



Le défi de l'assurabilité des risques climatiques

Arthur Charpentier (UQAM & Univ. Rennes)

Data Driven Montréal

Septembre 2023

September 19, 2023



Arthur Charpentier

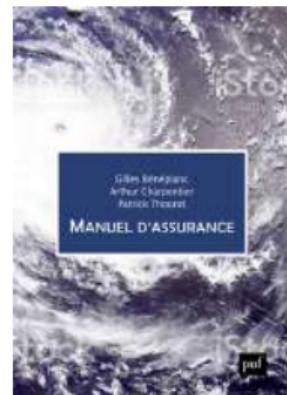
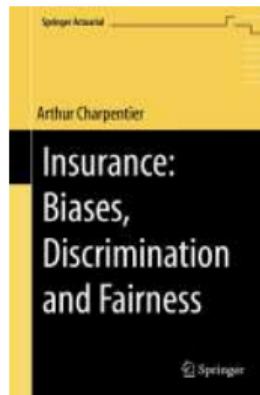
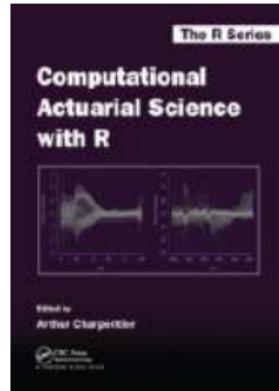
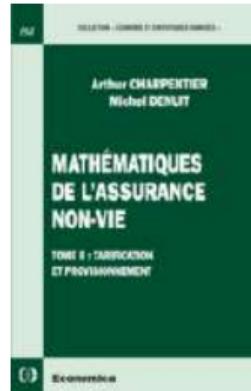
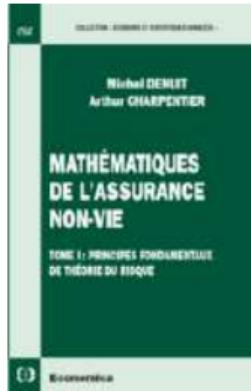
Université du Québec à Montréal
& Université de Rennes (France)

 @freakonometrics

 freakonometrics

 freakonometrics.hypotheses.org

Predictive Modeling, Actuarial Science,
Mathematical Economics, Risk, Inequalities,
Econometrics, Statistics, Machine Learning
Climate Modeling, Extremes, Fairness





Data Driven Montréal #83

Assurance, Science des données et Actuariat

Mardi 05 Janvier 2021 – 5:00pm-6:15pm

Événement en ligne gratuit

En partenariat avec la compétition Insurance Pricing Game organisée par

Imperial College London

SINGAPORE ACTUARIAL SOCIETY

Actuaries Institute Australia

CAS

Institute and Faculty of Actuaries

IAA ASTIN Non-Life Insurance

UQÀM

DATA DRIVEN MONTRÉAL

See talk in January 2021 about insurance pricing (and market competition)

Insurance [2]

"Insurance is the contribution of the many to the misfortune of the few"
"at the core of insurance business lies discrimination between risky and non-risky insureds"

The figure consists of three horizontal panels. The left panel, titled 'Segmentation et multiutilisation des DELIN faciles d'une même pièce', shows a central image of a small, rectangular metal component with various holes and slots. To its left is a drawing of a larger, more complex part labeled 'Pièce'. To its right are two smaller drawings labeled 'Pièces'. The middle panel, titled 'Fabrication en une seule opération', shows a similar component with a different set of features. The right panel, titled 'Fabrication en deux opérations', shows a third version of the component with yet another set of features.

- Avraham, R. (2017). Discrimination and insurance. In K. Lippert-Rasmussen (Ed.), *Handbook of the ethics of discrimination* (pp. 335–347). Routledge.

Charpentier, A., Denuit, M., & Élie, R. (2014). Segmentation et mutualisation, les deux faces d'une même pièce. *Risques*, (103).

Insurance [3]

The **geometric distribution** gives the probability that the first occurrence of success requires k independent trials, each with success probability p . If the probability of success on each trial is p , then the probability that the k th trial is the first success is



$$\mathbb{P}(X = k) = (1 - p)^{k-1} p, \begin{cases} k \in \{1, 2, 3, \dots\} \\ p \in (0, 1). \end{cases}$$

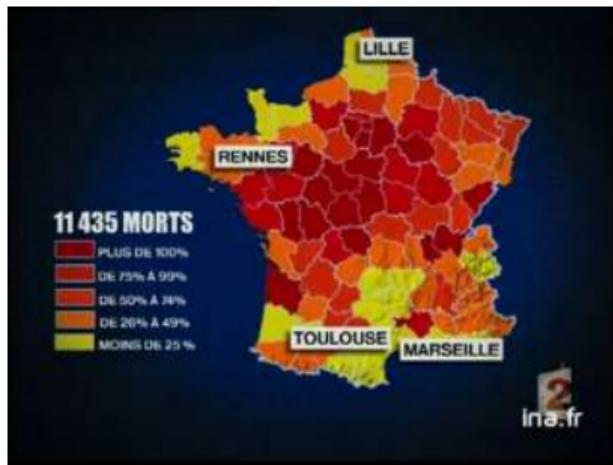
In that case, $\mathbb{E}[X] = \frac{1}{p}$.

A **return period** is an average time (or an estimated average time) between events such as earthquakes, floods, landslides, or river discharge flows to occur.



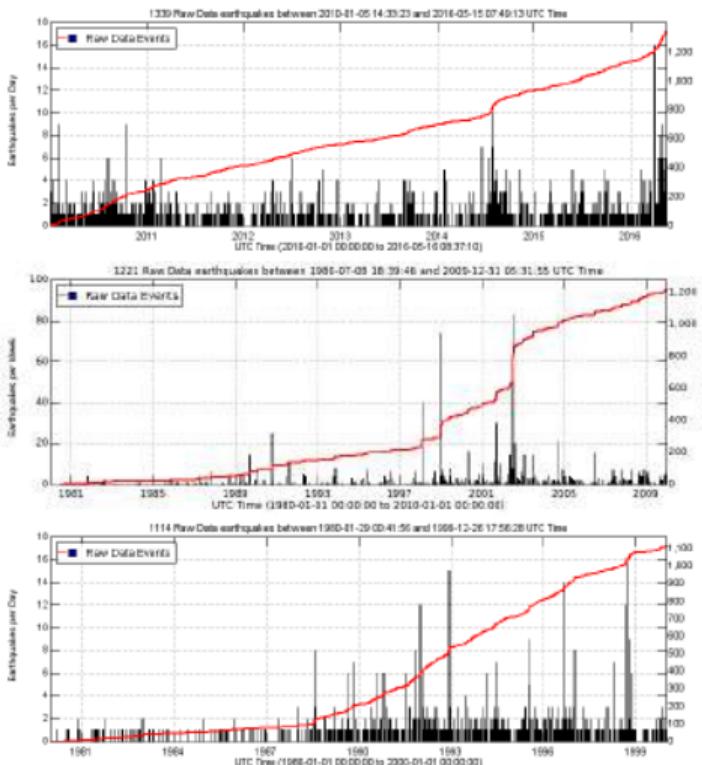
Gumbel, E. J. (1958). *Statistics of extremes*. Columbia university press.

Dynamics of Natural Catastrophes (incl. Climate) [1]



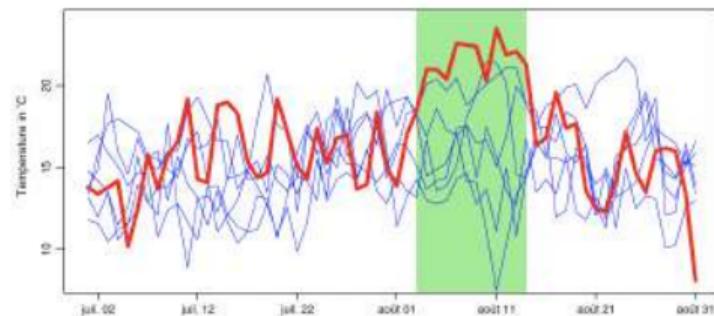
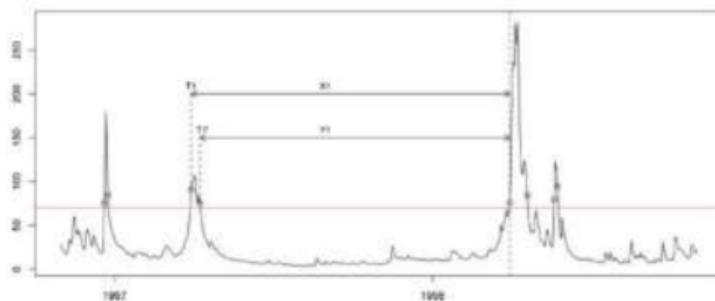
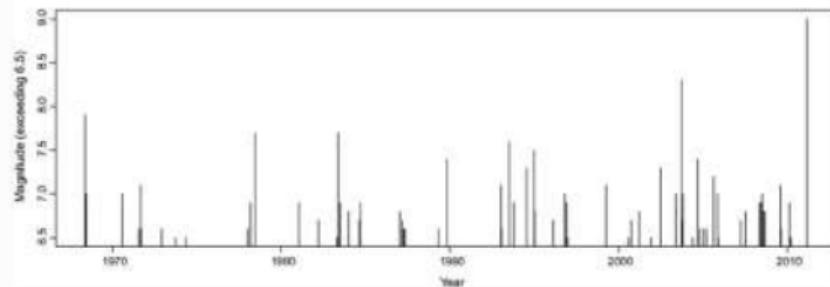
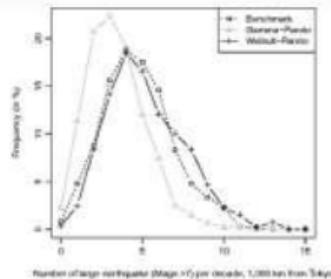
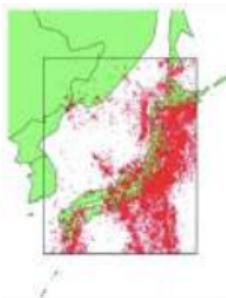
- Charpentier, A. (2011). On the return period of the 2003 heat wave. *Climatic change*.
- Charpentier, A., & Durand, M. (2015). Modeling earthquake dynamics. *Journal of Seismology*.
- Charpentier, A., & Sibaï, D. (2009). Dynamic flood modeling: Combining hurst and gumbel's approach. *Environmetrics*.

Dynamics of Natural Catastrophes (incl. Climate) [2]



Dynamics of Natural Catastrophes (incl. Climate) [3]

"seismic gap hypothesis" / dynamic of flood events / heat wave persistence

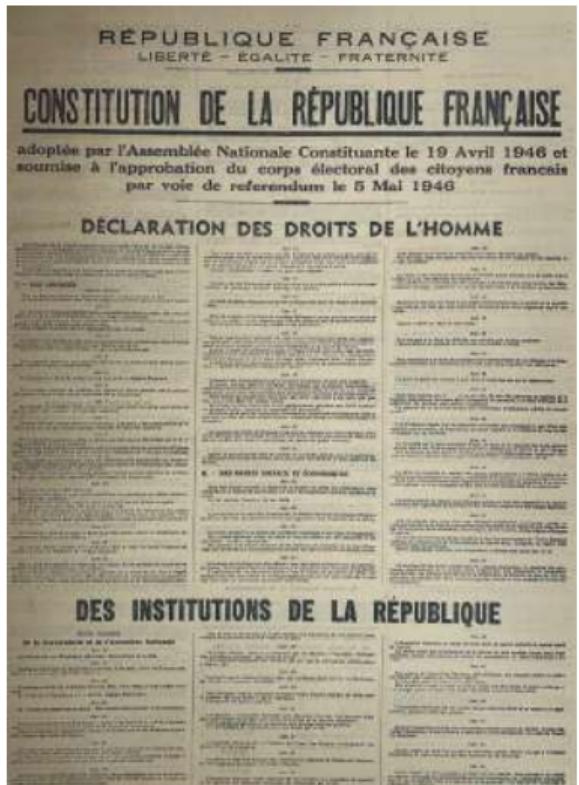


Flood Risk in France [1]



-  Charpentier, A., Barry, L., & James, M. (2021). Insurance against Natural Catastrophes: Balancing Actuarial Fairness and Social Solidarity. *Geneva Papers on Risk & Insurance*.
<https://doi.org/10.1057/s41288-021-00233-7>
-  France Info. (2018). Seine-et-marne : La ville de thoméry se remet progressivement des inondations.
<http://tinyurl.com/mtc9tprm>

Flood Risk in France [2]



- Charpentier, A., Barry, L., & James, M. (2021). Insurance against Natural Catastrophes: Balancing Actuarial Fairness and Social Solidarity. *Geneva Papers on Risk & Insurance*. <https://doi.org/10.1057/s41288-021-00233-7>

On fairness & solidarity

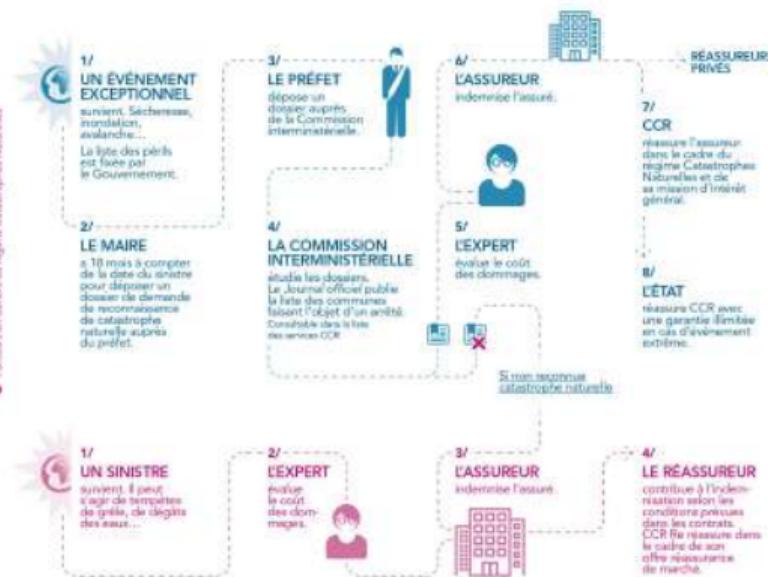
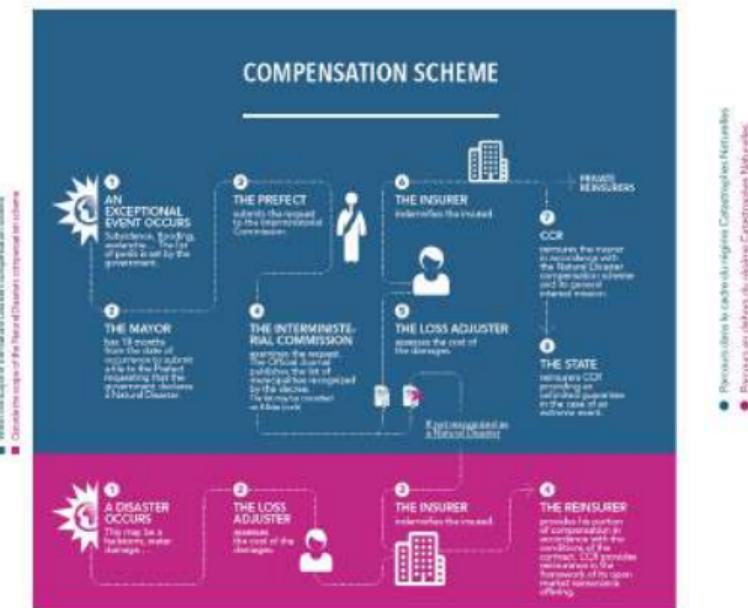
▶ French Constitution (1946)

12. La Nation proclame la solidarité et l'égalité de tous les Français devant les charges qui résultent des calamités nationales.

► 82-600 Law (1982)

régime d'indemnisation des catastrophes naturelles

Flood Risk in France [3]

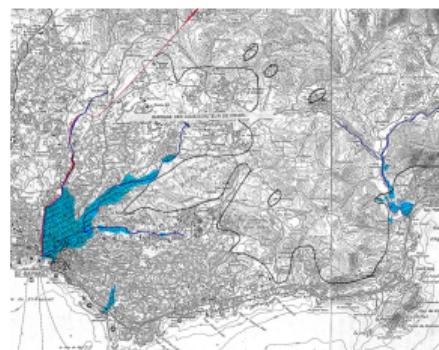
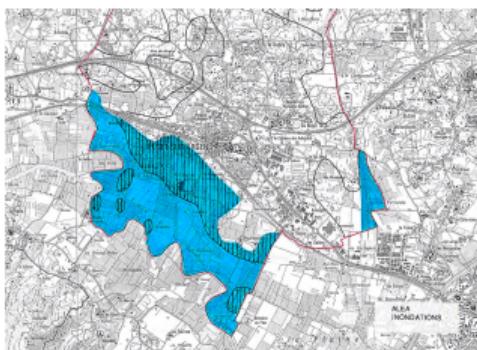
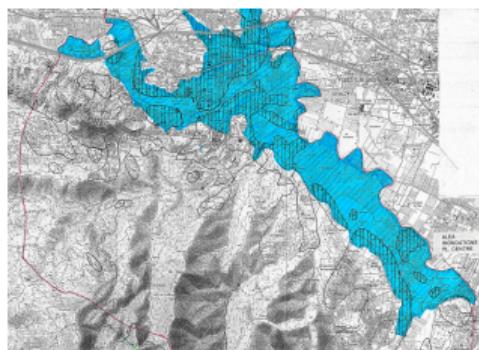


source: <https://www.ccr.fr/en/-/indemnisation-des-catastrophes-naturelles-en-france>

Flood Risk in France [4]

Two different flood perils : overflow vs. coastal

PPRIs ([plan de prévention du risque inondation](#)) in Roquebrune-sur-Argens, Puget and Saint-Raphaël. The plain area (in blue) is the risky area.



Areas clearly identified as risky, from documented (historical) floods.

Flood Risk in France [5]



Procès tempête Xynthia : deux élus condamnés à des peines de prison

René Moratier
• Ancien maire de La Faute
• 4 ans ferme

Françoise Babin
• Ancienne adjointe
• 2 ans ferme



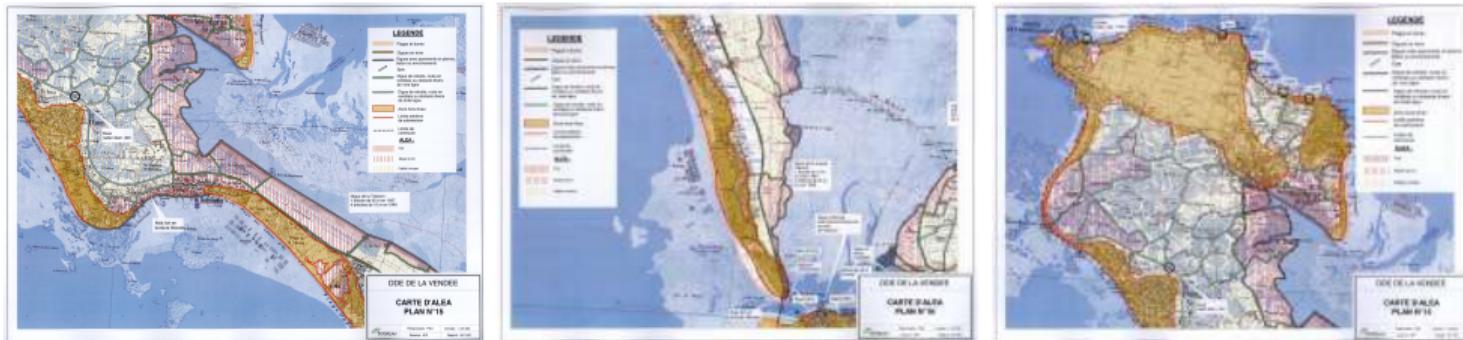
Le "Renard hydraulique" Comment il a enlevé une digue



France 3. (2019). Tempête xynthia: La responsabilité de la faute-sur-mer pourrait être alourdie.

Flood Risk in France [6]

PPRLs ([plan de prévention des risques littoraux](#)) in Vendée. The dashed area is the risky area. Areas with possible coastal risk.

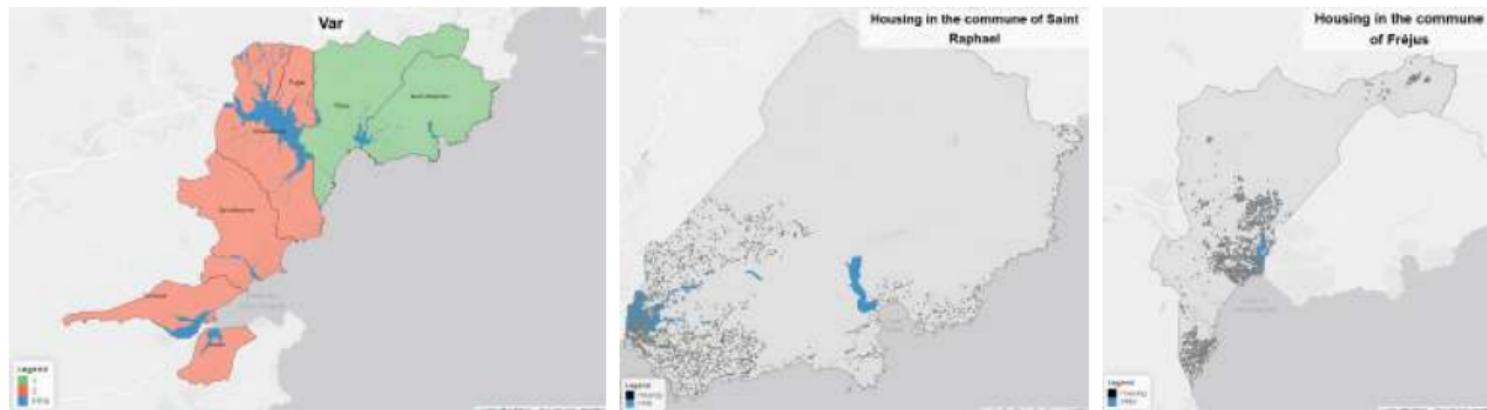


See <https://github.com/freakonometrics/floods>

Flood Risk in France [7]

10% of households represent 73.6% of the losses... who lives in those risky areas ?

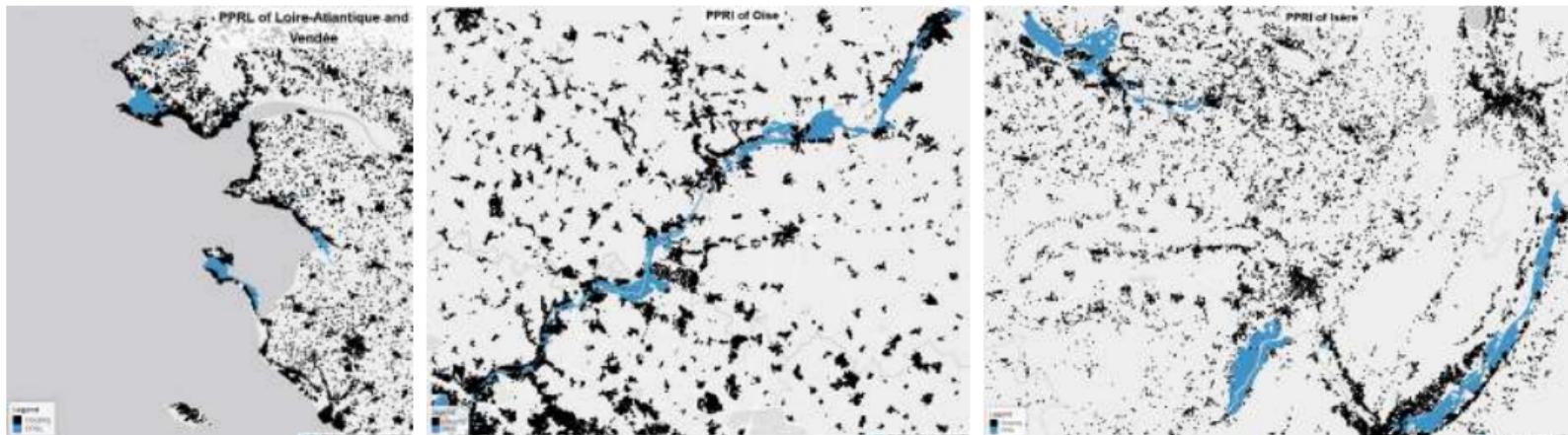
"ventes de biens fonciers" dataset, <https://cadastre.data.gouv.fr/dvf>, 2014-2018,



(possible bias on those 5-year notarial transactions...)

Flood Risk in France [8]

E.g. in 4 “departements” (Loire-Atlantique, Vendée, Oise, Isère)



- sold houses / apartments, ■ PPRI-PPRL areas

Flood Risk in France [9]

Table 1: coastal risk areas vs. Table 2: overflow / non-costal risk areas

			Average Price	Difference (%)	Maximum Price	Number	Proportion (%)	Welch <i>t</i> test
Vendée	Non risky	Apartments	4293		21840	329	9%	
		Houses	2928		65909	2795	74%	
	Risky	Apartments	3302	-23%	9773	39	1%	1.0
		Houses	10253	+250%	71483	637	17%	-60.1
Pays-Loire	Non risky	Apartments	4399		79913	8411	37%	
		Houses	3019		75472	12678	55%	
	Risky	Apartments	6784	+54%	68478	1001	4%	-8.6
		Houses	3245	+7%	22895	765	3%	-2.7

Table 1: Prices (€ per m^2) of houses sold (2014-2018) for Vendée - Western part of France, with PPRL (**coastal risk**). The *Difference* is the relative difference between average prices (per m^2) between the risky and the non-risky zones, either for apartments or houses.

Flood Risk in France [10]

			Average Price	Difference (%)	Maximum Price	Number	Proportion (%)	Welch t value
Var	Non risky	Apartments	5392			9874	53%	
		Houses	5957			6913	37%	
	Risky	Apartments	4190	-22%		1471	8%	6.4
		Houses	4172	-30%		226	1%	5.2
Haute Loire	Non risky	Apartments	2399		38333	3403	27%	
		Houses	1314		20625	8857	69%	
	Risky	Apartments	2163	-11%	28125	319	2%	1.6
		Houses	1247	-5%	7432	272	2%	0.9
Seine et Marne	Non risky	Apartments	6260		79710	82133	44%	
		Houses	3356		79167	98824	53%	
	Risky	Apartments	4333	-30%	40000	2177	1%	8.0
		Houses	2693	-20%	54096	1784	1%	7.5

Flood Risk in France [11]

			Average Price	Difference (%)	Maximum Price	Number	Proportion (%)	Welch t value
Isère	Non risky	Apartments	4960		79800	27982	52%	
		Houses	2429		69375	24600	45%	
	Risky	Apartments	3252	-3%	35714	885	2%	6.1
		Houses	2543	+5%	14067	435	1%	-1.2
Oise	Non risky	Apartments	6170		79963	24613	34%	
		Houses	3126		78214	44737	62%	
	Risky	Apartments	5725	-7%	50000	1385	2%	2.1
		Houses	2866	-8%	62184	1640	2%	4.6

Table 2: Prices (€ per m^2) of houses sold (2000-2020) for several départements in France, with PPRI (overflow risk, or non-costal).

Subsidence Risk in France [1]



- Charpentier, A., James, M. R., & Ali, H. (2022). Predicting drought and subsidence risks in france. *Natural Hazards and Earth System Sciences*.
- France Bleu. (2019). La sécheresse coûte de plus en plus cher en assurances.
<http://tinyurl.com/yeqr67xu>

Subsidence Risk in France [2]

Joint work with [Hani Ali](#) (Willis Re) and [Molly James](#) (EURIA / ACPR).



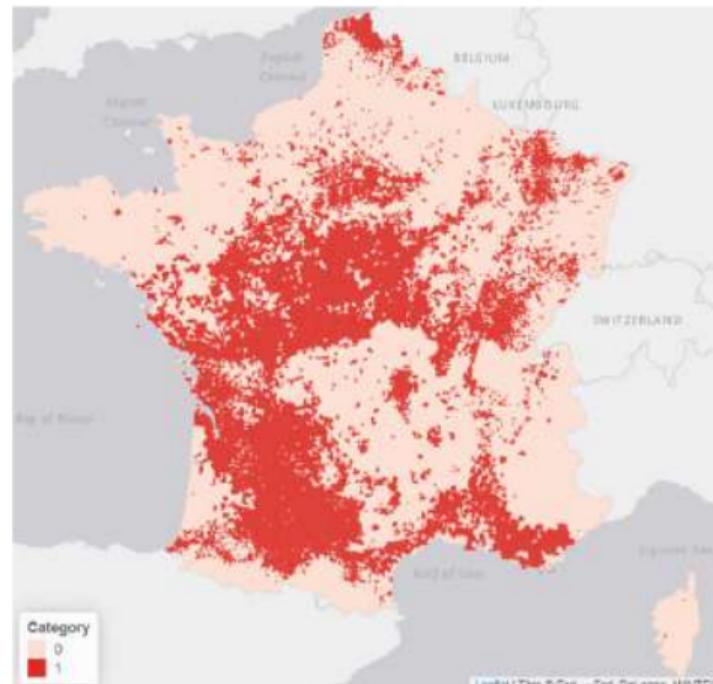
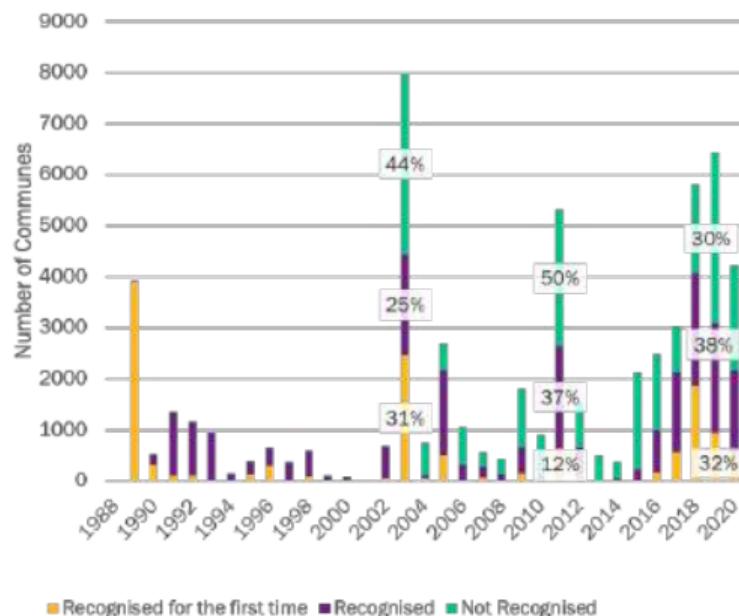
[Charpentier, A., James, M. R., & Ali, H. \(2022\)](#). Predicting drought and subsidence risks in france.
Natural Hazards and Earth System Sciences.

"Subsidence is caused by the shrinkage and swelling of clay soils"

- **Geotechnical factor:** Area of municipalities at medium or high risk $> 3\%$.
(categories based on clay concentration in the soil and historical statements)
- **Meteorological factor:** Standardized soil moisture index (SSWI), if an indicator of the season is lower than a return period of 25 years, then the whole season is eligible for the commune concerned.

Subsidence Risk in France [3]

Data 1989-2018

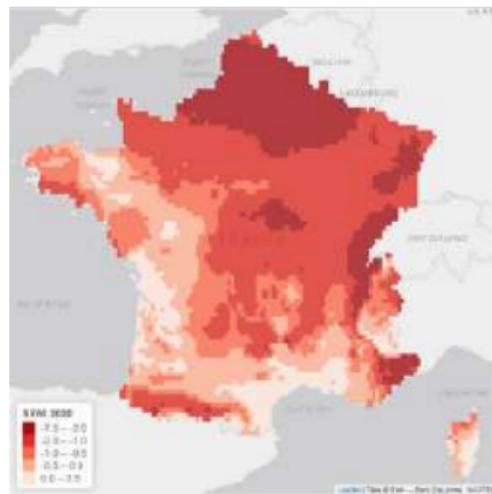
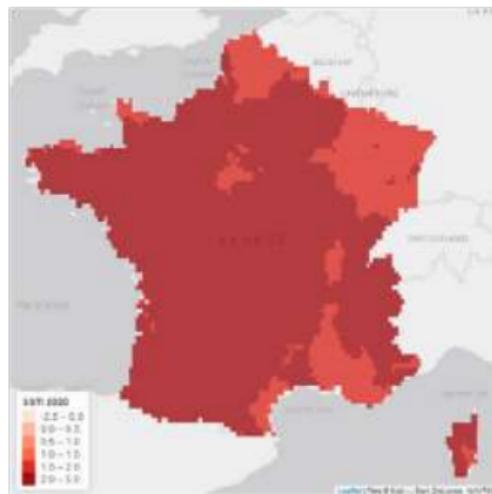
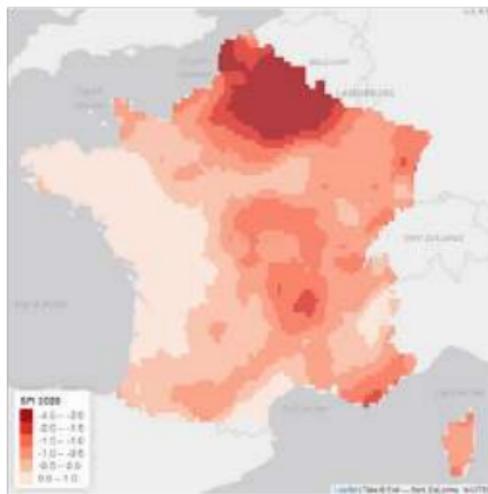


■ Recognised for the first time ■ Recognised ■ Not Recognised

Category
0
1

Subsidence Risk in France [4]

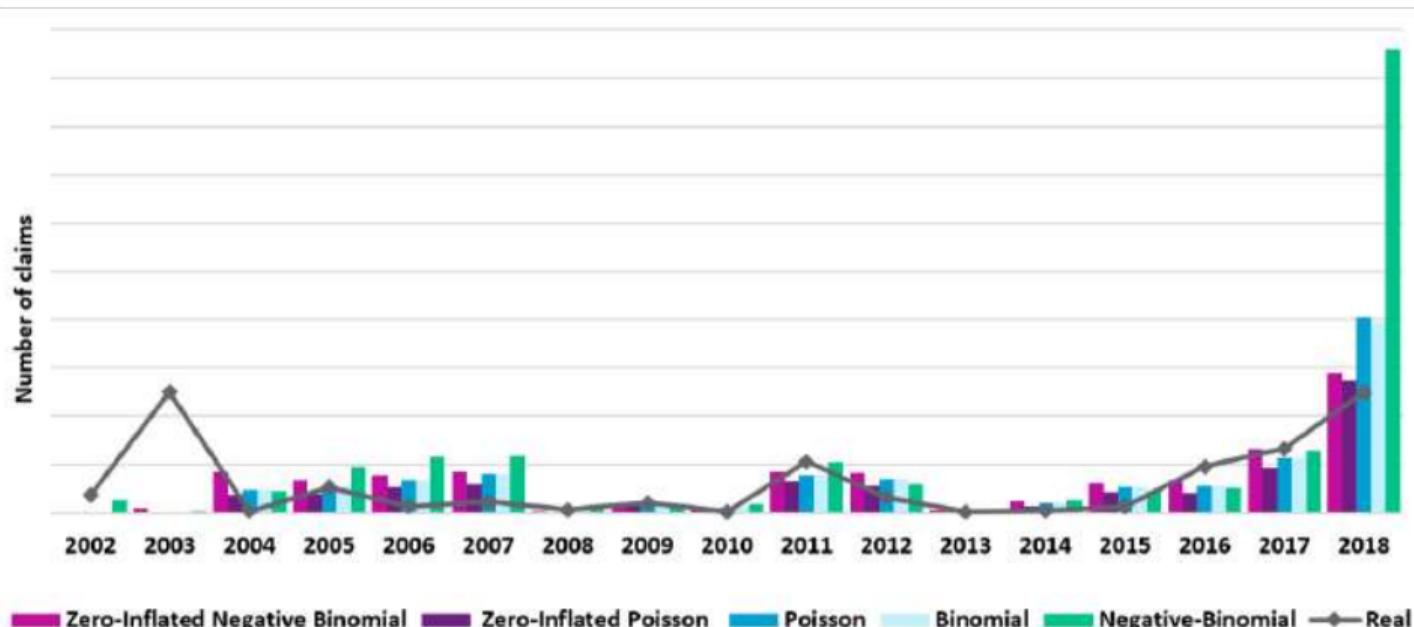
Indicators 2020: **ESPI** (precipitation) **ESSTI** (soil temperature) & **ESSWI** (soil humidity), ERA5-Land 9 km × 9 km



(via ESDAC (European Soil Data Centre) for soil concentration)

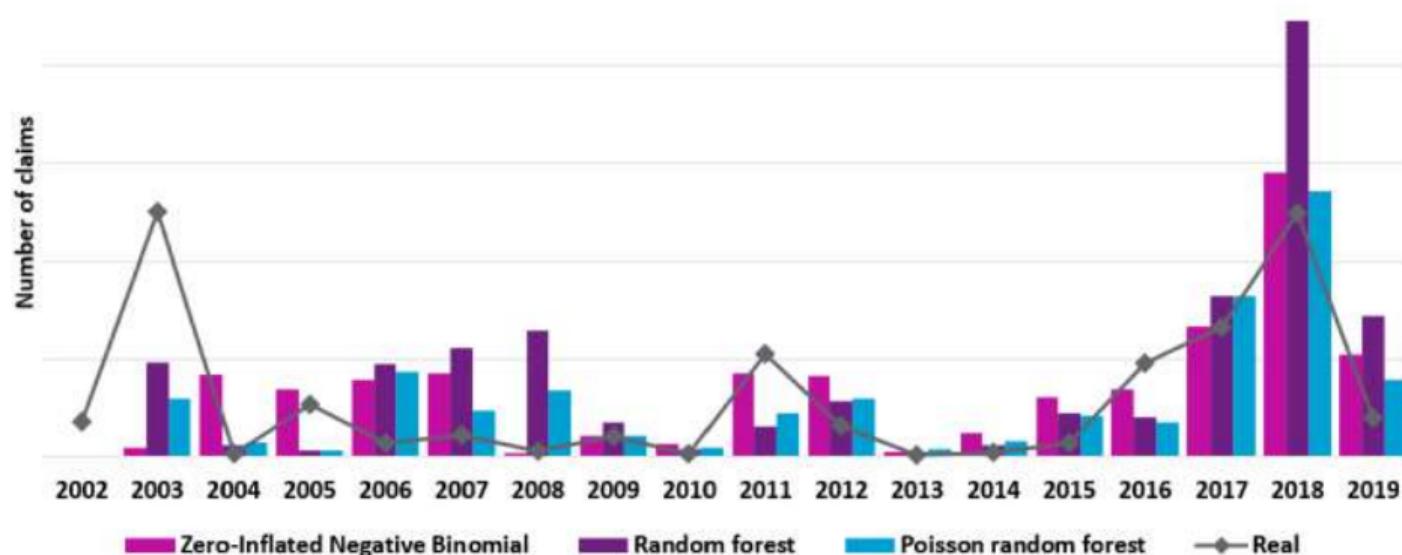
Subsidence Risk in France [5]

Regression models for frequencies: binomial, Poisson, negative binomial & zero-inflated Poisson, zero-inflated negative binomial,



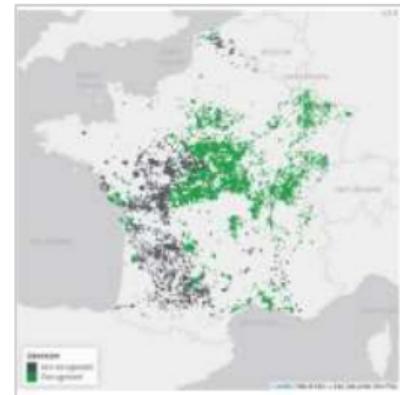
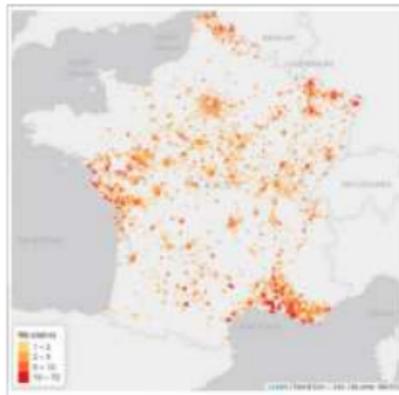
Subsidence Risk in France [6]

Random forest models for frequencies



Subsidence Risk in France [7]

2017, random forest Poisson, zero inflated, observed, Nat Cat recognition



Subsidence Risk in France [8]

2018, random forest Poisson, zero inflated, observed, Nat Cat recognition

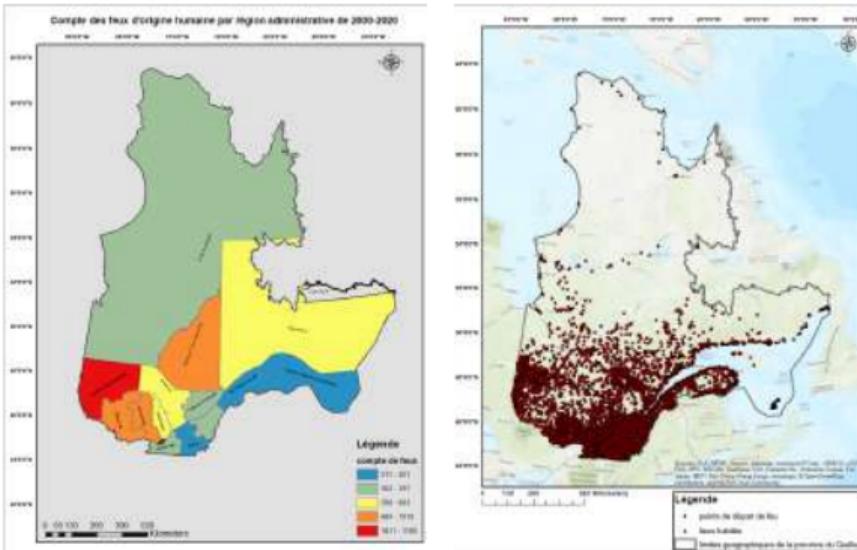


Wildfire Canada [1]



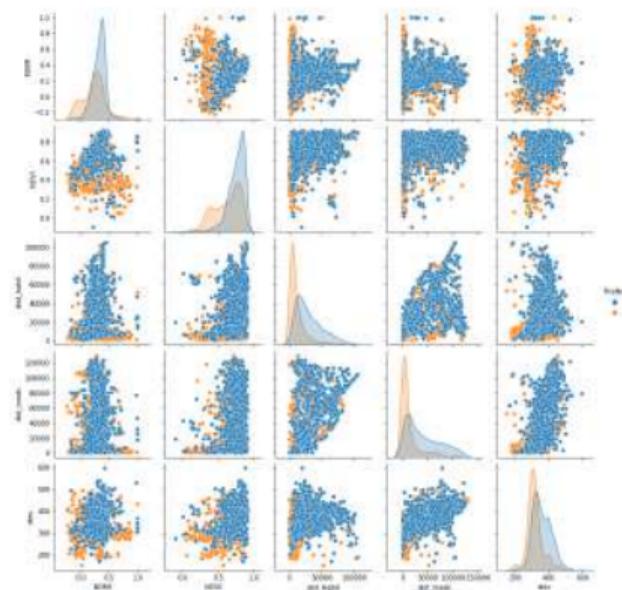
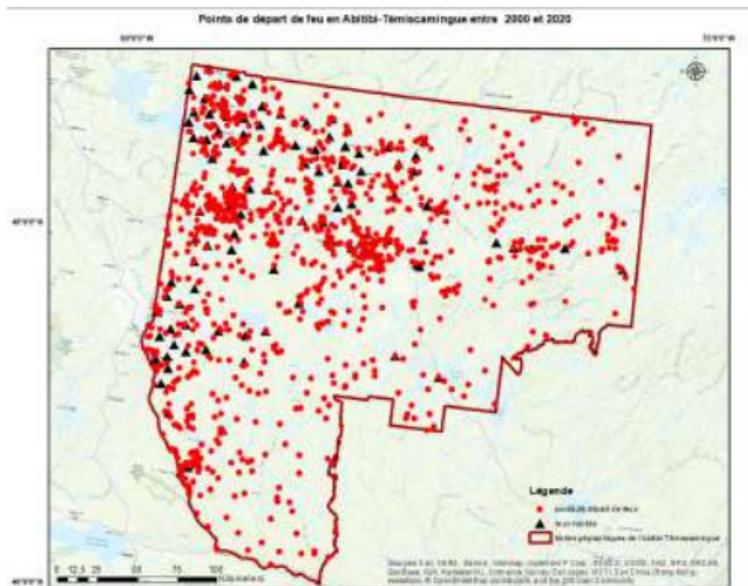
-  Charpentier, A., Benchallal, A., Kamga, G. A. F., & Bouroubi, Y. (2022). Fire occurrence prediction over the province of Québec using machine learning algorithms and geospatial datasets. *10th International Conference on Agro-Geoinformatics and 43rd Canadian Symposium on Remote Sensing*.
-  France Info. (2021). Canada : Le "dôme de chaleur" provoque de violents incendies à Lytton.

Wildfire Canada [2]



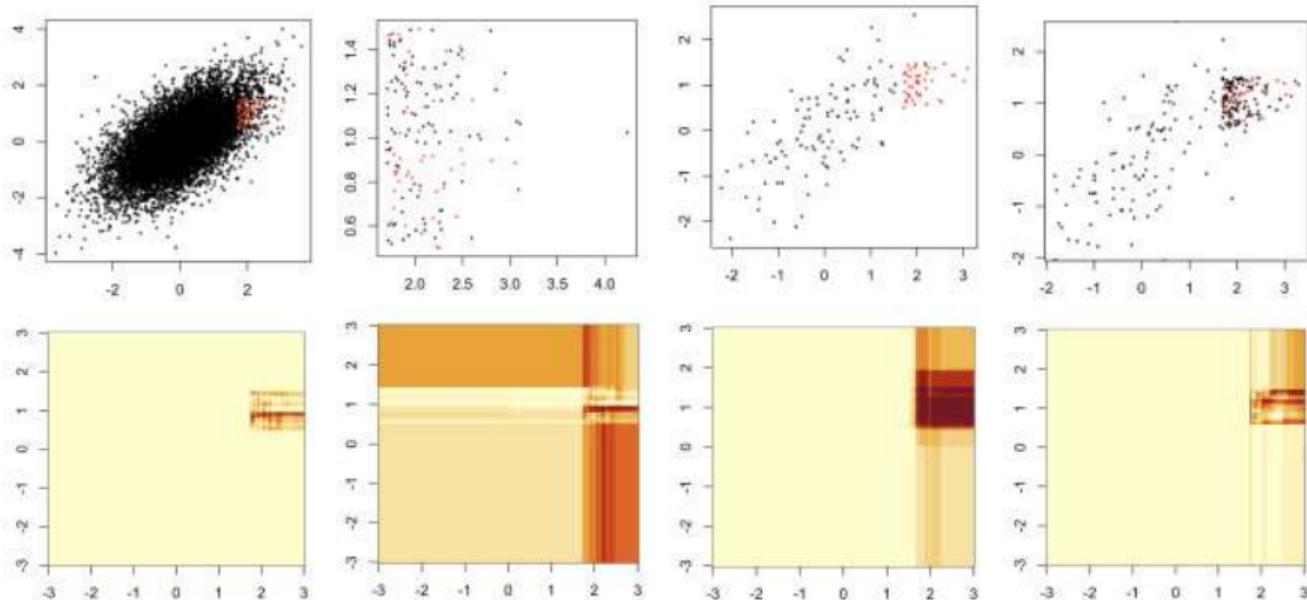
Charpentier, A., Benchallal, A., Kamga, G. A. F., & Bouroubi, Y. (2022). Fire occurrence prediction over the province of Québec using machine learning algorithms and geospatial datasets. *10th International Conference on Agro-Geoinformatics and 43rd Canadian Symposium on Remote Sensing*.

Wildfire Canada [3]



Wildfire Canada [4]

Theoretical issues on creating a balanced from largely unbalanced data



Hand, D. (2020). *Dark data: Why what you don't know matters*. Princeton University Press.

Why do we need (more) detailed data ? [1]

➤ Central Limit Theorem

The sum of independent random variables, properly normalized, tends toward a normal distribution even if the original variables themselves are not normally distributed (with finite variance)

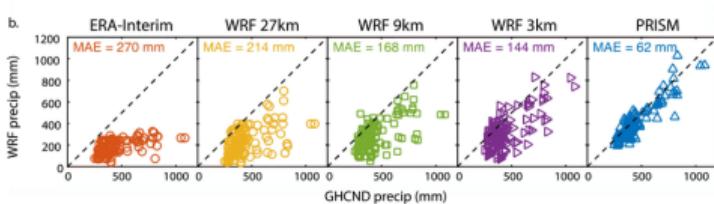
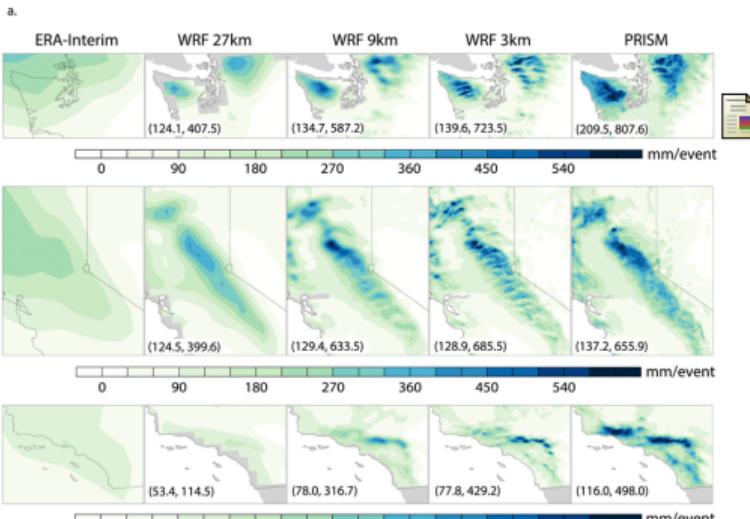
if X_i 's are i.i.d. with mean μ and variance σ^2 ,
$$\frac{(X_1 + \cdots + X_n)/n - \mu}{\sigma/\sqrt{n}} \approx \mathcal{N}(0, 1).$$

➤ Extreme Value Theory (Fisher & Tippett (1928))

there are a_n and b_n such that ,
$$\frac{\max\{X_1 + \cdots + X_n\} - a_n}{b_n} \approx GEV_\xi.$$

where ξ depends on the distributions of X_i 's ($\xi < 0$ Weibull domain of attraction: bounded X_i 's; $\xi = 0$ Gumbel domain of attraction: light tailed X_i 's; $\xi > 0$ Fréchet domain of attraction: heavy tailed X_i 's). E.g. $X_i \sim \mathcal{N}(\mu, \sigma^2)$, $\xi = 0$.

Why do we need (more) detailed data ? [2]



source picture:

Huang, X., Swain, D. L., Walton, D. B., Stevenson, S., & Hall, A. D. (2020). Simulating and evaluating atmospheric river-induced precipitation extremes along the us pacific coast: Case studies from 1980–2017. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*.

“Some light-tailed atmospheric variables like temperatures are often averaged in space, time or both. The central limit theorem makes them very close to Gaussian variables. So, don’t be surprised to find negative shape parameters for maxima of averaged values”
(Philippe Naveau)

Predictive or Contemplative Models ?



Grossi, P. (2005). *Catastrophe modeling: A new approach to managing risk*. Springer.

Arthur Charpentier Personne n'est préparé à l'augmentation exponentielle des pertes liées au risque climatique

Le mathématicien observe que les assureurs américains sont de plus en plus nombreux à renoncer à offrir une couverture contre les feux de forêt ou les inondations. Il est temps de prendre conscience des risques encourus.

En 2015, à la veille de l'ouverture de la COP21, Henri du Caneiro, PDG d'Atua, affirmait qu'une stagnation de deux siècles depuis la renaissance moderne dans le monde [pouvait] encore être envisagée, mais où [il] était certain, c'est qu'il existe toutes sortes de questions qui doivent être posées. Il fait alors appeler à une révolution mondiale pour améliorer que «la France et un peu partout, il y a élevations de gilets jaunes» et se préparer à un monde sans assassinat.

ment un agent aux personnes qui ont subi un événement. Cette visite, connue ou non simplement d'une communauté d'assuranceurs, les entretiens servent à informer les placements humains. Compte tenu de la forte finalité émotionnelle inhérente des conseils d'assuranceurs, ces entretiens sont souvent utilisés pour aider les personnes à faire face à leurs peurs. Avec ce « conseil », une assurance peut être assurée, une sécurité peut être créée, et les personnes peuvent être encouragées à dépasser leur peur d'assurer les personnes similaires. Pour éviter de perdre de déplacement, la législation réglemente que les assureurs doivent financer de manière à peu près équitable leur solvabilité. Cela permet de protéger les assurés qui ont acheté la protection d'une indemnisation dans plusieurs mois si une recherche survient.

grosses d'entre elles. Stan Form, a fait participer le marché en déclarant qu'il se réservait toute nouvelle construction dans l'Etat, en raison de l'augmentation des coûts de construction, du risque tout aussi élevés de la faillite et de l'augmentation du coût de la main-d'œuvre (après que les travailleurs eurent été augmentés). La chose à ce stade était plus importante que l'Etat avait été à faire pour empêcher

assurances faites discrètement depuis plusieurs années. Même le géant American International Group commençait à réduire son offre d'assurance habitation dans certaines zones portant à haut risque d'incendies et d'irrégularité de froid. Le coût moyen d'une police d'assurance en Californie est de l'ordre de deux dollars par mois mais la situation y devient de plus en plus gênante avec certains phénomènes climatiques de localisation, et de délocalisation.

**L'AMÉRICAIN AIG
A RÉDUIT SON OFFRE
D'ASSURANCE
HABITATION DANS
ENVIRON 200 VILLES
À HAUT RISQUE
D'INONDATIONS
OU D'INCENDIES**

successeur seraient énergie sur les risques climatiques, probablement parce que les techniques de modélisation des risques et d'analyse prédictive devraient de

plus aux plus aggrégates. Sur la base de données météorologiques plus précises et de meilleurs modèles climatiques, il est possible d'augmenter, estimer l'impact potentiel local des évolutions climatiques. Cela pourrait permettre de mettre les politiques en place de prévention et d'adapter la consommation aux besoins spécifiques des assauts dans les zones à haut risque. Augmenter les primes d'assurance dans ces zones permet d'envisager un signal, alors que certains artificiellement le risque dans une période très basse ne peut pas être prévisible.

Il est important que les citoyens mais aussi les gouvernements prennent conscience de l'augmentation exponentielle des risques climatiques, en effectuant les changements qui s'imposent. Plus longtemps le problème sera ignoré, plus il sera difficile à résoudre. Les plus pessimistes suggèrent que les incendies causeront en Californie jusqu'à un million de victimes. ■

Arthur Charpentier est mathématicien, professeur au Centre de recherche en économie et management de l'Université de Montréal et dont le département de mathématiques de l'université du Québec à Montréal.