

# ***Adaptation au changement climatique contre les inondations***

***Du bon usage de l'expertise  
dans le choix des événements extrêmes***

***Pascal Maugis***

***LSCE***

***Laboratoire des Sciences du  
Climat et de l'Environnement***

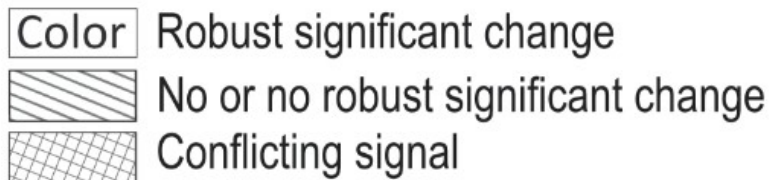
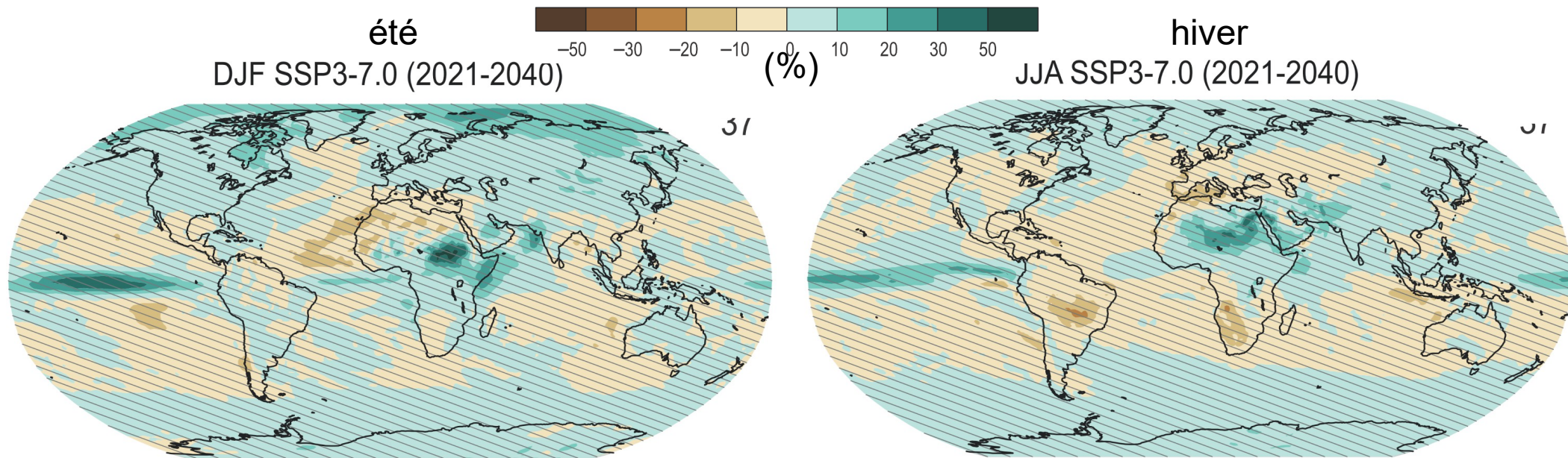
**METEO FRANCE**

**Tempête Alex, 02/10/2020**



# Les modèles climatiques génèrent peu de signal de pluie

## Horizon 2021-2040, SSP3 7.0 (+4°C en 2100)



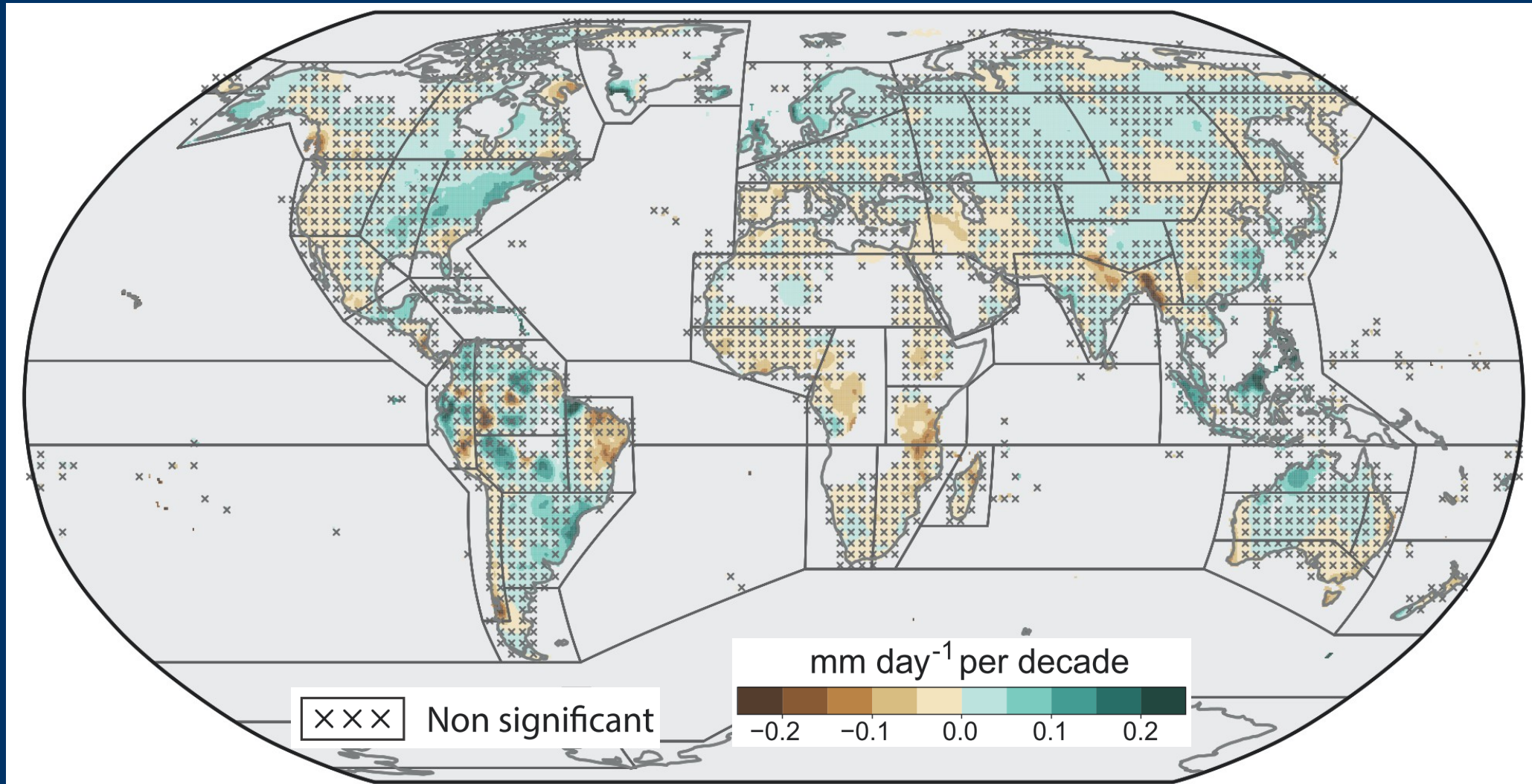
Pas de tendances robustes

=> P – régions tropicale & Méditerranée

=> P + mousson asiatique, zones boréales

Peu de signal sur la France

***Pourtant des signaux naissants sont visibles...  
mais pas statistiquement significatifs en 2021 [GIEC AR6]***



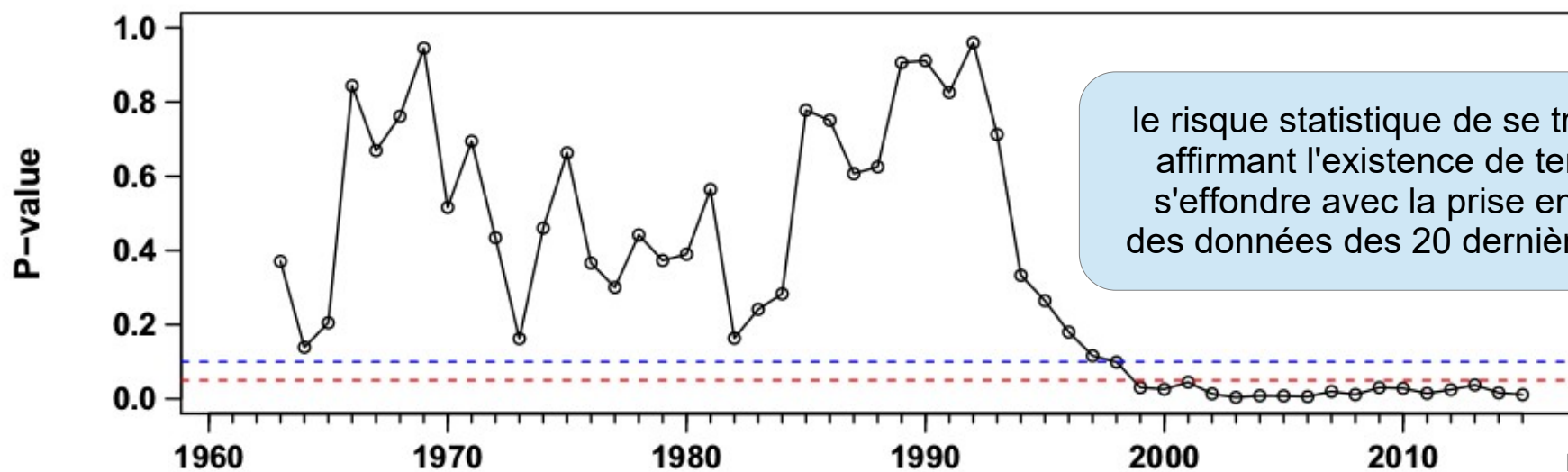
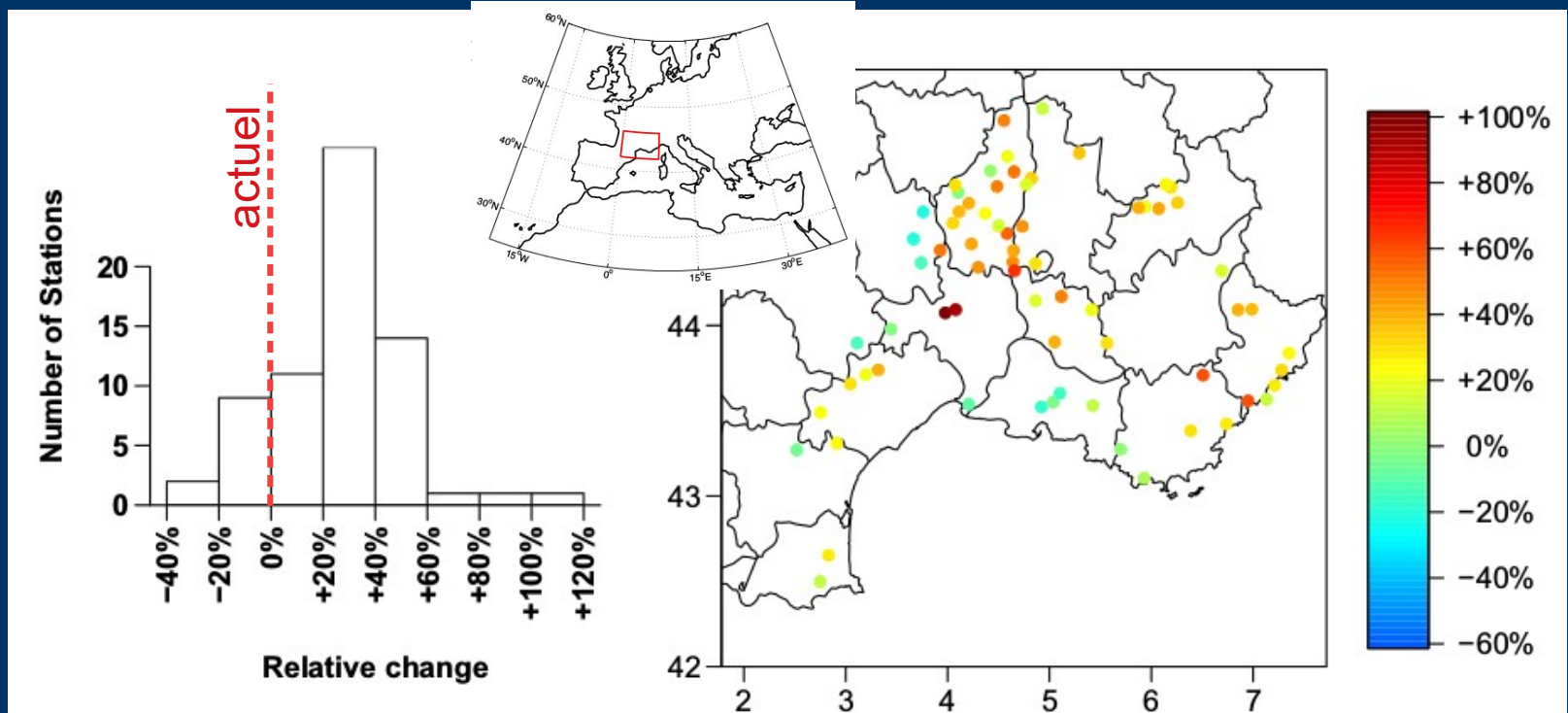
- => P -au Sahel
- => P + nord-Eurasie
- => suspicion de variations ailleurs



# Extrêmes météorologiques :

*Dès 1990, on aurait eu raison de parler de tendances fortes*

Variations sur  
50 ans des  
maxima  
annuels des  
pluies  
journalières



le risque statistique de se tromper en affirmant l'existence de tendances s'effondre avec la prise en compte des données des 20 dernières années

Ribes et al (2017)

# *Ce que les modèles climatiques ne génèrent pas*

## *Des problèmes de physique persistants*

- micro-physique des nuages (formation et croissance des gouttes)
- rétroactions importantes avec les surfaces continentales
  - topographie (résolution trop grossière)
  - difficultés à modéliser/anticiper l'évolution des forêts, de l'agriculture, du sol...
  - pas d'épisodes convectifs (fronts, tempêtes, ... ; trop petits et courts)
- avec les océans
  - ralentissement du Gulf Stream (pas dans les scénarios standards)
  - disparition de la banquise arctique (physique difficile, maillage)
  - fonte massive des calottes (pas dans les scénarios standards)
- des modèles zoomés sont plus précis,  
mais leurs conditions aux limites sont fixées par les modèles globaux (!)  
et on manque toujours d'observations fines pour les caler

# Ce que les modèles climatiques ne génèrent pas

## On ne modélise que ce qu'on ne connaît

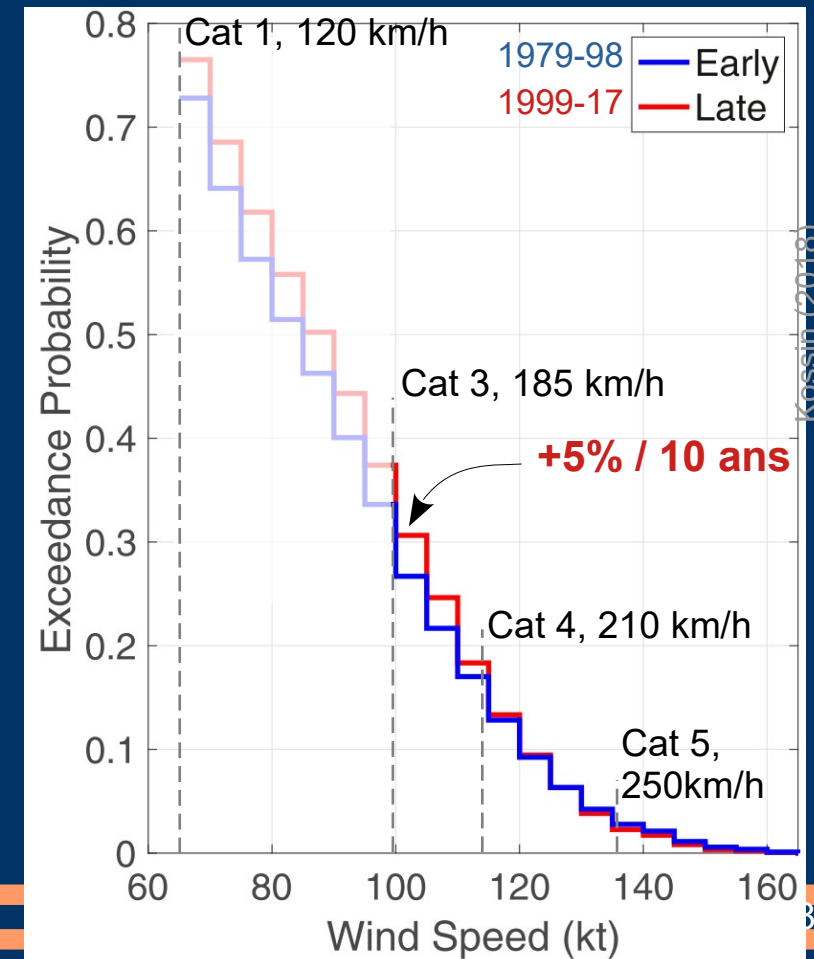
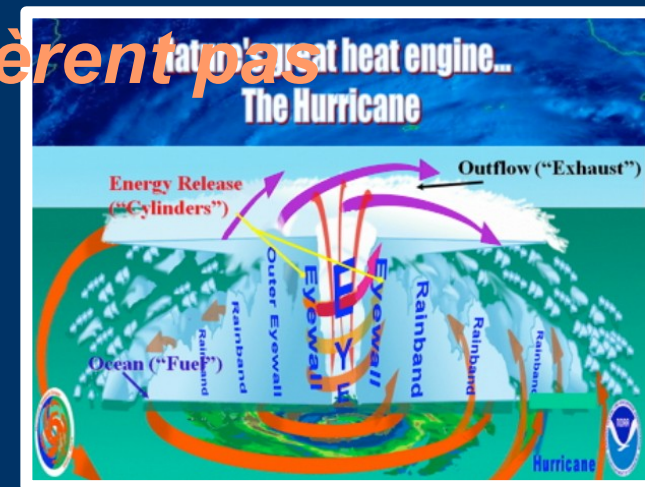
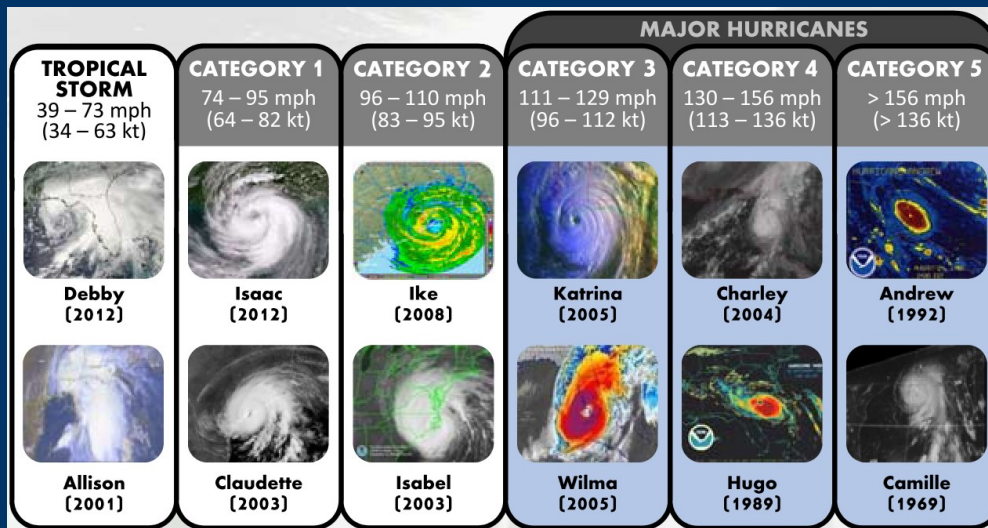
- avec le changement climatique, on entre dans un **inconnu météorologique**  
+5°C => Pliocène, il y a 5 millions d'années
- les scénarios retenus par le GIEC sont **modérés** :
  - émissions humaines certes importantes de Gaz à Effet de Serre, mais pas de rétroactions violentes (dégazage méthane du pergélisol, arrêt du Gulf Stream, effondrement végétal, déstabilisation des calottes glaciaires)
  - suppose que la capture/stockage de CO<sub>2</sub> va marcher et massivement
  - stratégie de communication pour éviter le déni et l'inaction
- la **combinaison d'événements mineurs** peut produire un épisode majeur
- avec +7 % d'humidité possible dans l'air / °C d'échauffement, **la typologie des pluies évolue** :  
en France, moyenne stable mais pluies – nombreuses et + intenses
- les grands types de météo atlantique sont les mêmes, mais leur **variabilité au sein d'une même année** semble bien plus grande  
=> par ex., multiplication des gouttes froides
- des **épisodes de nature nouvelle** semblent advenir  
par ex. cyclones tropicaux remontant vers l'Europe

# Ce que les modèles climatiques ne génèrent pas

## Intensification des ouragans forts

- cyclone = pompe thermique océan vers stratosphère
- sensible à  $T_{\text{mer}}$ , humidité air, foudre, rugosité sol, ...
- augmentation de la température de surfaces plus rapide par endroit
- intensification des contrastes de température continent / mer, et donc de pression
- *modélisation climatique* :
  - forts biais, signal faible, difficile à lier au CC
  - **légère intensification des ouragans forts**
  - affaiblissement des ouragans moyens
- *réanalyse données satellite*

**+5 % / décennie**

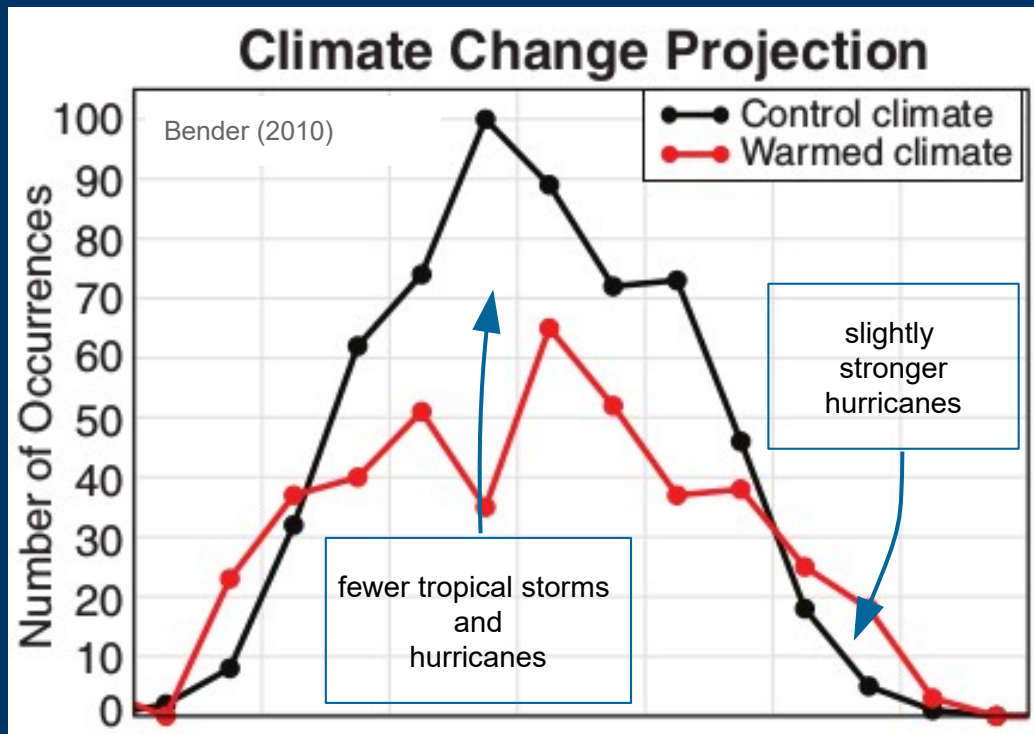




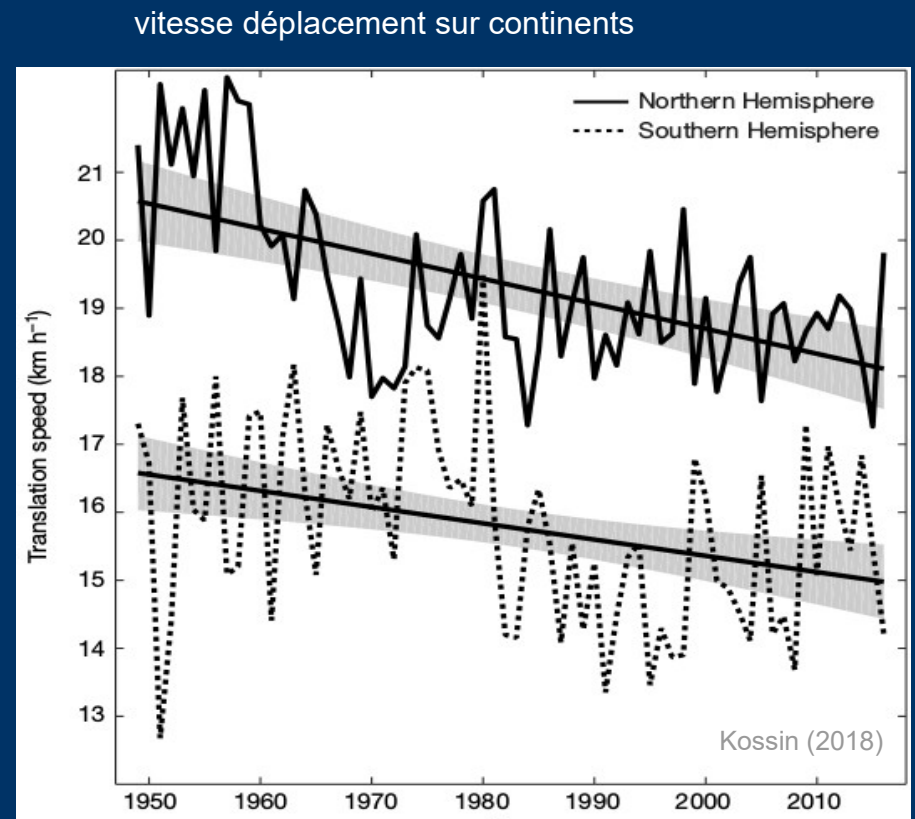
# Ce que les modèles climatiques ne génèrent pas

## Intensification des cyclones destructeurs, plus lents au sol

- ralentissement des cyclones sur les continents  $\Rightarrow$  pluie + (aussi effet Ozone, océans, pollution air)
- dégâts ++ (vulnérabilité : densité, richesse)



modélisation

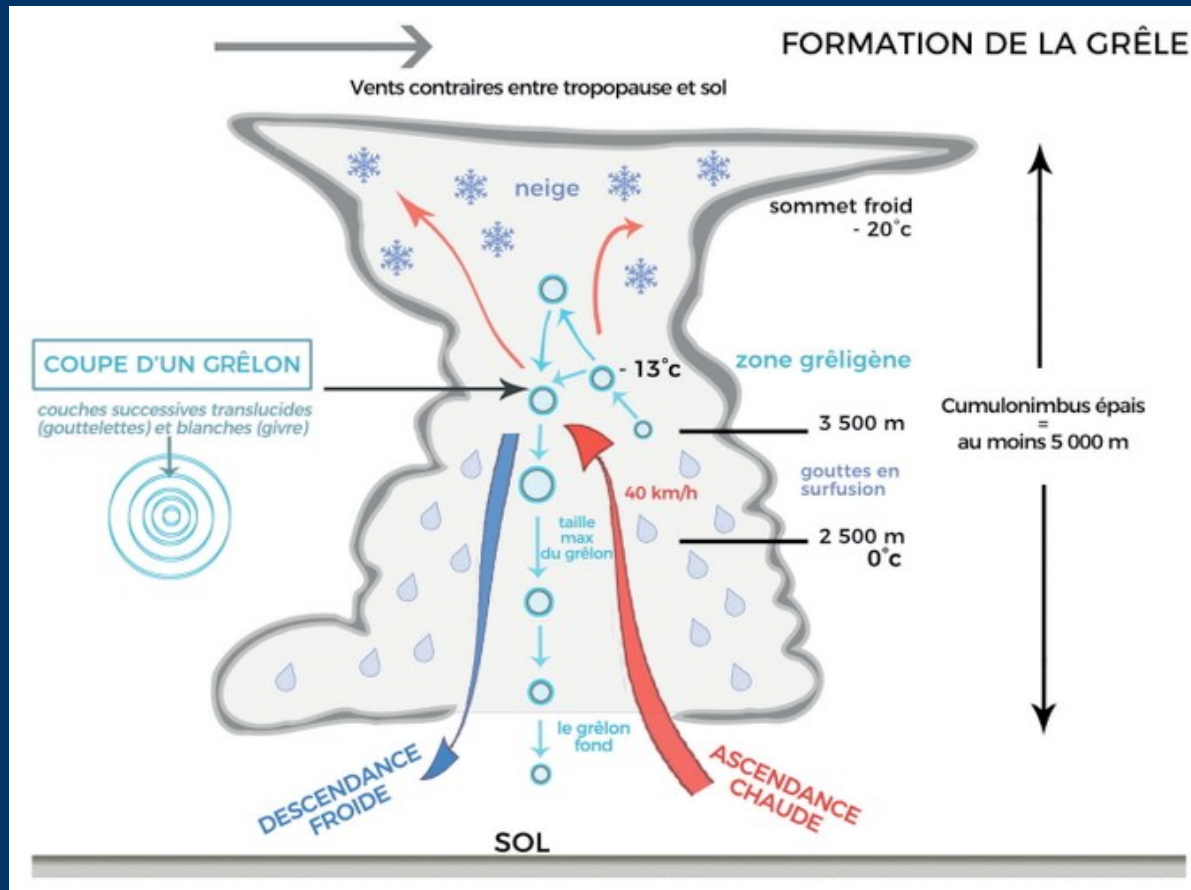


Observations



# Ce que les modèles climatiques ne génèrent pas

## Des nuages d'orage avec plus de grêle et des grêlons plus gros

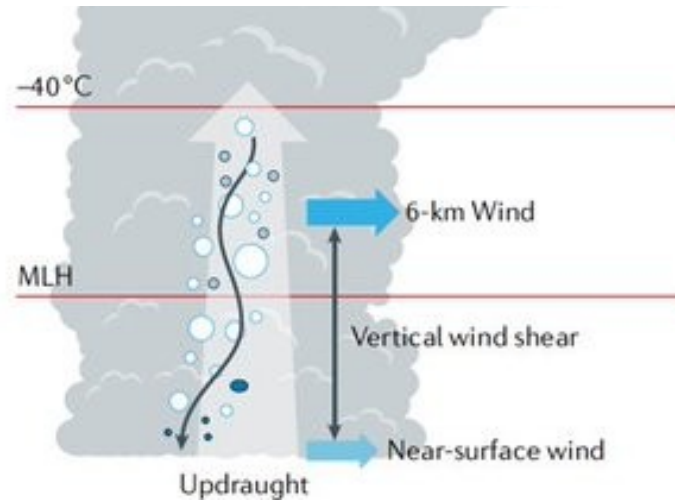


CC ⇒

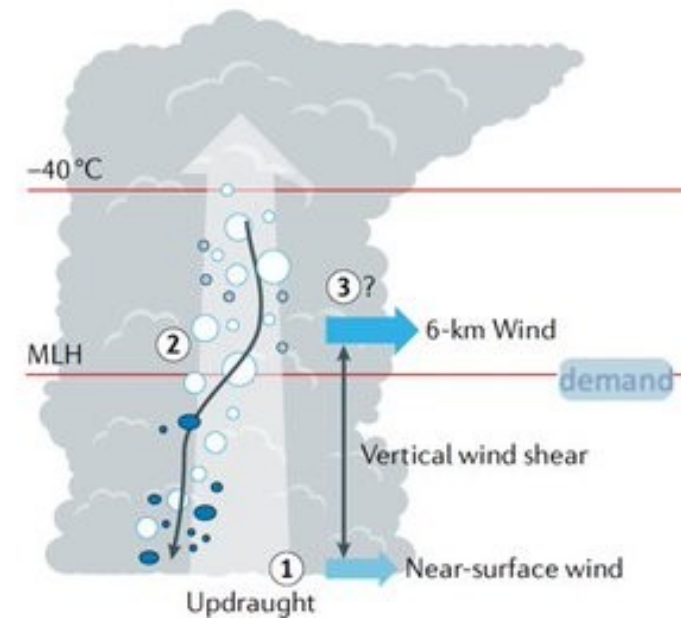
- + humidité air basse atm.
- + instabilité convective microphysique (aérosols)
- + altitude du niveau de fonte
- cisaillement vertical

Raupach et al. (2021)

Montpellier, 13 mai 1922



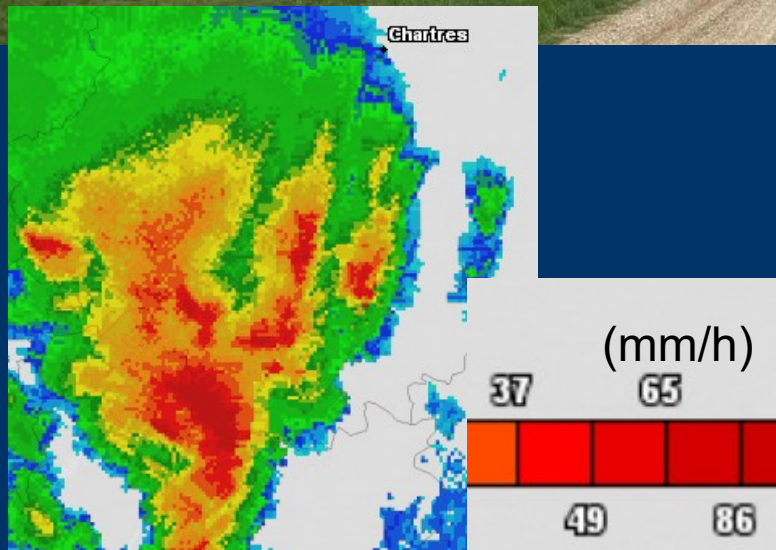
**b Future climate**



# Ce que les modèles climatiques ne génèrent pas

## La combinaison catastrophiques d'événements modérés

- 19/06/2020 : petit cyclone atlantique sud-ouest France (ok)  
+ jet stream puissant venant du sud (ok)





# Ce que les modèles climatiques ne génèrent pas

## La combinaison catastrophiques d'événements modérés

- 2/10/2020 : tempête Alex explosive *au nord-ouest* de la France  
+ jet stream descendant sur l'Espagne (~ok)  
=> apport diluvien *sur les Alpes Maritimes*, inondations Vésubie

	Précipitations en 24h le 2 octobre	Moyenne annuelle
Saint-Martin-Vésubie	500 mm	855 mm
Andon	380 mm	914 mm
Tende	343 mm	829 mm
Breil-sur-Roya	271 mm	799 mm
Sospel	199 mm	810 mm

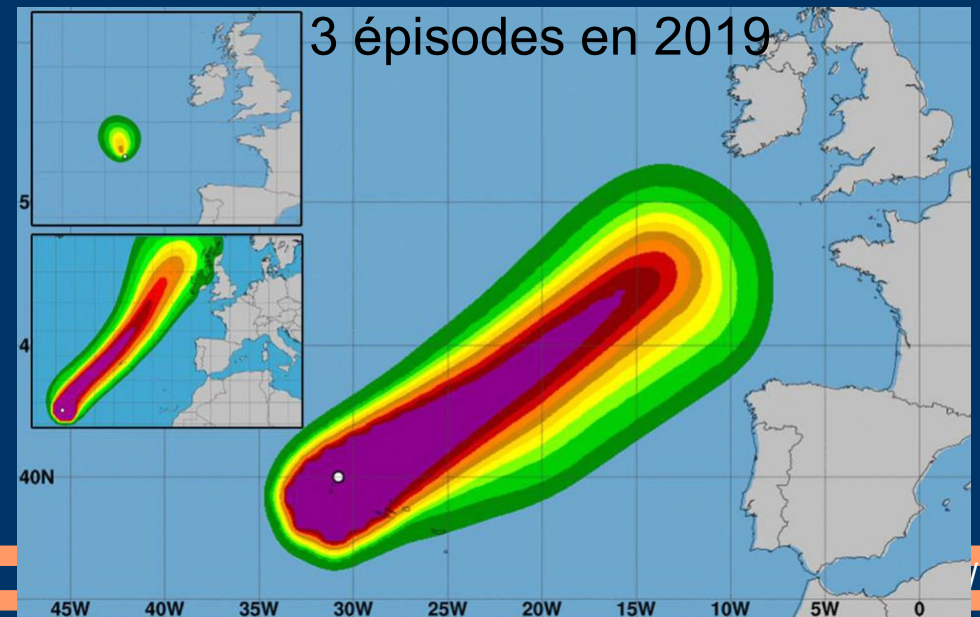
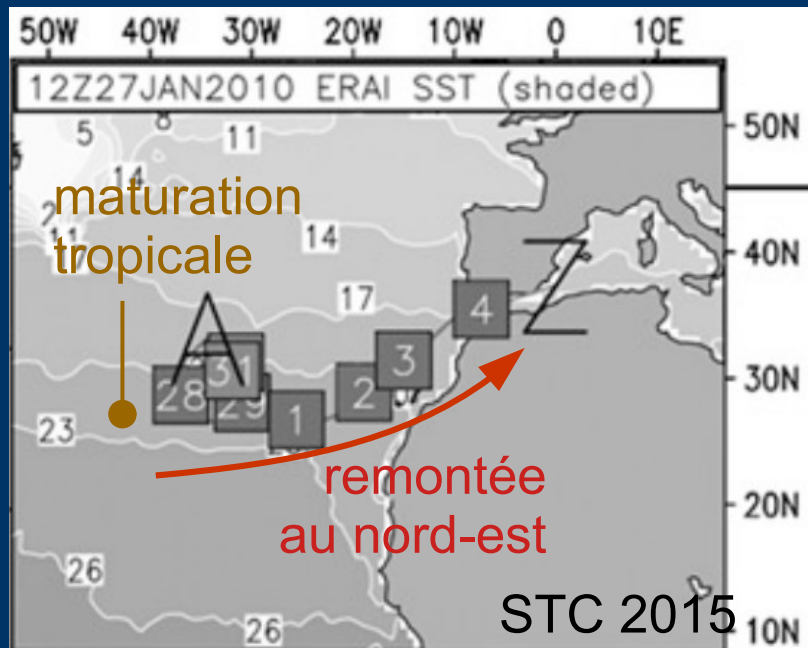


Photos 2. Vues aériennes de Roquebillière avant la tempête (photo A) et après la tempête (photo B) ; clichés IGN.



# Apparition de cyclones atypiques se formant en Atlantique central, et allant vers l'est

- "Les cyclones on 'appris' le chemin vers l'Europe, tendance claire et exponentielle" [González Alemán]
- En 2019, 3 tempêtes tropicales ont traversé l'Atlantique vers la côte NW espagnole, qualifiées d'anormales et sans précédent [Rubén del Campo, AEMET] : Cyclones *Lorenzo* et *Pablo*, tempête *Sebastien*
- facilité par les situations de "blocage" : fortes pressions nord-atlantiques stables si les précurseurs de cyclone sont isolés de la circulation générale ("cut-off") (González 2015)
  - => soumis surtout aux différences de pression près de la mer
  - => repoussés vers la zone tropicale
  - => maturation et déploiement (contrairement à l'épuisement par occlusion s'ils étaient restés aux latitudes moyennes)



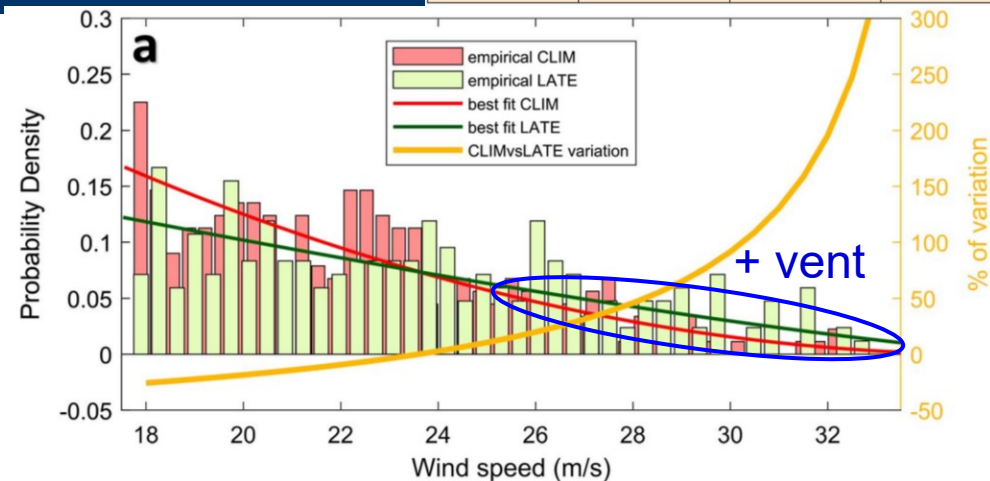
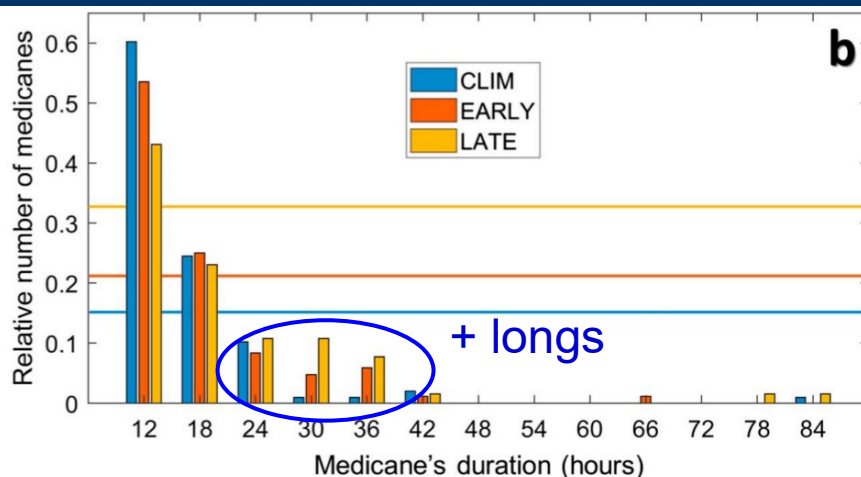
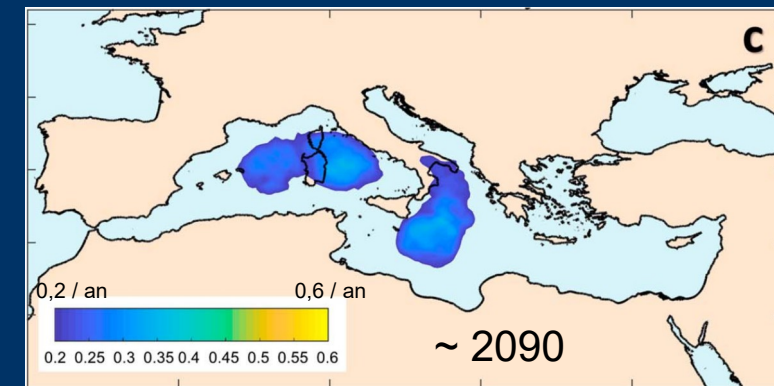
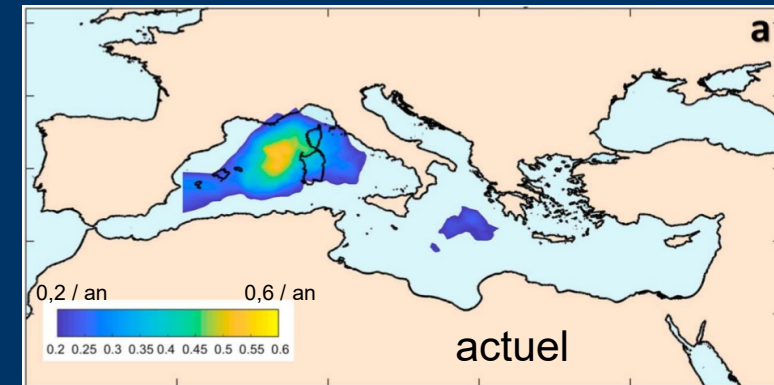


# Intensification des Medicanes

## Les "hurricanes" méditerranéens

- naissent en Méditerranéen (exclut les cyclones tropicaux)  
plus petits (150km) qu'en océan ouvert (500km),  
noyau chaud
- actuel : 0,5 - 3 / an, max : 30mm/j , 24h  
surtout mois froids, hiver ; Golfe du Lion
- Futur : RCP 4.5 (modéré)  
modélisation numérique HiFLOR GCM, 25km, difficile  
moins fréquents à l'ouest, davantage au centre  
+ **destructeurs** (< +50 % automne), + longs (max 36h)  
+ vent (< +3km/h), + pluie (< + 10 mm/j)
- lié au réchauffement de la mer ~ +2°C

nb de cyclones par an

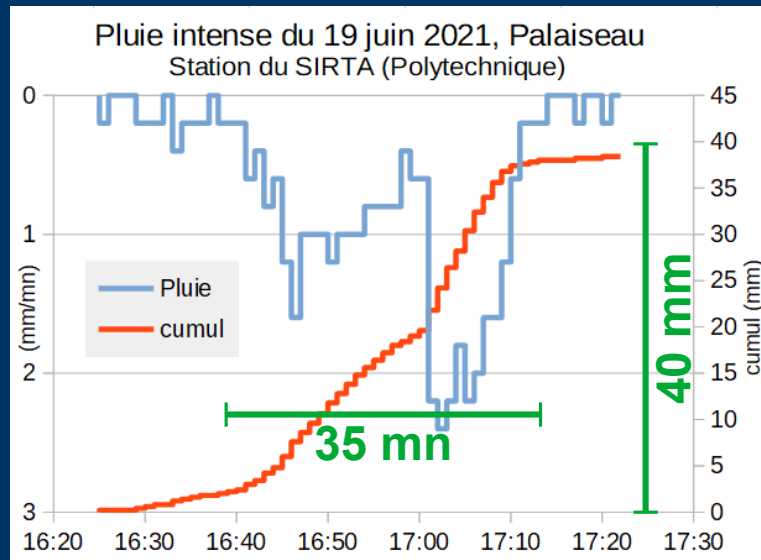


# Des pluies de projets basées sur le climat passé Inadaptées aux nouveaux types de pluie



- choix retour 50ans

Type de pluie	N°	Date de l'événement	Période de retour	Durée (heures)	Station météo	a	b	hauteur (mm)
pluies de projet	1			2				37
	2			2				60
pluies de durées et périodes de retour données	3		50 ans	2	Villacoublay	10,517	0,669	51
	4		50 ans	12	Villacoublay	10,517	0,669	93
	5		100 ans	2	Villacoublay	12,35	0,662	62
pluies réelles	6	29-avr-07	50 - 100 ans	6	Toussus-le-Noble			77
	7	juil-01	30 - 50 ans	12	Trappes			88
	8	juil-01	30 ans	96	Villacoublay			101

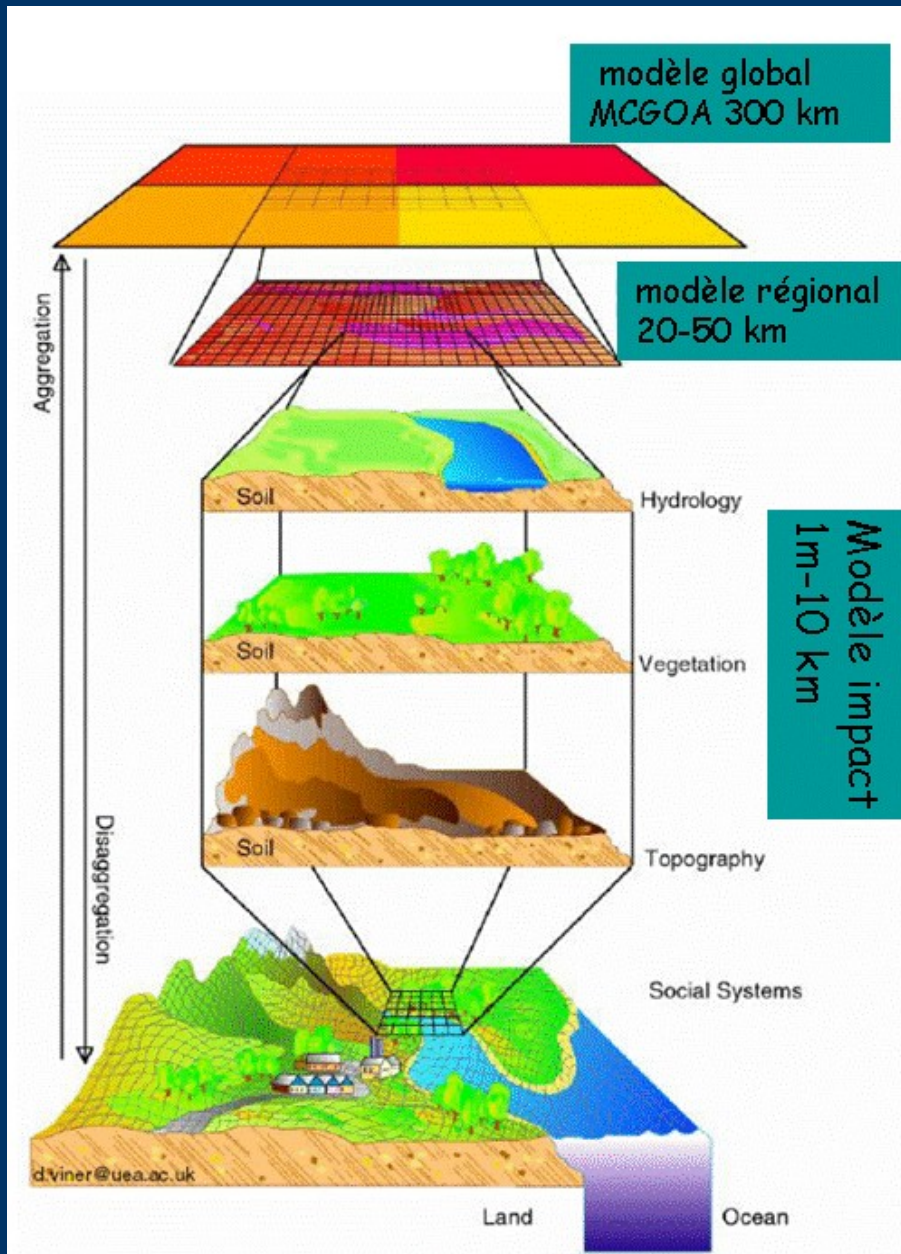


- par son intensité, la pluie a totalement dépassé les dispositifs en place, de fait inopérants
- pourtant, elle satisfaisait largement aux critères de gestion (40mm pour 60mm de projet)
- les successions de pluies longues ne sont pas envisagées



# Quelles pluies considérer pour l'adaptation ?

## La méthode classique – enchaînement de modèles – échoue à dimensionner les risques



⇒ maximise risques **maladaptation** :

- sous-dimensionnement d'ouvrage
- sur-investissement sur des ouvrages protecteurs qui se révéleront inefficaces
- illusion de sécurité
- retard dans la mise en œuvre d'actions mieux adaptées

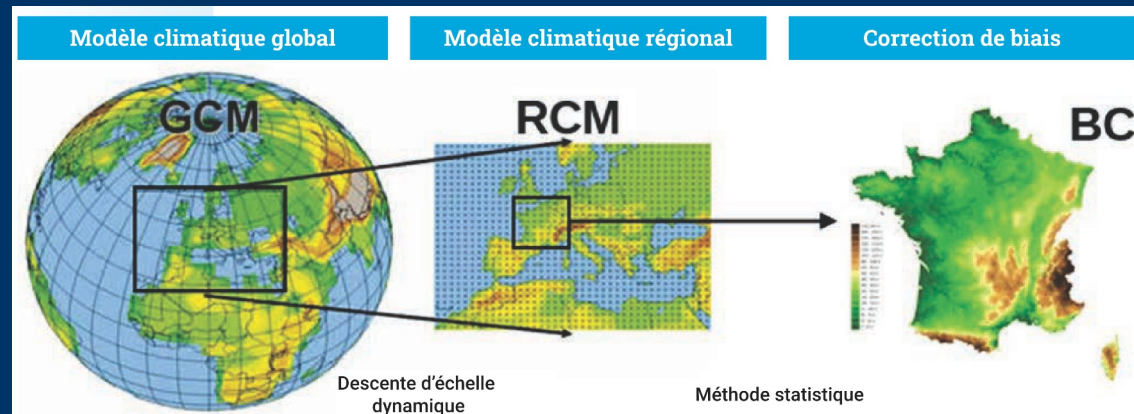


Figure 4 : Les étapes de descente d'échelle (dynamique et statistique) depuis la modélisation globale à régionale jusqu'à la correction de biais.

# Quelles pluies considérer pour l'adaptation ?

## Sortir des sentiers battus

L'expertise sur les pluies à considérer se fait à façon

$$\begin{aligned}\text{vulnérabilité} &= \text{enjeu} \times \text{exposition} \\ \text{risque} &= \frac{\text{aléa climatique} \times \text{vulnérabilité}}{\text{capacité d'adaptation}}\end{aligned}$$

=> **réduire l'exposition** + améliorer la **capacité d'adaptation**

- ciblée **pour chaque enjeu** mis à l'épreuve
- pour **un territoire donné** en interaction avec ses voisins
- le CC comme un **risque**
- concerne différents **porteurs d'enjeu**  
avec des points de vue et des intérêts différents
- nécessite énormément d'**expertise** sur le climat, les vulnérabilités, les narratifs techniquement et socialement acceptables, le jeu d'acteurs
- intégrer les incertitudes ⇒ décision **robuste**
- **concertation multi-acteurs** à chaque étape ⇒ expertise institutionnelle, connaissance locale fine et historique, condition à acceptabilité, à l'adéquation, effectivité à long-terme, appropriation



# *Faire de la crise une opportunité*

- L'après-inondation est l'occasion de rediscuter de la vulnérabilité du territoire
  - capitaliser sur l'aversion au risque
  - observer les zones de vulnérabilités non anticipées
  - reconstruire différemment
    - en évitant : reconstruire ailleurs
    - en protégeant : digues/surveillance/alerte/gestion crise...
    - en acceptant : préparer la défaillance  
bâti inondable (pilotis, passerelles, issues de secours...)
  - renforcer la *résilience* sociale et économique  
réduire l'exposition, se préparer à réparer les dégâts, solidarité...

*Merci de votre attention*

