHF/an), mais la différence sera comparativement faible. Cela est dû au fait que la manière de calculer implique que la taille des grêlons (et ainsi le taux de dommages) reste la même jusqu'à la valeur immédiatement supérieure. Plus le pas de calcul est fin, plus les résultats seront mathématiquement corrects.

Lorsque la fonction logistique bornée à 1 est utilisée, les montants de dommages sont plus élevés pour une taille de grêlons supérieure à 3,5 cm environ (correspondant à une période de récurrence d'environ 90 ans), car le nombre de bâtiments sinistrés augmente fortement dans ce cas. L'augmentation relative du risque entre l'intervalle 1–300 et l'intervalle 0,1–300 ans est également plus élevée lorsque cette fonction est utilisée. Cela est dû à une ordonnée à l'origine légèrement supérieure pour cette courbe qui provoque des proportions de bâtiments sinistrés légèrement plus élevées dans les catégories inférieures de tailles de grêlons (la différence entre les deux fonctions logistiques pour les petites tailles de grêlons n'est toutefois pas visible sur le graphique). Même si cette différence est relativement peu significative, elle illustre l'importance de limiter les courbes d'ajustement pour que les courbes soient réalistes.

7.3 Évolution future du risque

La question de l'évolution future du risque lié à la grêle est certes délicate, mais des scénarios simples peuvent tout de même être établis. Si l'on considère que la fréquence des événements de grêle ne change pas dans le futur, toute évolution du risque grêle sera alors uniquement conditionnée par les modifications dans le bâti. Selon les projections de l'office fédéral de la statistique (OFS, 2014a), la population devrait augmenter entre 2010 et 2035 dans le canton d'Argovie, pour passer de 608'000 à 725'000 habitants. Plus ou moins sur la même période, le nombre de personnes par ménage devrait passer de 2,17 en 2010, à 2,02 en 2030 (OFS 2014b). En considérant que ce chiffre de 2,02 personnes par ménage est également valide pour 2035, le nombre de ménages passerait d'environ 280'000 à 360'000 environ.

Si l'on observe le nombre de bâtiments assurés (et géoréférencés) en 2011, il est possible de constater qu'il y a actuellement 3,13 personnes par bâtiment assuré.

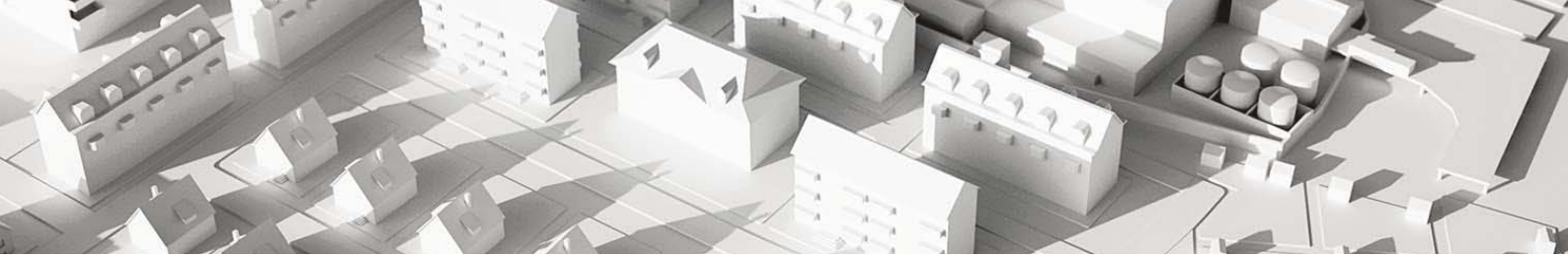
Si l'on tient compte de l'augmentation de la population et de la diminution du nombre de personnes par ménage, le nombre de bâtiments augmenterait ainsi de 55'000 environ d'ici 2035.

La localisation des bâtiments au sein du canton n'est pas essentielle, dans la mesure où le danger est relativement semblable en tous points du territoire (voir ill. 70). Si nous envisageons que les bâtiments ont la même fonction de dommage que les bâtiments existants, le risque augmenterait de 7,7 millions de francs par an. Cette augmentation signifie, pour les habitants d'Argovie, que le risque par personne passerait de 45 CHF par an aujourd'hui à 48 CHF en 2035 (en francs actuels).
Si l'ECA d'Argovie parvenait par contre à imposer comme standard le degré de résistance RG3 recommandé par l'AEAI et si l'on pose l'hypothèse simpliste que les dommages sont inexistants en dessous de 3 cm et identiques à maintenant au-dessus de 3 cm, le risque total augmenterait seulement de 4,1 millions de francs par an. Le risque par habitant et par an passerait ainsi de 45 à 43 francs.

7.4 Simulation

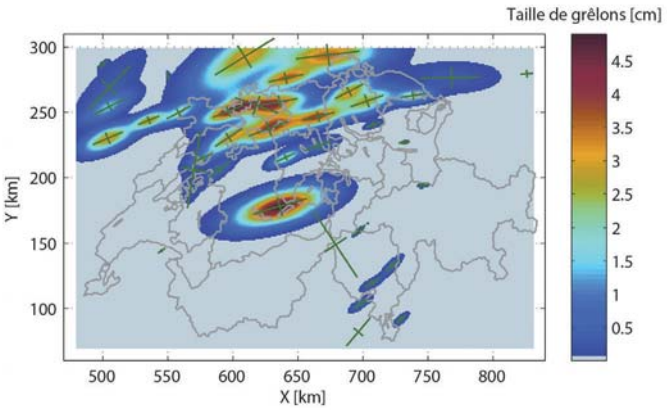
La démarche présentée ci-dessus permet de se faire une idée du risque moyen, mais ne permet pas de savoir quel montant de dommages attendre d'un événement de grêle, dans la mesure où il n'est pas probable qu'une taille donnée de grêlons tombe uniformément sur l'ensemble du canton lors du même événement. Afin d'avoir une idée de la distribution des dommages des événements de grêle, un simulateur est actuellement en cours de développement. Ce simulateur est constitué de deux modules. Dans le premier module, des fonctions gaussiennes en deux dimensions sont ajustées sur l'image radar fournie par meteoradar gmbh, tandis que de nouveaux événements (artificiels) sont créés dans le second module à partir des paramètres issus du premier module.

Ajustement des paramètres
Afin de pouvoir ajuster des fonctions gaussiennes sur l'image radar, leur contenu doit d'abord être converti dans les différentes catégories de tailles de grêlons. L'image est ensuite lissée. Les valeurs maximum locales servent à définir la position ainsi que le nombre de fonctions gaussiennes requises. Ainsi, plus l'image radar est lissée, plus le nombre de maximums locaux est faible et plus le nombre de fonctions gaussiennes nécessaires diminue. Les fonctions gaussiennes sont définies par 6 paramètres, à savoir les coordonnées X et Y de leur centre, l'orientation, l'écart-type de l'axe transversal, l'excentricité (rapport entre l'écart-type de l'axe transversal et de l'axe longitudinal), ainsi que l'intensité. Chacun de ces paramètres peut avoir n'importe quelle valeur entre des limites définies par l'utilisateur, de manière à

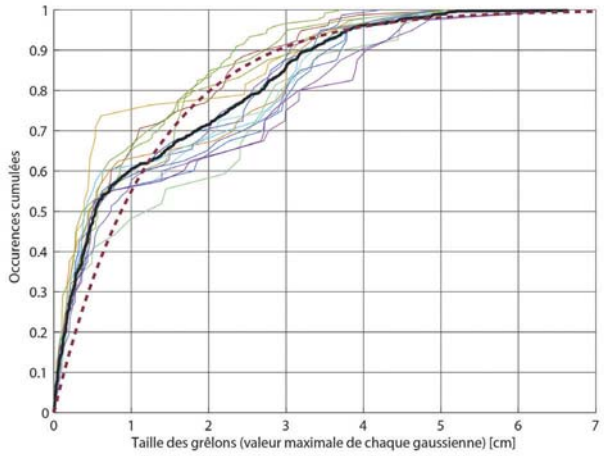


ce que l'erreur quadratique moyenne (RMSE) entre les pixels de l'image radar et les pixels de l'image produite par les gaussiennes soit la plus petite possible.

Il s'agit, en outre, de trouver un compromis idéal entre une possibilité d'erreur la plus faible possible et une solution simple à modéliser. En effet, utiliser un grand nombre de fonctions gaussiennes aboutira à une bonne solution, mais dont les paramètres seront compliqués à appliquer dans la phase de modélisation, puisque la carte finale sera le produit d'une superposition complexe entre les fonctions gaussiennes. L'ill. 74 présente l'exemple d'un bon compromis. Un exemple de paramètres déduits des courbes d'ajustement, en l'occurrence la taille de grêlons, est présenté dans l'ill. 75.



Ill. 74: *résultat de l'ajustement de 40 fonctions gaussiennes. Les axes principaux sont présentés à l'aide de traits verts. Ils s'étendent de moins un écart-type à plus un écart-type. Les limites fixées pour l'ajustement sont : déplacement en X et en Y de plus ou moins 10 km, par rapport à la solution initiale, une intensité comprise entre 1/10 et 2 fois la valeur initiale issue de l'image radar lissée, une orientation quelconque, un écart-type de l'axe transversal compris entre 500 m et 10 km ainsi qu'une excentricité comprise entre 1 et 3. Pour plus de clarté, la classe des plus petites intensités est présentée en gris.*



Ill. 75: *occurrences cumulées des tailles de grêlons selon le procédé des fonctions gaussiennes issues de différents ajustements du même événement. La courbe noire correspond au total de différentes courbes, tandis que la courbe rouge en traitillés est une fonction exponentielle ajustée sur la courbe noire. Le paramètre μ de cette fonction (1,25) est utilisé pour les simulations.*

Simulation d'événements synthétiques

La simulation des événements synthétiques a lieu de la manière suivante (voir aussi ill. 76).

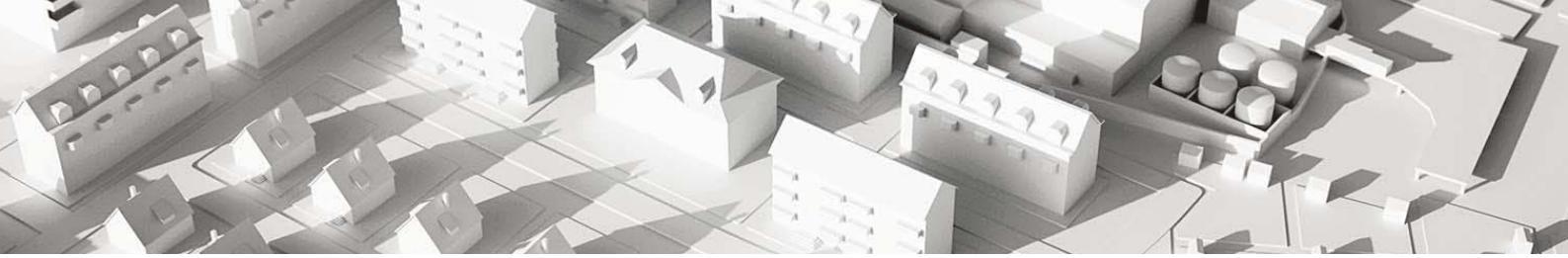
1. Une fonction gaussienne en 2 dimensions est définie et représente la structure générale de l'événement (ci-après « gaussienne de type primaire »). Ses différents paramètres sont définis au moyen des fréquences relatives de la carte de danger (position) et avec des distributions prédéfinies (orientation et excentricité). La valeur maximale est toujours de 1 (échelle relative) et le volume de la fonction gaussienne est utilisé pour définir le nombre d'orages de grêle.

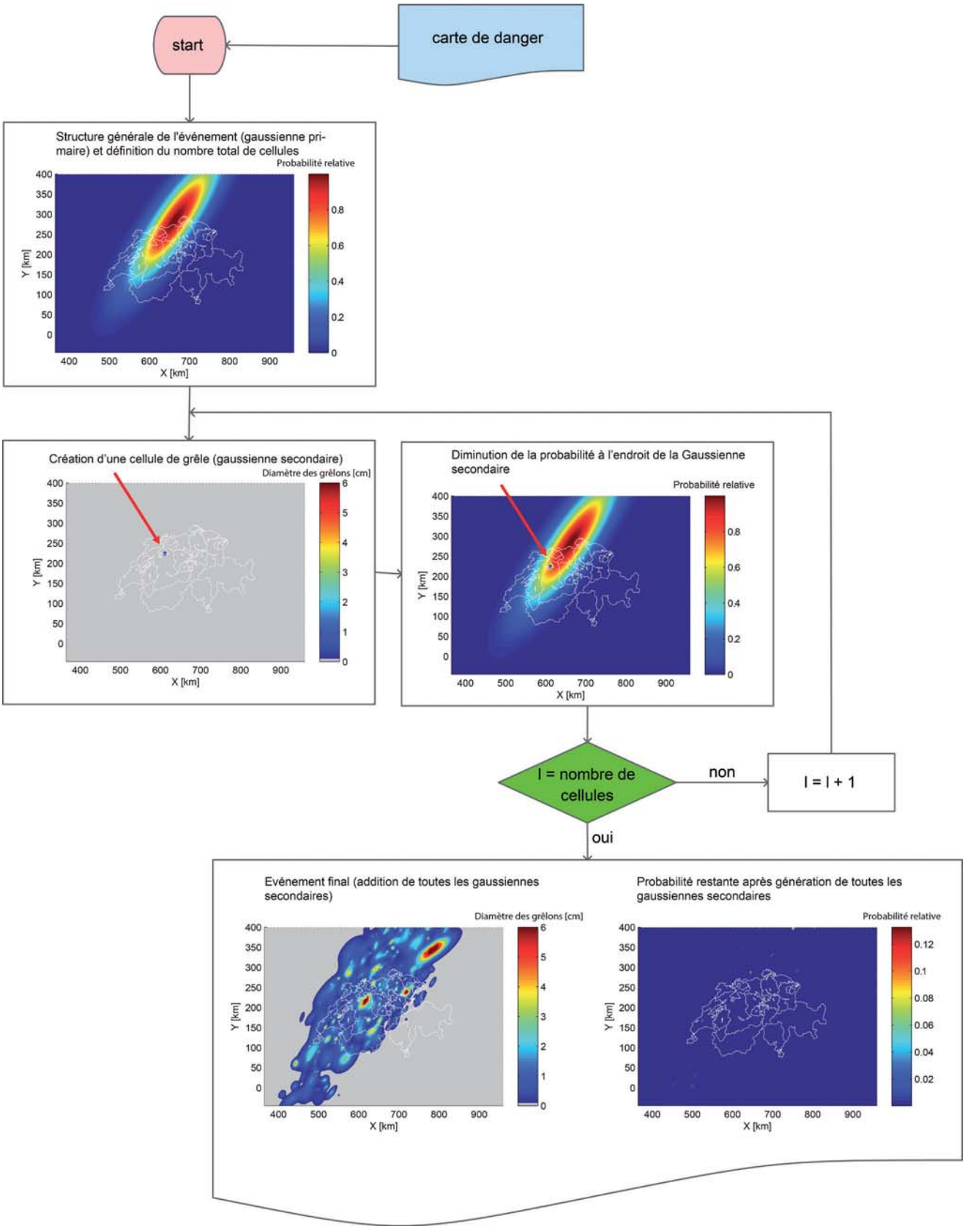
2. Une première cellule de grêle est créée aussi à l'aide d'une fonction gaussienne (ci-après « gaussienne de type secondaire »). La fonction qui représente l'événement dans son ensemble (gaussienne de type primaire) sert de carte de probabilité pour la position de la cellule de grêle, tandis que l'orientation globale de l'événement sert de valeur escomptée pour la variable aléatoire « orientation de la cellule de grêle ». L'excentricité de la cellule est définie avec une fonction aléatoire, à savoir l'écart-type de son axe transversal selon une fonction exponentielle dans les limites de 500 m et 10 km.

3. Une fois que la cellule de grêle est créée au moyen de la gaussienne de type secondaire, elle est soustraite à la gaussienne de type primaire qui forme l'événement dans son ensemble, de manière à ce que les cellules de grêle suivantes ne soit pas positionnées trop proches des cellules existantes.

4. Les étapes 2 et 3 sont répétées jusqu'à ce que le nombre de cellules de grêle défini au départ soit atteint, ou jusqu'à ce que ce qu'il ne reste plus assez d'espace pour créer de nouvelles cellules.

5. Une fois l'événement reproduit artificiellement, les éventuels dommages sont calculés et stockés afin d'être disponibles pour de futures analyses. Les catégories de tailles de grêlons calculées en différents endroits du territoire sont également conservées pour valider les résultats.





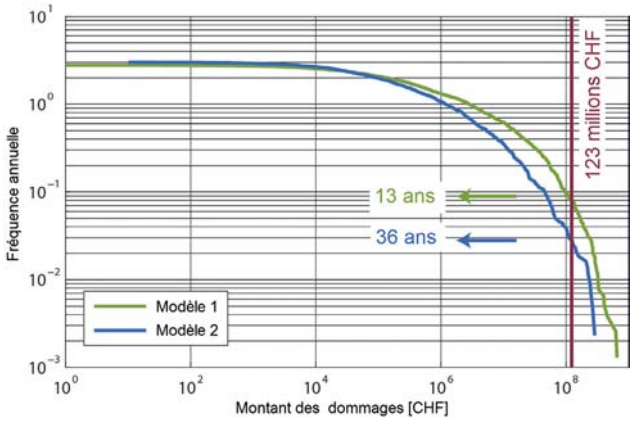
III. 76: *flow-chart pour la création artificielle d'un événement de grêle.*

8. Conclusions, résultats, perspectives

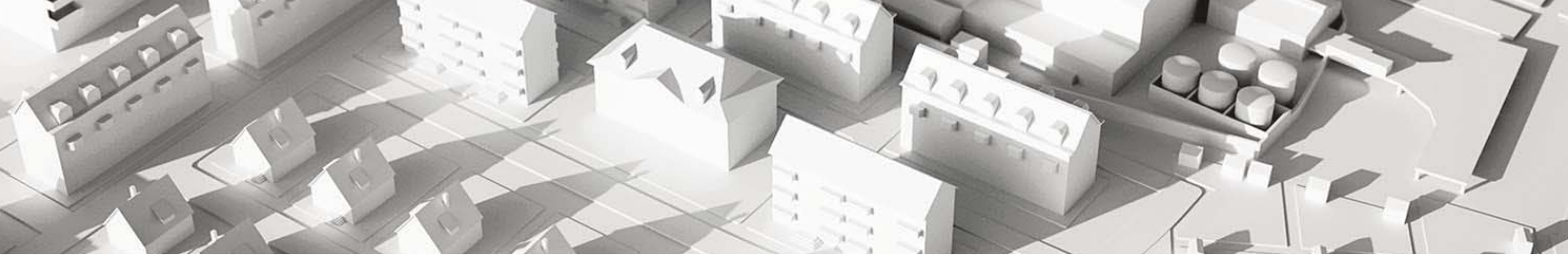
Lorsqu'un grand nombre d'événements artificiels a été créé, une fonction exponentielle est ajustée dans chaque cellule de la grille, de manière à contrôler si les événements générés suivent une courbe similaire à celle obtenue à partir des cartes de danger (ECA 2007), en particulier le paramètre < qui définit la pente de la fonction et indique ainsi si les proportions entre les différentes fréquences de tailles de grêlons sont cohérentes avec celles représentées sur les cartes de danger de grêle (ECA 2007). Le paramètre n_0 doit par contre être mis à l'échelle, de manière à définir quelle fréquence est décrite par les différentes modélisations, soit combien de ces simulations représentent une année dans la réalité. Une fois la mise à l'échelle réalisée, le risque peut être calculé.

Les résultats de deux modèles différents sont présentés ci-dessous. Dans le premier, l'intensité maximale de chaque cellule suit la distribution présentée dans l'ill. 77, tandis que dans le deuxième modèle, la moyenne de cette distribution est ajustée à chaque simulation de manière à ce que les intensités maximales d'un événement de petite ampleur soient en moyenne plus basses que celles d'un événement plus conséquent. Le premier modèle permet d'obtenir un risque moyen légèrement supérieur à celui calculé au point 7.2 (40,8 millions de CHF/an au lieu d'environ 30 millions de CHF/an), mais la pente des exponentielles est par contre trop faible. À l'inverse, le second modèle permet de mieux reproduire la pente des fonctions exponentielles, mais le risque est plus bas que celui attendu (18,1 millions de CHF/an au lieu d'environ 30 millions de CHF/an).

Ces deux modèles permettent de donner une idée de la période de récurrence d'événements d'ampleur semblable à celui de 2011 en termes de dommages. Dans le premier modèle, la période de récurrence serait d'environ 13 ans, ce qui est évidemment à considérer comme la limite inférieure pour un événement de ce type. Dans le deuxième modèle, la période de récurrence serait de 36 ans. Ces simulations sont très sensibles aux paramètres d'entrée. Par conséquent, d'autres tests sont encore nécessaires pour affiner les résultats et les faire correspondre le plus possible aux différents paramètres attendus, tels que le risque moyen ou la pente de la relation « Marshall-Palmer » ajustée sur les tailles de grêlons escomptées en chaque point du canton. Il est tout à fait possible que dans les deux cas, la répartition des coûts, et donc aussi la pente et la forme des courbes, soit fausse. L'incertitude porte en particulier sur les petits événements fréquents, puisqu'aucune image radar d'un événement de ce type n'est disponible.



III. 77: *dans le premier modèle (vert), le montant des dommages de l'événement de 2011 est atteint environ tous les 13 ans et des dommages de 2,8 millions ou plus sont à attendre en moyenne une fois par année. Dans le deuxième modèle (bleu), la période de récurrence de l'événement est d'environ 36 ans. 560'000 simulations ont été effectuées pour le modèle 1 (dont 2'153 provoquant des dommages dans le canton d'Argovie) et 360'000 pour le modèle 2 (dont 1'299 provoquant des dommages dans le canton d'Argovie).*



8. Conclusions, résultats, perspectives

Outre des propositions d'amélioration pour des analyses futures, le prochain objectif à long terme a aussi été formulé dans les conclusions du rapport « Analyse des événements Grêle 2009 »: «... une estimation aussi rapide et, même si elle repose sur des informations incomplètes, aussi fiable que possible des dommages causés par un futur événement de grêle ». Avec le modèle de grêle présenté, nous nous sommes nettement rapprochés de cet objectif. Le nouveau modèle est fonctionnel. Il manque encore principalement une vaste base de données pouvant servir à la calibration afin d'affiner les paramètres. Le modèle réagit en effet à ces derniers de manière relativement sensible, tout comme les abondants essais sur des événements de différentes intensités.

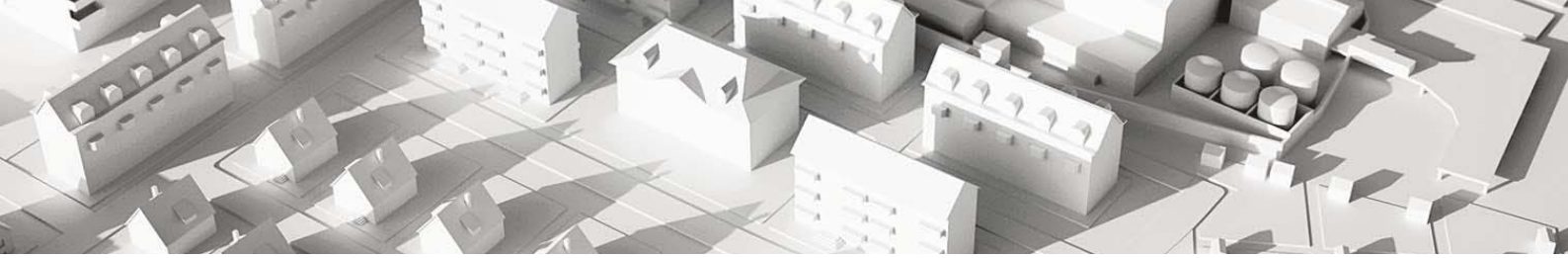
La représentativité des échantillons analysés de données concernant les dommages a également été abordée dans l'étude précédente. Le fait que l'analyse dans la nouvelle étude porte directement sur l'ensemble des données au lieu d'un échantillon permet de résoudre le problème de la représentativité pour l'événement analysé. Cela ne vaut pas bien sûr pour la représentativité des connaissances acquises en ce qui concerne le transfert sur d'autres événements de grêle. La très bonne concordance partielle avec les données des averses de grêle de mai et juillet 2009 (en particulier la proportion des catégories de bâtiments touchés par rapport à l'ensemble des bâtiments existants, le taux de dommages par catégorie de bâtiment ainsi que l'interdépendance de la proportion des bâtiments touchés par année de construction) laisse toutefois supposer que de nombreux résultats peuvent également être transférés sur d'autres événements de grêle ou sur d'autres cantons.

L'étude « Grêle 2009 » voit en particulier ses résultats suivants confirmés par la présente analyse :

- Plus de la moitié du montant des dommages des événements de grêle résulte des dommages causés aux stores, au toit et aux parois / façades.
- Les maisons d'habitation sont en moyenne clairement plus sensibles à la grêle que les autres types de bâtiments.
- Les maisons d'habitation récentes sont en moyenne nettement plus sensibles à la grêle que les plus anciennes.
- Les maisons d'habitation récentes sont non seulement nettement plus souvent concernées par des dommages de grêle que les anciennes mais elles sont aussi plus fortement endommagées (taux de dommages plus élevé).
- L'utilisation d'éléments de construction avec une résistance à la grêle RG 3 au moins peuvent permettre de réduire efficacement les dommages dus à la grêle et de réaliser des économies substantielles. En raison des modes de construction non adaptés au danger de grêle, la solidarité entre les personnes qui paient les primes s'épuise car les primes sont revues à la hausse pour tous les clients.
- Les efforts des ECA en termes de prévention devraient porter principalement sur les maisons d'habitation car celles-ci sont nombreuses et présentent une sensibilité marquée à la grêle.

Par rapport à l'étude sur l'orage de grêle de 2009, la nouvelle étude a toutefois aussi permis d'obtenir de nouvelles informations :

- L'événement de grêle des 12 et 13 juillet 2011 fut certes le plus important événement de dommages éléments naturels jamais répertorié pour l'établissement d'assurance d'Argovie (soit depuis 1941), mais la période de récurrence statistique d'un tel événement devrait plutôt être de 50 ans que de 100 ans. C'est ce qu'indiquent également les calculs modélisés de l'université de Lausanne.
- Si la cellule de grêle avait suivi une trajectoire légèrement plus au nord, les dommages auraient été encore plus élevés, mais les plus grandes agglomérations du canton n'ont été en réalité que « frôlées ». Même sans l'augmentation de l'intensité de la grêle due au changement climatique, on peut s'attendre à constater des événements encore plus dommageables.
- Le fait que l'orage de grêle ait eu lieu la nuit n'a pas eu de répercussion sur le nombre de cas de sinistres, mais sur le montant des dommages des stores touchés. C'est la raison pour laquelle il s'avère judicieux, notamment pour les orages survenant la nuit, d'avoir recours à un système automatique reposant sur des prévisions à court terme pour faire remonter les stores pendant des événements de grêle. Ce genre de solution devrait également être avantageux d'un point de vue économique.
- Une utilisation systématique d'éléments de construction avec une résistance à la grêle RG 3 au moins permettrait de réduire encore davantage le risque grêle par rapport à aujourd'hui, même dans l'hypothèse où le taux de croissance actuel du bâti argovien se maintient d'ici à 2035.
- En ce qui concerne la fréquence ou le taux des dommages, il existe un lien statistique entre l'orientation des bâtiments d'habitation et la trajectoire des cellules de grêle.
- Les bâtiments les plus fréquemment et les plus gravement endommagés n'étaient pas les bâtiments (avec toit en pente) implantés à angle droit par rapport à la trajectoire de la cellule de grêle, mais bien plus ceux dont l'axe longitudinal était orienté de 40 à 70°, une plus vaste surface de bâtiment étant ainsi exposée aux impacts de grêle (entraînée par le vent).
- Selon l'orientation des bâtiments, les dommages peuvent donc être plus ou moins importants. C'est justement pour les orientations défavorables qu'il peut être payant d'utiliser des éléments de construction plus résistants à la grêle, surtout sur la face « exposée aux intempéries » du



bâtiment, car les cellules de grêle suivent souvent des « itinéraires fixes ».
- Grâce aux données radar, il est possible avec un modèle adapté, comme celui décrit dans le présent rapport, d'établir rapidement après un événement une estimation approximative de l'étendue et de l'ordre de grandeur des dommages survenus. Le choix judicieux des paramètres est ici déterminant.
- Contrairement aux attentes, la méthode d'analyse de l'événement 2009 n'a pas pu être reprise pour l'événement de juillet 2011. Il a fallu choisir un autre procédé.

Dans le premier cas, les décisions rendues par l'ECA de Thurgovie envers ses clients ont été analysées depuis des fichiers Excel séparés, ce qui a nécessité le développement d'un outil de sélection de données adapté. Dans le canton d'Argovie en revanche, les informations nécessaires se trouvaient dans une base de données, ce qui simplifiait l'analyse. Les entrées correspondantes étaient rédigées par contre de manière plus concise, de telle sorte que le matériau notamment des éléments de construction endommagés n'était pas souvent évident, ce qui empêchait de mener une analyse statistique pertinente.

Il reste toutefois des questions sans réponse. Comment établir une statistique sur la vulnérabilité des éléments de construction face à la grêle ? Il s'agit là d'un problème qui n'a toujours pas trouvé de solution. Pour cela, les chiffres des éléments de construction non endommagés seraient aussi nécessaires, en plus des chiffres des éléments de construction endommagés. Ces données ne sont malheureusement pas facilement accessibles car elles nécessiteraient des relevés coûteux.

Le manque d'informations rend également impossible l'analyse statistique de l'incidence de l'usure de certains éléments de construction sur leur degré de résistance à la grêle (en particulier des matières synthétiques). Des essais systématiques en laboratoire sont ici de toute façon plus appropriés pour obtenir des résultats pertinents.

La fiabilité des données radar pour estimer rapidement les dommages aux bâtiments dus à la grêle dépend en grande partie de l'exactitude du rapport établi entre la puissance de l'écho radar et l'intensité de la grêle qui en est déduite.

Il existe aujourd'hui des systèmes de mesure offrant une saisie permanente de l'intensité de la grêle mais la Suisse ne dispose toutefois actuellement d'aucun réseau de mesure pour une saisie globale en continu. C'est pourquoi le calibrage s'effectue le plus simplement possible, au moyen des grêlons retrouvés. La société meteoradar GmbH invite la population à indiquer sur son site Internet (www.meteoradar.ch) la taille des grêlons ainsi que le lieu et l'heure où ils ont été observés.

La pertinence du modèle de grêle présenté dans ce rapport est étroitement dépendante de la qualité des données issues de la carte des dangers et notamment par les fonctions exponentielles sous-jacentes à celle-ci. Cette pertinence du modèle repose ainsi sur des données radar de 1992 à 2004 ainsi que sur une série chronologique des situations météorologiques selon Hess / Brezowsky de 1881 à 2001 (Schiesser, 2006 ; ECA, 2007). Les grands événements de grêle des années passées (2005, 2009, 2011, 2013) ne sont ainsi pas pris en considération. En raison de la série chronologique relativement courte de données radar, la Suisse a été partagée en onze zones de danger, la résolution spatiale de la carte des dangers étant inévitablement limitée. C'est la raison pour laquelle, on prévoit de réimprimer prochainement la carte en tenant compte des données des dix dernières années. Cette nouvelle version doit reproduire plus en détail la situation actuelle des dangers et donner une nouvelle base à la prévention de mesures de prévention.

9. Remerciements

L'UIR et l'ISTE remercient sincèrement l'établissement d'assurance d'Argovie pour leur agréable collaboration et les nombreuses informations.

Nos remerciements s'adressent tout particulièrement à :

- Monsieur Armin Wittmer de l'établissement d'assurance d'Argovie pour les nombreux renseignements et conseils sur les données concernant les dommages de l'événement des 12 et 13 juillet 2011.

- Monsieur Matthieu Weber de l'établissement d'assurance d'Argovie pour la mise à disposition des nombreuses images et photos.

10. Bibliographie

10. Bibliographie

AZ (2012) : Gebäudeversicherung zieht Lehren aus dem Hagel-GAU. Journal Aargauer Zeitung du 3 août 2012. *(http://www.aargauerzeitung.ch/aargau/kanton-aargau/gebaeudeversicherung-zieht-lehren-aus-dem-hagel-gau-124955840*; dernière consultation le 6 nov. 2014)

OFS (2014a) : Évolution future de la population - Données, indicateurs - Scénarios cantonaux *(http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/fr/index/themen/01/03/blank/key_kant/01.html;* dernière consultation le 12 sept. 2014).

OFS (2014b) : Évolution future de la population - Données, indicateurs - Scénarios des ménages *(http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/fr/index/themen/01/03/blank/key_hhsz.html;* dernière consultation le 12 sept. 2014).

OFS (2014c) : Atlas statistique de la Suisse *(http://www.atlas.bfs.admin.ch/maps/13/map/mapIdOnly/0_de.html ;* dernière consultation le 25 sept. 2014).

Brandenberger, U. (2011) Weiach – Aus der Geschichte eines Unterländer Dorfes. 4. Überarbeitete Auflage von Zollinger, W. (1972) : « Weiach. 1271–1971. Aus der Vergangenheit des Dorfes Weiach». Édition en ligne *(http://weiachergeschichten.ch/wp-content /uploads/2011/06/ GeschWeiach-Ausg2011-06.pdf)*. 80 p. ; dernière consultation le 17 nov. 2014).

Bründl, M., Krummenacher, B., Rheinberger, C. & Winkler, C. (2011) : Formeln zur Berechnung des Risikos bei Naturgefahren. *(http://www.econome.admin.ch/doc/Formeln_Risiko_111221_ D.pdf;* dernière consultation le 17 nov. 2014).

Choffet, M., Imhof, M., Caspard, O. & Jaboyedoff, M. (2011) : Analyse des événements de grêle de 2009 – Étude pilote dans le canton de Thurgovie. Institut de Géomatique et d'Analyse du Risque, Université de Lausanne, n° rapp IGAR-Grêle-R001. 47 p.

Crenshaw, V. & Koontz, J. D. (2001) : Simulated hail damage and impact resistance test procedures for roofing coverings and membranes. Roofing Industry Committee on Weather Issues (RICOWI) meeting Oct. 27, 2000. Dallas, Texas. 10 p.

Cullen, W. C. (1992) : Hail damage to roofing: assessment and classification. Proceedings of the 4th International Symposium on Roofing Technology, NRCA/NIST. p. 211–216.

La Poste (2013) : GeoPost Coordinates – Haute précision dans les adresses de bâtiments. La Poste *(http://www.post.ch/post-startseite/post-adress-services-match/post-gis/post-gis-geopost-coordinates;* dernière consultation le 9 oct. 2014). 4 p.

GEA (2013) : Dickstes Hagelkorn Deutschlands. Reutlinger Generalanzeiger du 27 août 2013. *(https://www.facebook.com/gea.reutlingen/posts/641601495857987?stream_ref=5 ;* dernière consultation le 9 oct. 2014).

Hohl, R., Schiesser, H.-H. & Aller, D. (2002) : Hailfall: the relationship between radar-derived hail kinetic energy and hail damage to buildings. Atmospheric Research 63 (2002). p. 177–207.

UIR (Éd. ; 2008) : Analyse des événements crues 8 / 9 août 2007. Étude de l'Union intercantonale de réassurance. Berne. 27 p.

UIR (Éd. ; 2012) : Analyse des événements Grêle 2009. Étude de l'orage de grêle du 26 mai et du 23 juillet 2009. Étude de l'Union intercantonale de réassurance. Berne. 51 p.

ECA (Éd. ; 2007) : Répertoire de la protection contre la grêle - Recherches sur le danger de grêle et la résistance de l'enveloppe des bâtiments. Rapport de synthèse Fondations de prévention des établissements cantonaux d'assurance. Berne. 34 p.

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

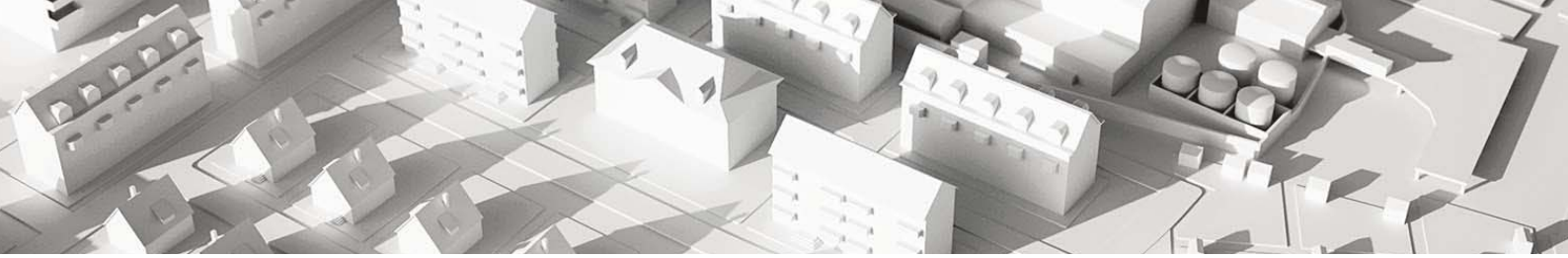
Pruppacher, H. R. & Klett, J. (2010) : Microphysics of Clouds and Precipitation. Springer. 976 p.

Punge, H., Bedka, K., Kunz, M. & Werner, A. (2014) : A new physically based stochastic event catalog for hail in Europe. Natural Hazards Vol. 73. Springer Dordrecht. p. 1625-1645.

Riniker, H. (1881) : Die Hagelschläge und ihre Abhängigkeit von Oberfläche und Bewaldung des Bodens im Kanton Aarau nach Beobachtungen des Forstpersonals und amtlichen Quellen. Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH. 152 p.

Sauerländer, H. R. (Hrsg.; 1824) : Der aufrichtige und wohlerfahrne Schweizer-Bote. n° 32. Aarau. p. 250-251.

Schiesser H.-H. (2006) : Hagelstürme in der Schweiz: Wiederkehrperioden von schadenbringenden Hagelkorngrössen – eine Abschätzung. Étude non publiée, élaborée pour la fondation de prévention des Établissements cantonaux d'assurance. Zurich. 23 p.



Sigg, O. (1994) : «Inclementia aeris» – Wetter, Teuerung und Armut in den Jahrzehnten um 1600. Tirage spécial de : Vom Luxus des Geistes. Cadeau à l'occasion du 80e anniversaire de Bruno Schmid. Schulthess Polygraphischer Verlag, Zurich. 13 p.

Steigmeier, A. (2004) : Feuer, Wind und Wasser. 200 Jahre Gebäudeversicherung im Aargau. Kasimir Meyer AG, Wohlen. 119 p.

Swissolar (2012) : L'industrie solaire suisse. Savoir-faire pour le tournant énergétique. Association suisse des professionnels de l'énergie solaire. Zurich : 18 p.

Annexe A:
Carte d'orientation indiquant l'emplacement des localités mentionnées dans le rapport

Canton d'Argovie
(base cartographique swisstopo)

Annexe B:
Code d'affectation AEAI

Annexe B:
Code d'affectation AEAI

Bâtiments administratifs et bâtiments publics

10	Bâtiments de l'administration
11	Bâtiments scolaires
12	Bâtiments ecclésiastiques
13 (14)	Hôpitaux, maisons spécialisées dans les soins
16	Bâtiments consacrés à l'art, à la culture et au sport
19 (15)	Autres

Maisons d'habitation

20	Habitation uniquement
29 (21–29)	Affectation mixte

Bâtiments agricoles

30	Bâtiments agricoles habités
39 (31–39)	Autres bâtiments agricoles

Transports

40 (40–49)

Commerce

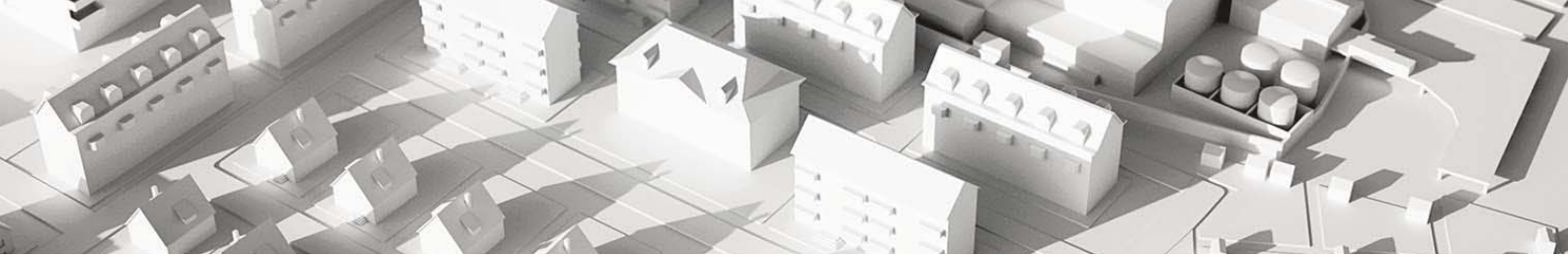
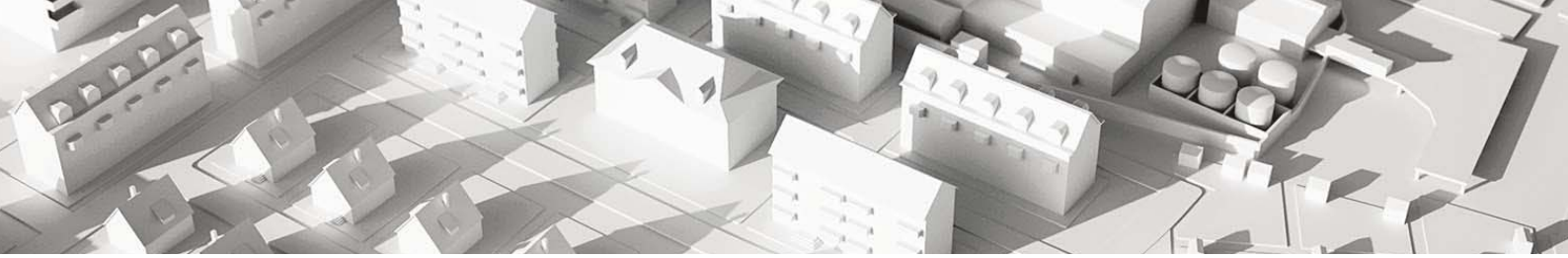
50 (55)	Magasins et immeubles commerciaux
51	Entrepôts

Industrie et artisanat

60 (61)	Travail de la pierre et de la terre
62	Industrie du bâtiment (sans le bois)
63	Produits alimentaires et de luxe
64 (65,69)	Industrie textile, vêtements, cuir
66	Travail du bois (y compris industrie du bâtiment)
67 (68)	Industrie du papier, arts graphiques
70	Industrie des matières synthétiques
71	Industrie chimique
72 (73)	Industrie métallurgique et mécanique

Hôtellerie

80	Approvisionnement et élimination des déchets
79 (75,77–79)	Autres

Petits bâtiments et dépendances

90