



Assurabilité du risque
climatique : enjeux et
avancées permises par
l'Intelligence artificielle





Franck Chopin
Allianz France



Clémentine Dutrey
Allianz France



Olivier Lopez
Ensaie IP Paris

Introduction



- Risque climatique : l'anticipation de son impact sur l'assurance repose sur le déploiement d'une approche par scénarios.
- IA Générative : résultats spectaculaires dans la capacité à reproduire une distribution de probabilité.
- **Peut-on adapter des méthodes d'IA Générative pour la génération de scénarios climatiques ?**



Plan de l'atelier

I. Aléas climatiques et dérèglement

II. Aléas climatiques en France métropolitaine

III. Apport des méthodes d'IA Générative dans la simulation de scénarios



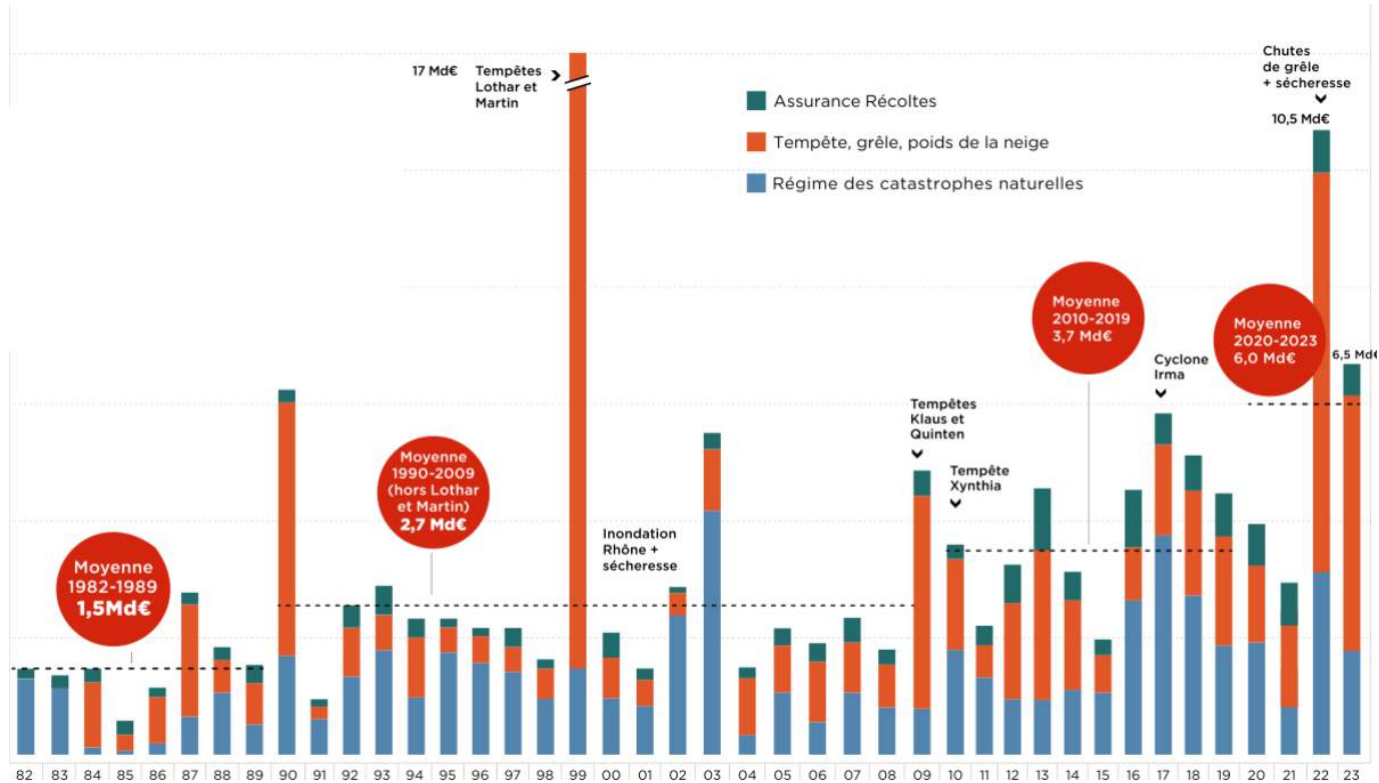
Partie I

Aléas Climatiques et Dérèglement Climatique

Coût des sinistres Climatiques

En millions d'euros constants 2020

24^e CONGRÈS DES ACTUARIES



Source : France Assureurs

Une augmentation rapide du **risque** 24^e CONGRÈS DES ACTUAIRES



- Les évènements climatiques sont de plus en plus fréquents et de plus en plus sévères



Sécheresse : 2003, 2018 et 2022 sont trois années record. 2023 reste une année très sévère. Cela corrobore malheureusement les résultats du GIEC.



Inondation : Alex en 2020 et Bernd en 2021 sont des épisodes **sans précédent**.



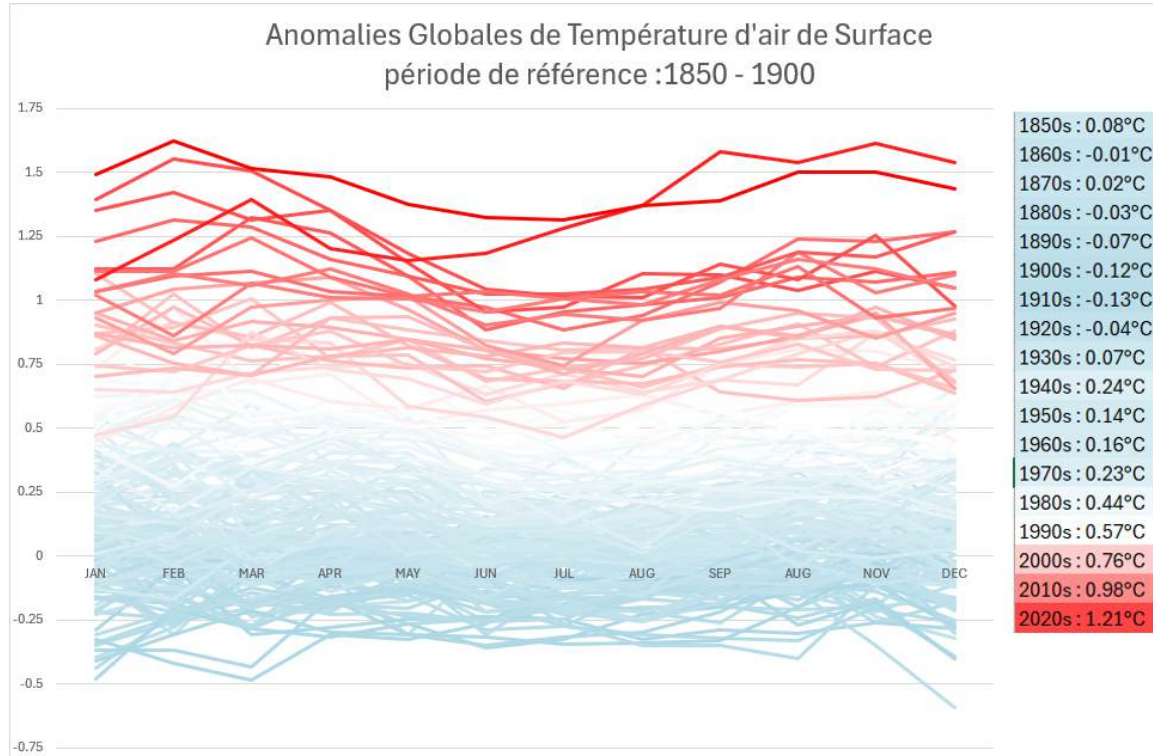
Grêle : 2022 est une triste année record pour les sinistres en France. Elle enregistrera plus de deux fois plus de dommages que 2014, notre précédente année de référence. L'expérience de 2022 laissent penser que les estimations du GIEC pour 2050 pourraient être atteintes plus tôt.



Feux de forêts : Alimentés par des situations extrêmes de chaleur et sécheresse les feux de forêt se sont multipliés en 2022.



Les températures historiques

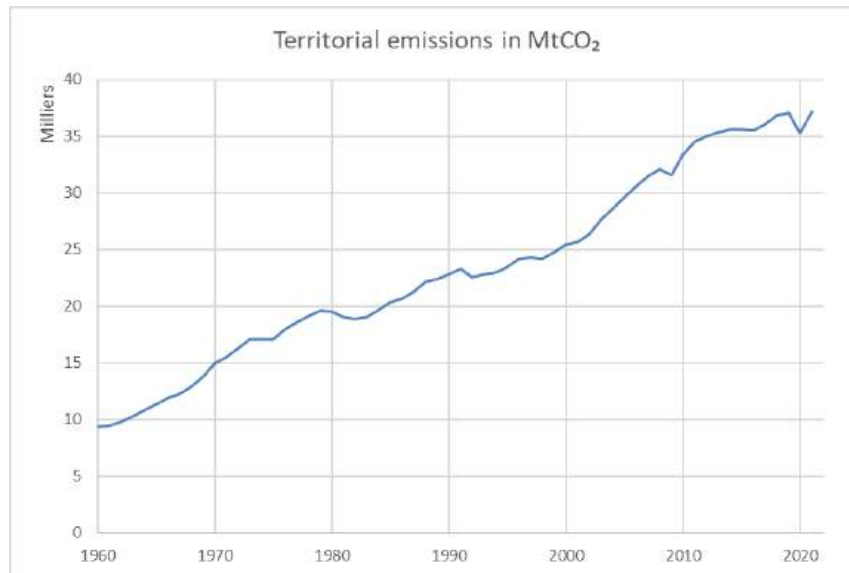
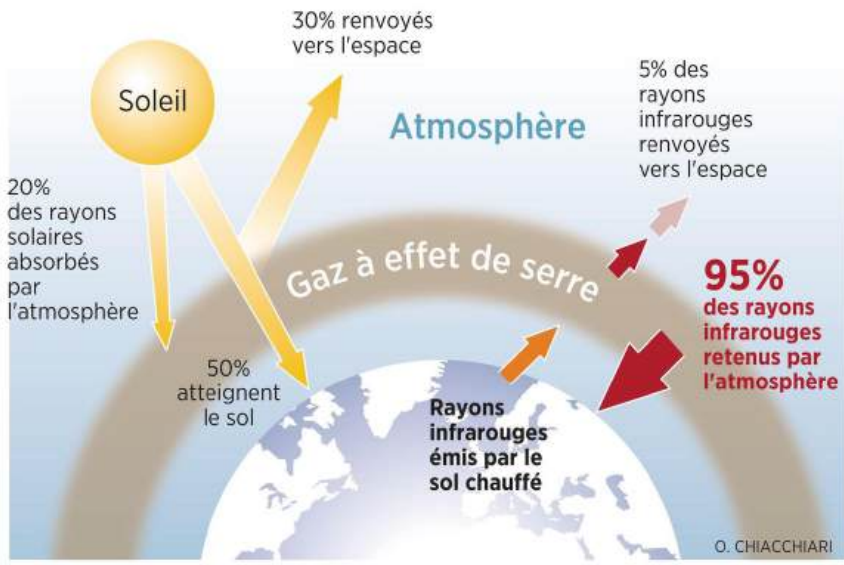


Effet des Gaz à Effet de Serre (GES) sur la température

24^e CONGRÈS DES ACTUAIRES BY Institut A



L'énergie et la chaleur générées par la machine terre-océan-atmosphère est en partie absorbée par les GES (gaz à effet de serre), amplifiant le phénomène d'effet de serre.

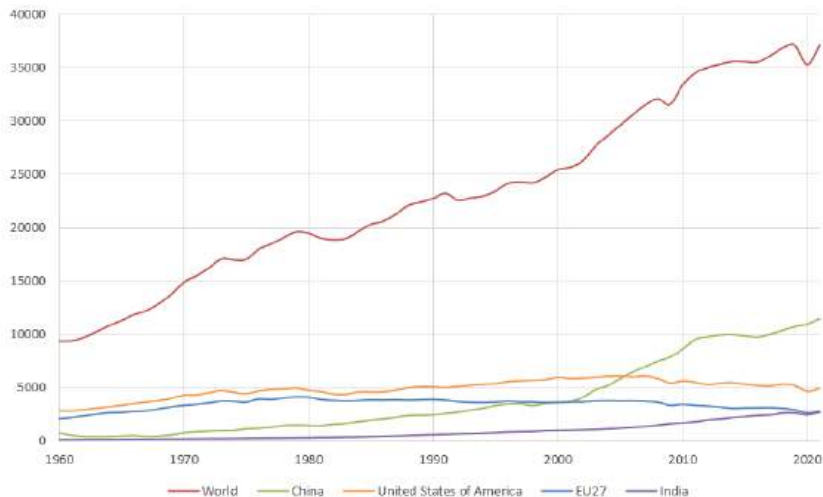


→ L'atmosphère et les masses d'eau se réchauffent



Les émissions de Gaz à Effet de Serre (GES)

Territorial emissions in MtCO₂



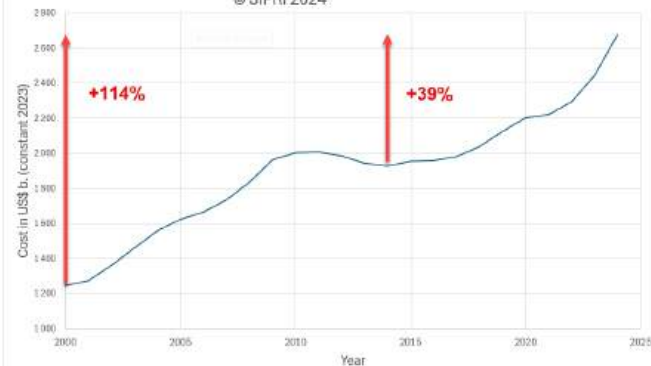
Les émissions de GES ont été multipliées par 4 depuis 1960 !

Des causes multiples:

1. La compétition économique mondiale
2. Agendas politiques vs agenda climatique
3. Les crises multiples
 - Crise financière mondiale de 2007
 - Crise sanitaire du covid en 2020
 - Guerre en Ukraine depuis 2022
 - Conflit Israélo-Palestinien 2023
 - Tensions commerciales 2025

Military expenditure in constant US dollars

© SIPRI 2024



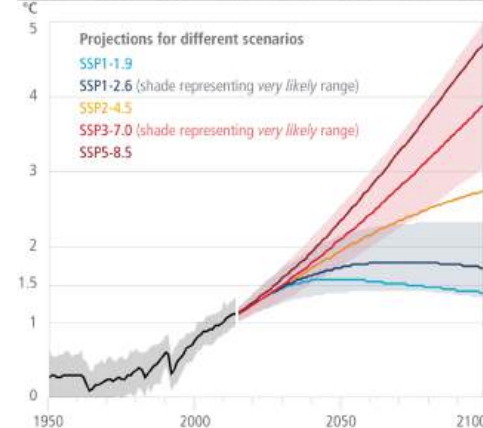
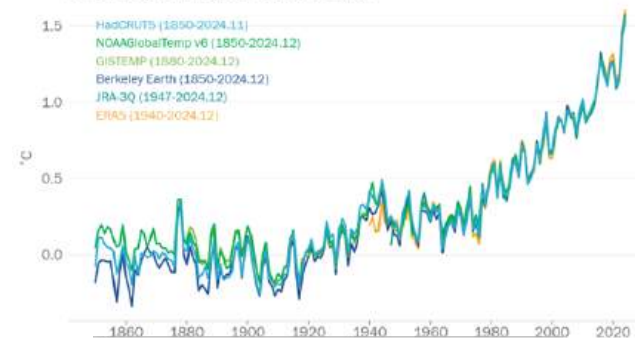
Que retenir ?

- 2024 est l'année la plus chaude jamais enregistrée, avec une température supérieure d'environ **1,55 °C** aux valeurs **préindustrielles** (source OMM)
- Quel que soit le scénario du GIEC, **les montants des dommages dus aux aléas vont augmenter à horizon 2050** en raison d'une hausse de l'intensité des événements climatiques
- **L'accroissement des enjeux assurés à horizon futur**, en particulier dans les zones à risques, augmente d'autant plus le coût des dommages
- Au global, on estime une hausse des dommages comprise entre **27 % et 62 % à l'horizon 2050** du seul fait du **changement climatique**.

24^e CONGRÈS DES ACTUAIRES



Global mean temperature 1850-2024
Difference from 1850-1900 average

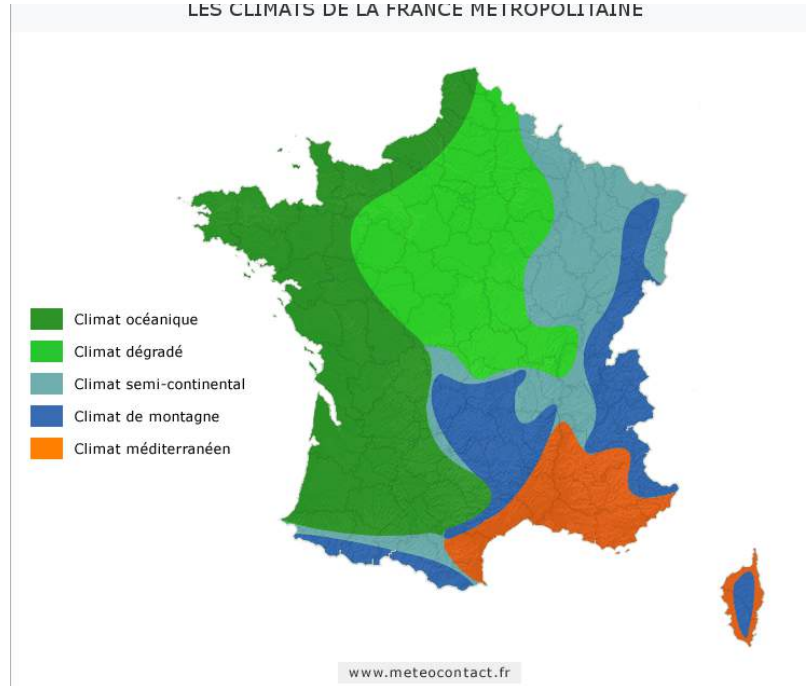




Partie II

Aléas climatiques en France Métropolitaine

Caractéristiques climatiques de la France métropolitaine



- **Les climats de la France métropolitaine: 4 catégories et 7 sous-catégories influencées par:**
- **Le courant Gulf-Stream:** adoucit le climat en atténuant les extrêmes thermiques
- **L'océan Atlantique:** exposition directe à la circulation des perturbations et des tempêtes
- **La mer Méditerranée:** épisodes cévenols et médicanes = orages violents, diluviens et inondations
- **Le relief montagneux:** orages (inondations, grêle), neige, glissements de terrains
- **Le relief de plaines:** formation d'orages supercellulaires (grêle, tornades et inondations)

Les perils climatiques en France métropolitaine: les inondations

24^e CONGRÈS DES ACTUAIRES BY Institut A



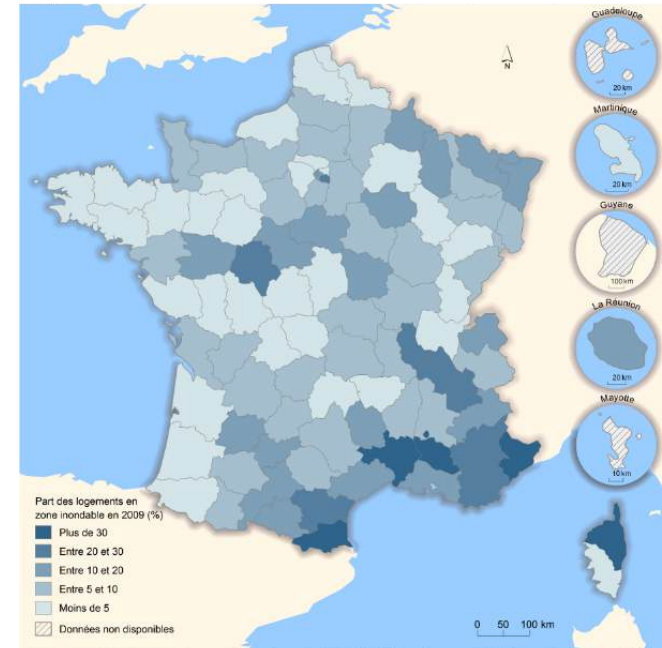
500 000 km de rivières sur le territoire

L'augmentation des dommages inondations sont pour le scénario GIEC 4.5 de **+43%** (augmentation et de la fréquence des crues rapides)



Zones inondables avec période de retour sur 20 ans

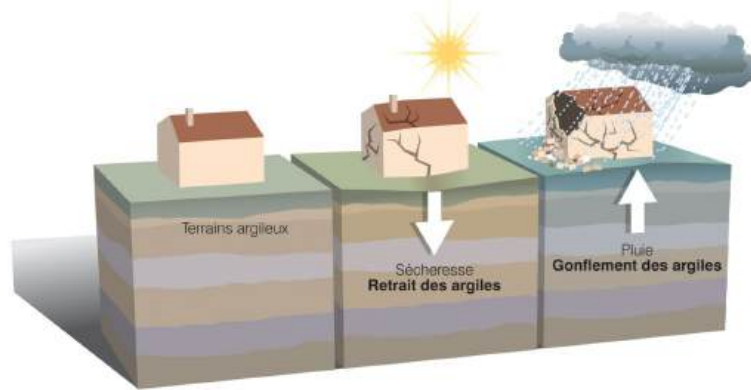
Logements en zone inondable par cours d'eau, par département, en 2013



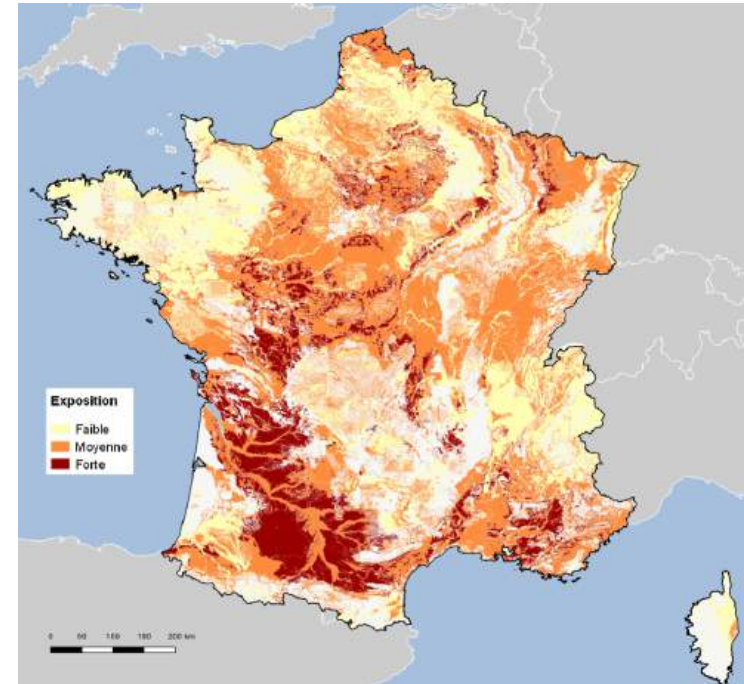
Sources : Medde, Cartorisque 2013 – Dreal, DDT(M), 2013 – Insee, RFL 2009 – BD Cartho®, 2008 – Insee, Recensement de Population, 2009 - ©IGN, Contours... Iris®, 2008 - ©IGN, Traitements : SOeS, 2013

Les perils climatiques en France métropolitaine: la sécheresse

24^e CONGRÈS DES ACTUAIRES
BY Institut A



- Les dommages annuels moyens pour la sécheresse géotechnique ont augmenté de **+23%** depuis 2000
 - Les réformes (loi 3DS) provoquent une hausse de la sinistralité sécheresse à **+56%**
- Le scénario GIEC RCP 8.5 prévoit une augmentation des dommages de **+162%** pour l'aléa et **+190%** en intégrant l'évolution des biens assurés en 2050



Carte d'exposition sécheresse: sols argileux, BRGM 2019

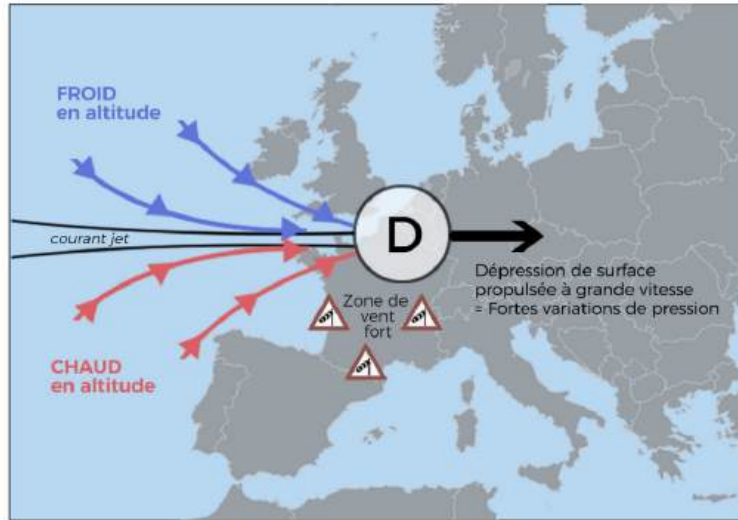
Les perils climatiques en France métropolitaine: les tempêtes hivernales, le vent

24^e CONGRÈS DES ACTUAIRES
BY Institut A

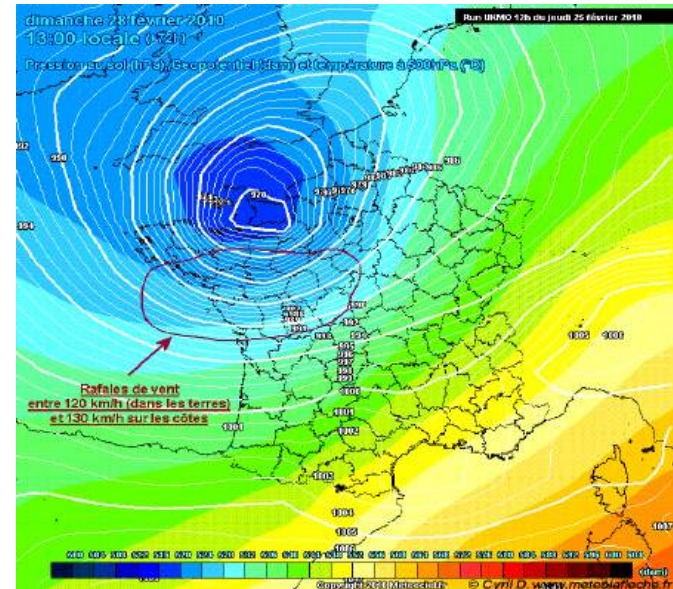


FORMATION D'UNE FORTE TEMPETE

Tempêtes des latitudes tempérées



Formation d'une tempête type (au-dessus), isobares de pression lors de la tempête Xynthia, 2010 (à droite).



Augmentation de l'intensité des tempêtes hivernales avec le dérèglement climatique. 1°C de plus dans l'atmosphère = 7% d'humidité en plus.

Les perils climatiques en France métropolitaine: les tempêtes hivernales, la submersion marine

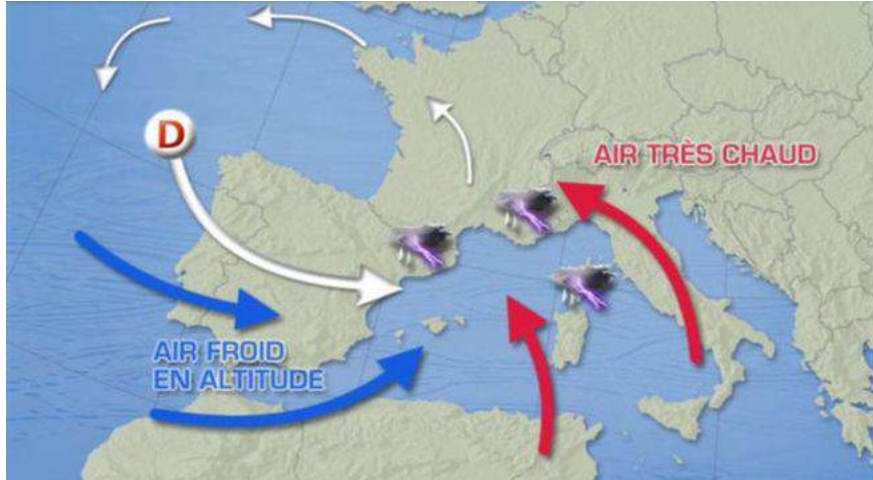


Photo: après la tempête Xynthia en Vendée, 2010

La hausse du niveau des océans provoque une augmentation en fréquence et en intensité des dommages submersions marines à hauteur de **+110%** pour les scénarii 4.5 et 8.5

Les perils climatiques en France métropolitaine: les épisodes cévenols

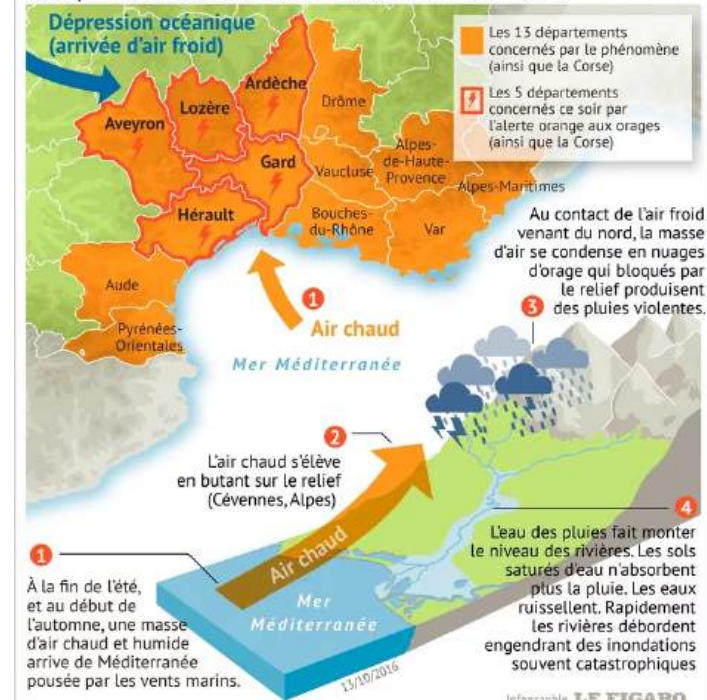
24^e CONGRÈS DES ACTUAIRES BY Institut A



Augmentation de l'intensité de près de **+22%** depuis 1960 des épisodes cévenols pour tous les scénarii, pour cause d'augmentation de la T° et de l'humidité. (et imperméabilisation des sols)!!!!!!

1°C en + = 7% d'humidité en +

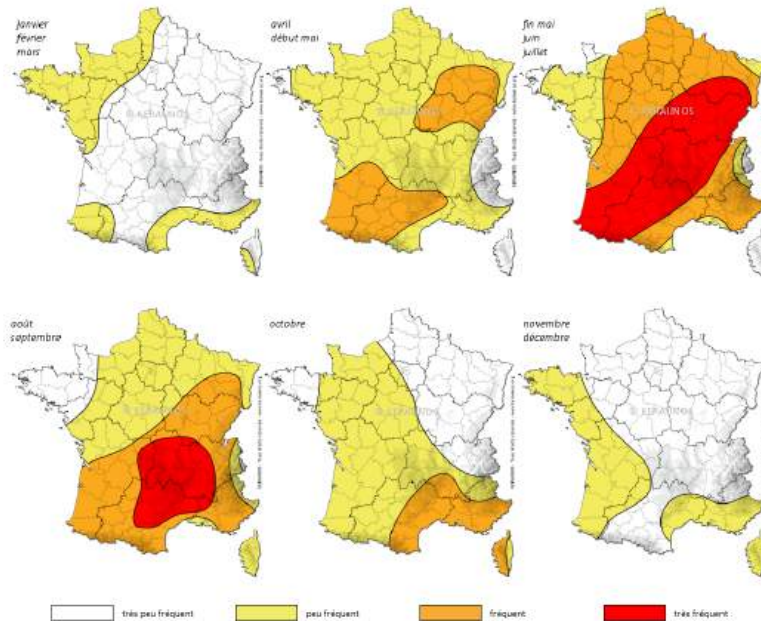
Comment se forme le phénomène des pluies cévenoles ou méditerranéennes ?





Les perils climatiques en France métropolitaine: la grêle

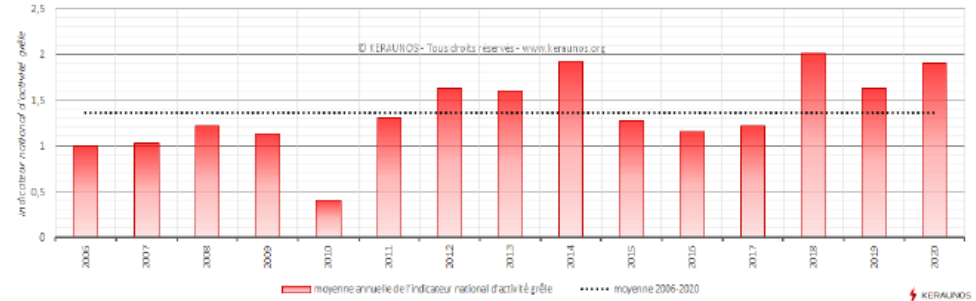
Fréquence des chutes de grêle en France au fil de l'année



© KERAUNOS - Tous droits réservés - www.keraunos.org



Augmentation de l'intensité des événements orageux violents (potentiellement grêligènes) pour tous les scénarii, due à l'augmentation de la T° et de l'humidité atmosphérique.



Les perils climatiques en France métropolitaine: quelques chiffres



Selon l'équation de Clausius-Clapeyron: 1°C en + = 7% d'humidité en +

$$\frac{dP^{sat}}{dT} = \frac{P^{sat} \Delta_{vap}H}{RT^2}$$

T : température

P^{sat} : pression de vapeur saturante à T

$\Delta_{vap}H$: enthalpie de vaporisation à T

$\Delta_{vap}S$: entropie de vaporisation à T

R : constante universelle de gaz parfait



Evolution de la sinistralité

Péril	Scenario 4.5	Scenario 8,5
Inondations	+ 19%	+ 6%
Sécheresse	+ 44%	+ 162%
Submersion marine	+ 91%	+ 75%
Tous périls confondus	+27%	+ 62%



Partie III

Apport des méthodes d'IA Générative dans la simulation de scénarios

Generative AI



- Quelques « personnes qui n'existent pas » générées via Generative Adversarial Networks (GAN)
Source : thispersondoesnotexist.com



Generative Adversarial Networks

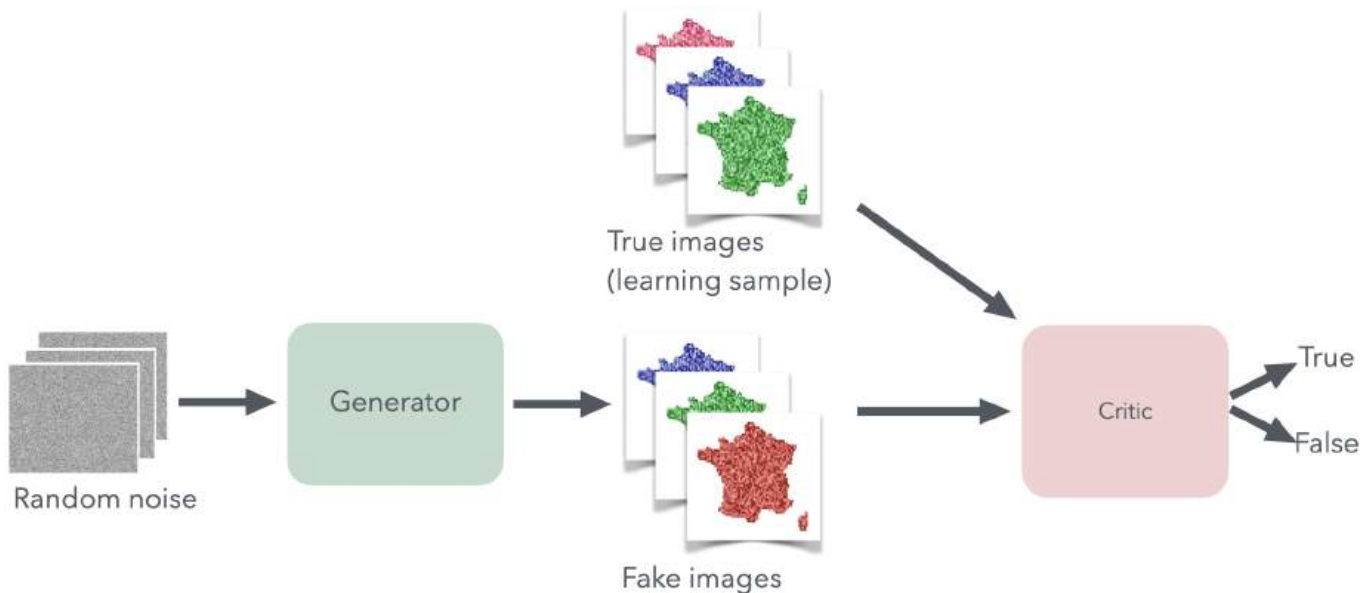


Figure 1 : Generative Adversarial Networks. The critic's objective is to detect fake images from real ones, while the Generator tries to « fool » the critic.



Modèles de diffusion

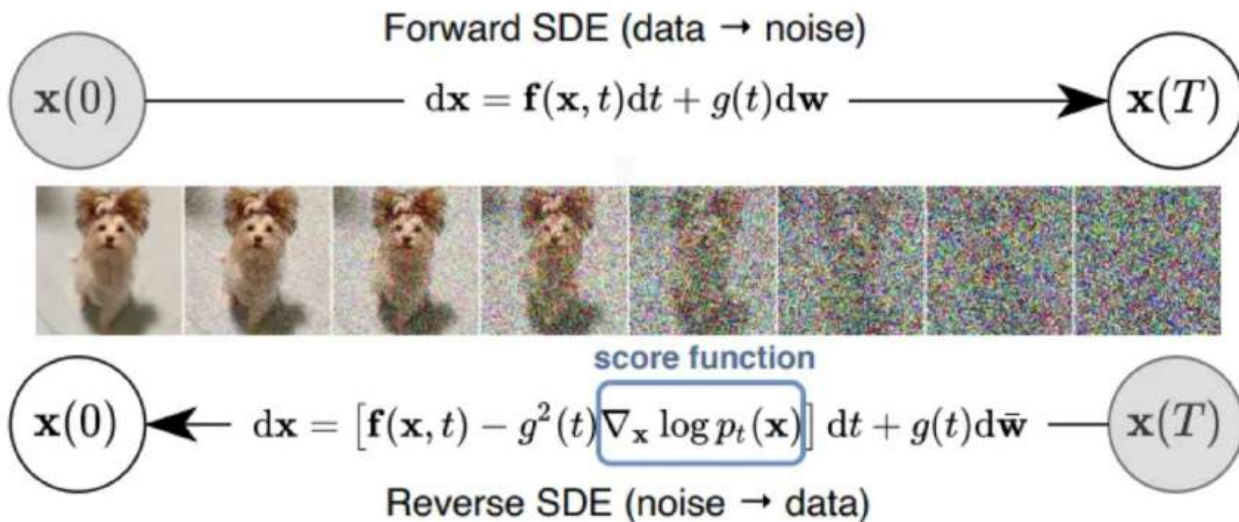


Illustration :

Song, Y., Sohl-Dickstein, J., Kingma, D. P., Kumar, A., Ermon, S., & Poole, B. (2020). **Score-based generative modeling through stochastic differential equations.** *arXiv preprint arXiv:2011.13456.*

Approcher une distribution

- Formellement, si $(X_i)_{1 \leq i \leq n}$ constitue la base d'apprentissage, et si \mathbb{P}^* est leur distribution, le modèle génératif fournit une façon de simuler sous $\hat{\mathbb{P}} \approx \mathbb{P}^*$.
- Comparaison avec un modèle paramétrique type GLM :
 - dans un GLM, on ajuste une distribution \mathbb{P}_θ .
 - on peut simuler suivant \mathbb{P}_θ , mais le modèle est moins capable de capter des phénomènes « subtils ».
- Modèles génératifs : pas de vocation explicative.

Gen AI et scénarios climatiques

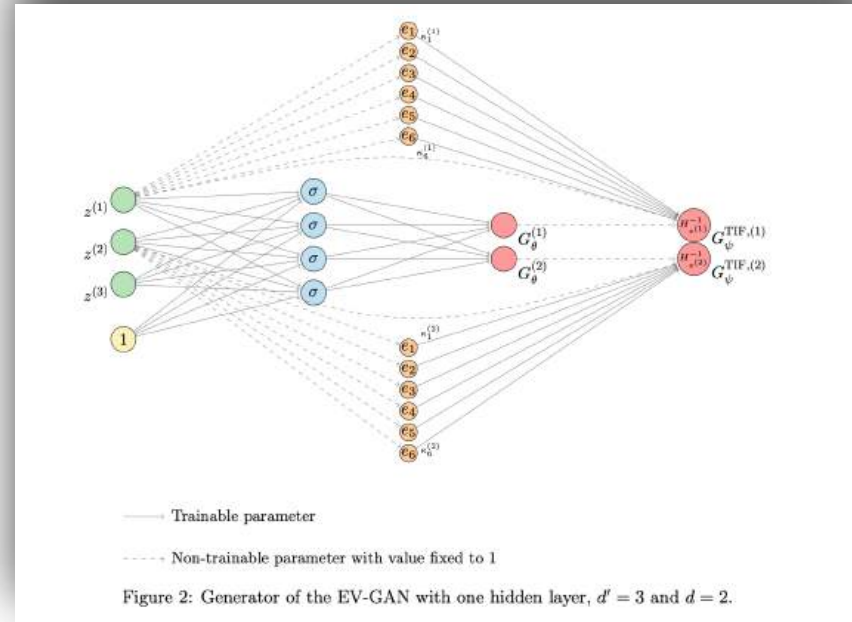


- Génération de scénarios climatiques en assurance :
 - fournir des éléments de contexte (scénarios « macros » produits par le GIEC)
 - générer des événements catastrophes naturelles cohérents avec ce nouveau contexte.
- Avantage :
 - contrairement à une simulation faite avec un modèle simpliste (type GLM), le modèle IA peut appréhender des phénomènes complexes, sans idées préconçues.
- Inconvénient :
 - nécessite des données pour entraîner le réseau si on ne veut pas simplement reproduire à l'identique l'historique.



Accélérer l'apprentissage

- Théorie des valeurs extrêmes : on sait que les variables aléatoires X telles que $\mathbb{P}(X \geq t) = \frac{l(t)}{t^{1/\gamma}}$, avec $\gamma > 0$ et l fonction à variation lente se retrouvent très fréquemment en risque catastrophe.
- On dispose de théorèmes d'approximation (approximation de ce type de lois par une loi Pareto généralisée).
- Ce type de propriété est utilisée notamment par Allouche, Girard, Gobet (2021) pour définir une structure adaptée (appelée EV-GAN).



Extrêmes multivariés

- Dans un cadre multivarié, les distributions « heavy tail » peuvent être approchées par des lois GPD multivariée.
- Une des façons de les représenter :
 - marginales définies par une GPD univariée
 - copule de valeurs extrêmes pour les marginales
- Les copules de valeurs extrêmes sont de la forme : Les copules de valeurs extrêmes sont de la forme :
 - $C(u, v) = \exp \left(\log(uv)A \left(\frac{\log u}{\log(uv)} \right) \right)$ (dimension 2)

où :

- A est convexe
- $A(0) = A(1) = 1$
- $A(t) \geq t(1 - t)$

On peut définir des structures qui respectent ces contraintes.



Raw precipitation

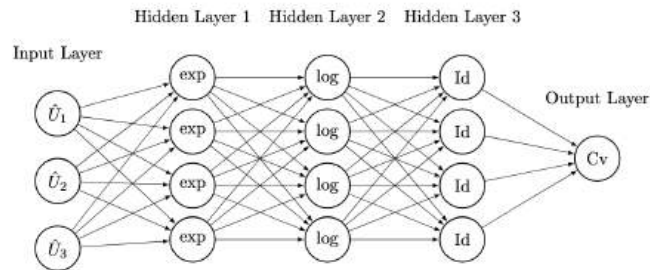
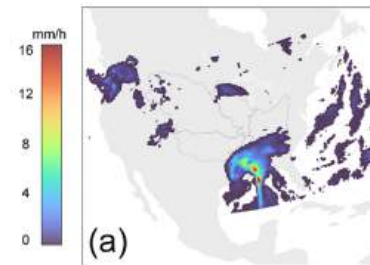


Figure 1: Neural architecture to fit a Pickands dependence function. The number of neurons in each layer is just an indication (except for the output layer). The label "Cv" refers to a convex combination of the inputs coming from the previous layer.

Intégrer le contexte

- Exemple : on veut simuler une année d'événements climatiques en France en 2050.
- Les modèles décrits auparavant se contentent de reproduire une tendance passée.
- **Nécessaire d'intégrer des hypothèses d'évolution et de l'expertise.**
- Typiquement, intégration des scénarios du GIEC.



Méthodologie

Préparation

- Identification de variables Z ayant un impact sur le risque.
- Projection de ces variables via scénario à l'horizon souhaité.

Entraînement

- On entraîne une version **conditionnelle** des modèles génératifs précédents, i.e. on cherche la loi de $X|Z$

Contraintes

- Les variables Z doivent être disponibles.
- Autant que possible, doivent être en « petit » nombre.

Conclusion

- **Anticiper** : nécessité d'évaluer l'évolution des phénomènes climatiques pour préparer l'assurance à cette nouvelle donne.
- **IA Générative** : piste prometteuse car permet de générer des scénarios extrêmement riches.
- **Difficultés** : rareté des observations (faible taille de l'échantillon d'apprentissage) ; difficulté de modélisation de la perte économique.
- **Adaptations nécessaires** : intégrer expertises, définir des structures de modèles adaptées aux phénomènes considérés.



Merci pour votre attention !