



**SROCC**

Océan et  
Cryosphère

**WG1**

Sciences  
du climat

**WG2**

Impacts  
adaptation  
vulnérabilité

## Elévation au niveau de la mer et adaptation aux risques côtiers

Gonéri LE COZANNET, BRGM

Journée scientifique et technique du  
Comité Français de Mécanique des Sols  
et de Géotechnique



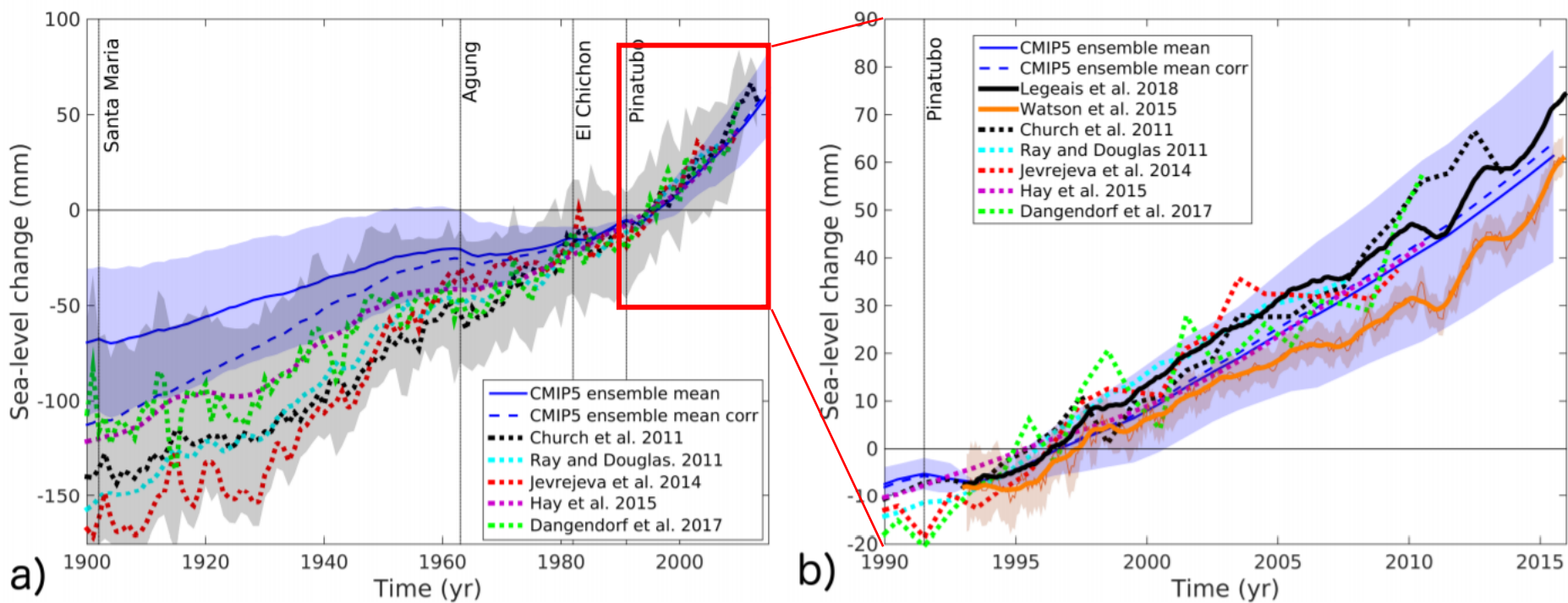
9 décembre 2021



# L'élévation du niveau de la mer s'accélère depuis 1870

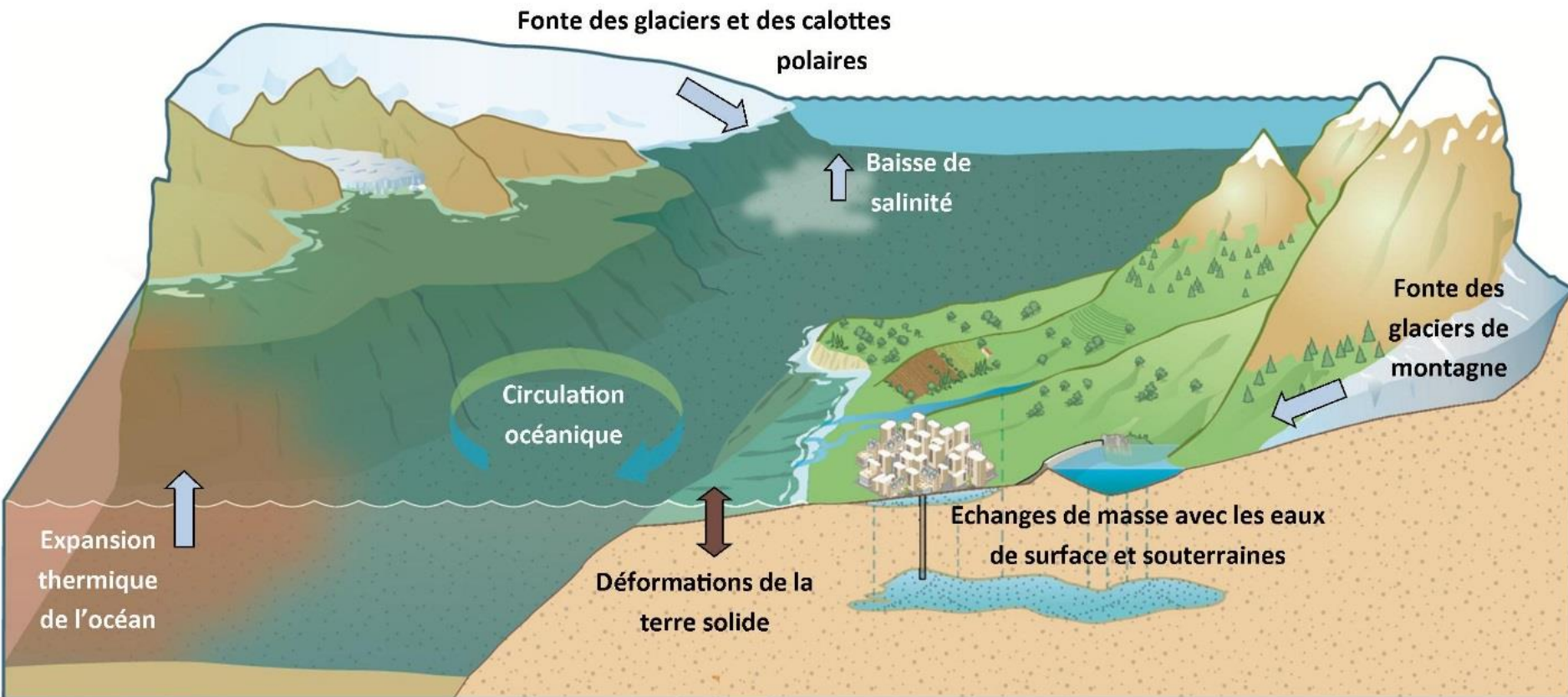
1901-1990: 1,4mm/an  
1970-2015: 2,1mm/an  
1993-2015: 3,6mm/an  
2006-2018: 3,7mm/an

Les modèles de climat reproduisent les observations de l'élévation du niveau de la mer de manière satisfaisante

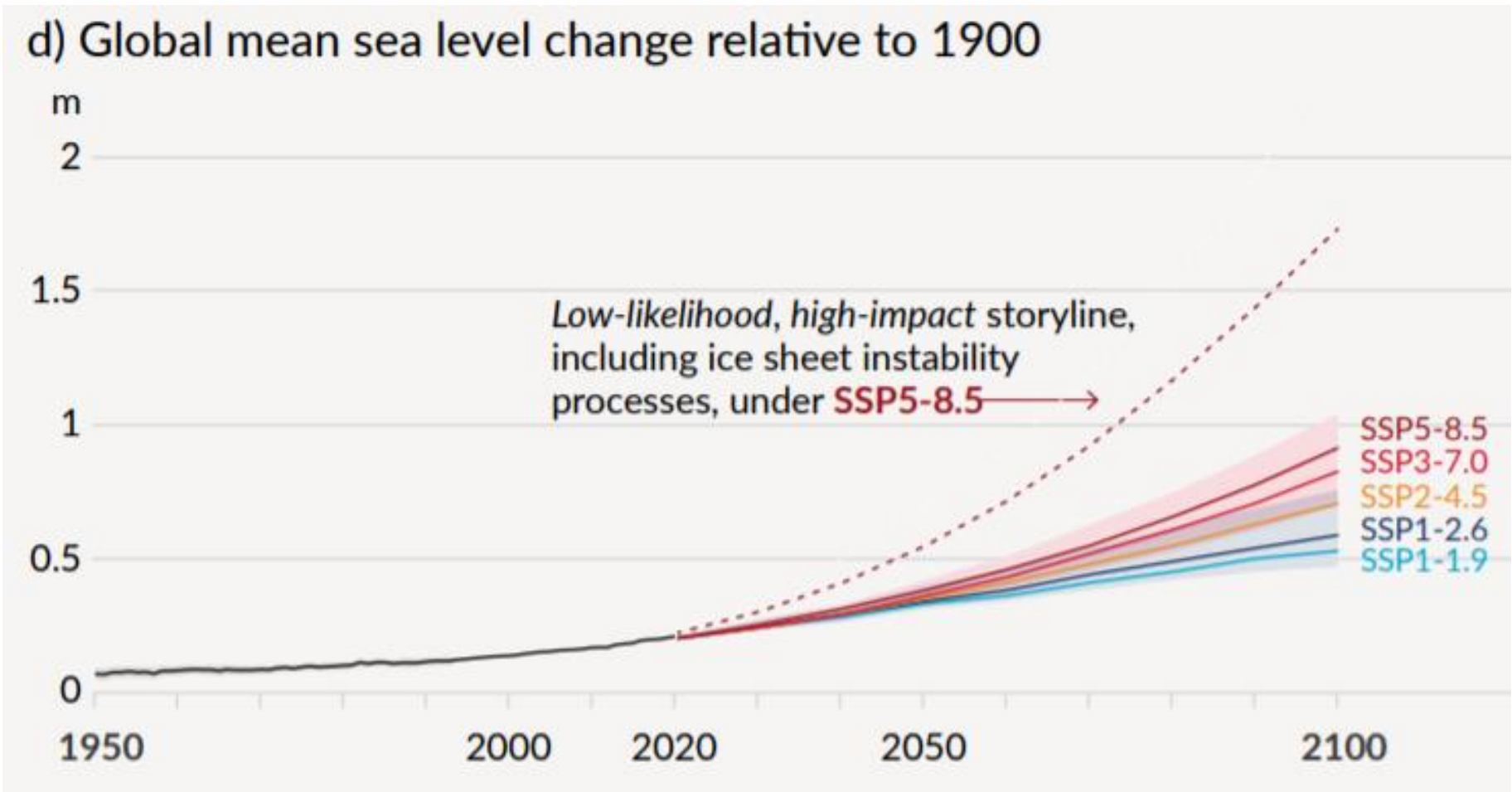


# Causes de l'élévation du niveau de la mer

- Expansion thermique
- Fonte des glaciers de montagne
- Calottes de glace du Groenland et de l'Antarctique
- Eaux souterraines

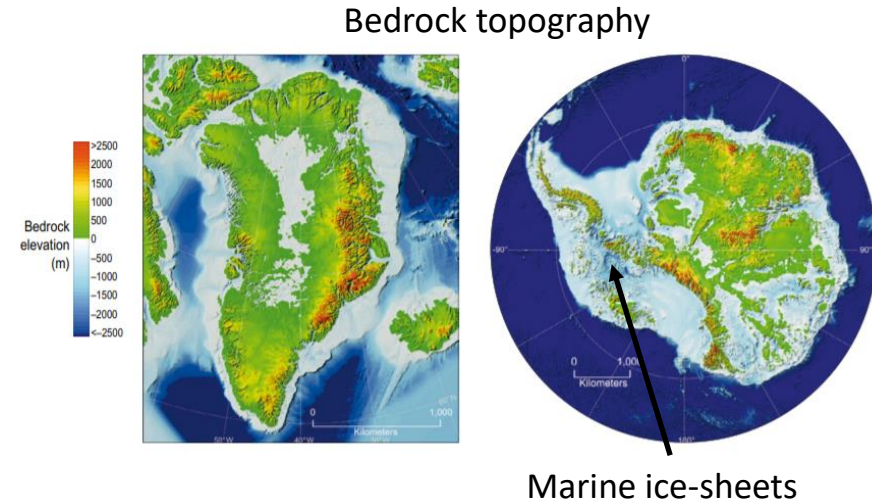


# L'élévation du niveau de la mer se poursuivra au cours du 21<sup>ème</sup> siècle

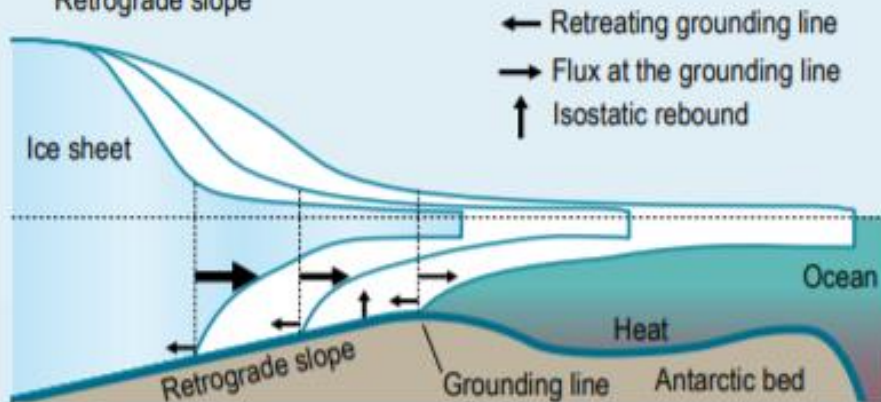


# Un effondrement de l'Antarctique de l'Ouest ne peut pas être exclu

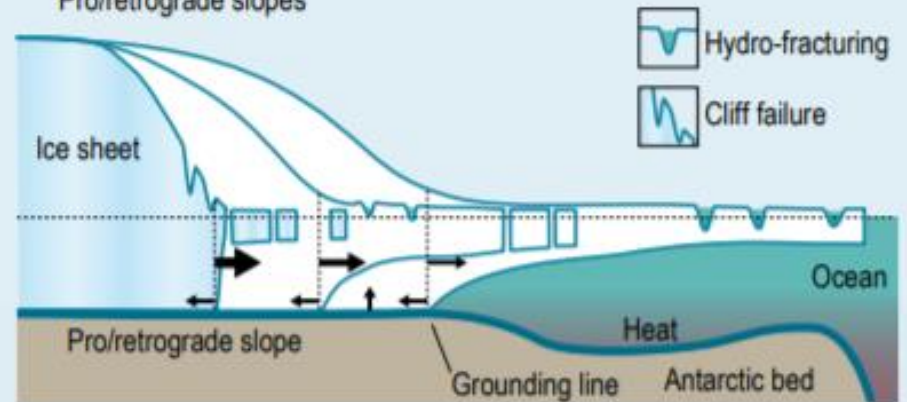
IPCC AR6: “Higher amounts of GMSL rise before 2100 could be caused by earlier than projected disintegration of marine ice-shelves, the widespread onset of Marine Ice Sheet Instability and Marine Ice Cliff Instability around Antarctica and faster than projected changes in the surface mass balance and discharge from Greenland (...) These processes are characterized by deep uncertainties”.



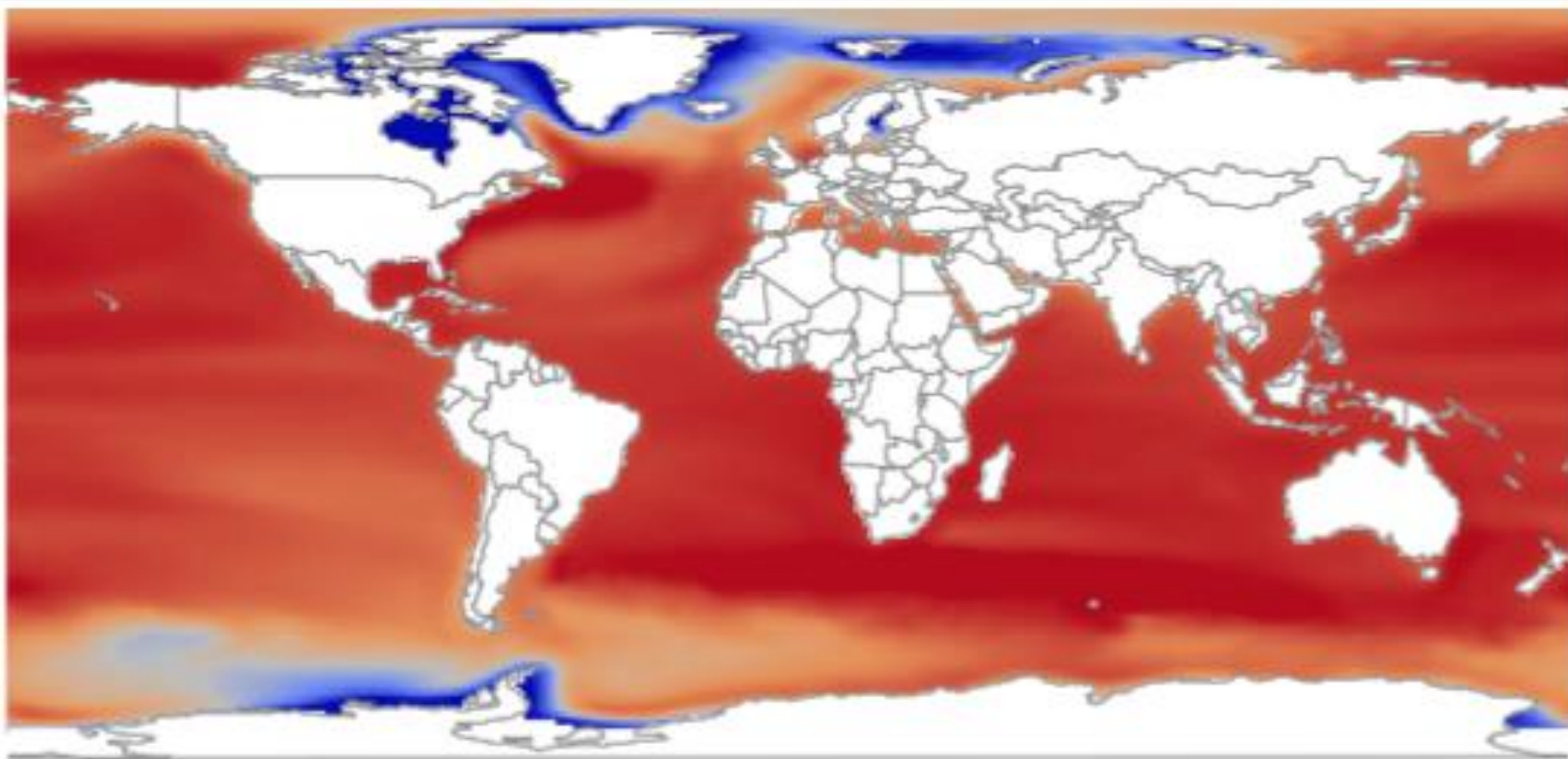
(a) Marine Ice Sheet Instability (MISI)  
Retrograde slope



(b) Marine Ice Cliff Instability (MICI)  
Pro/retrograde slopes



# Projections régionales de l'élévation du niveau de la mer (ex RCP8.5, 2100)

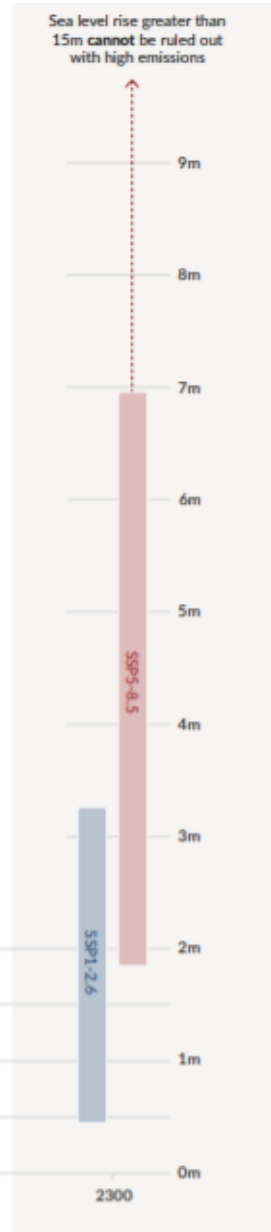
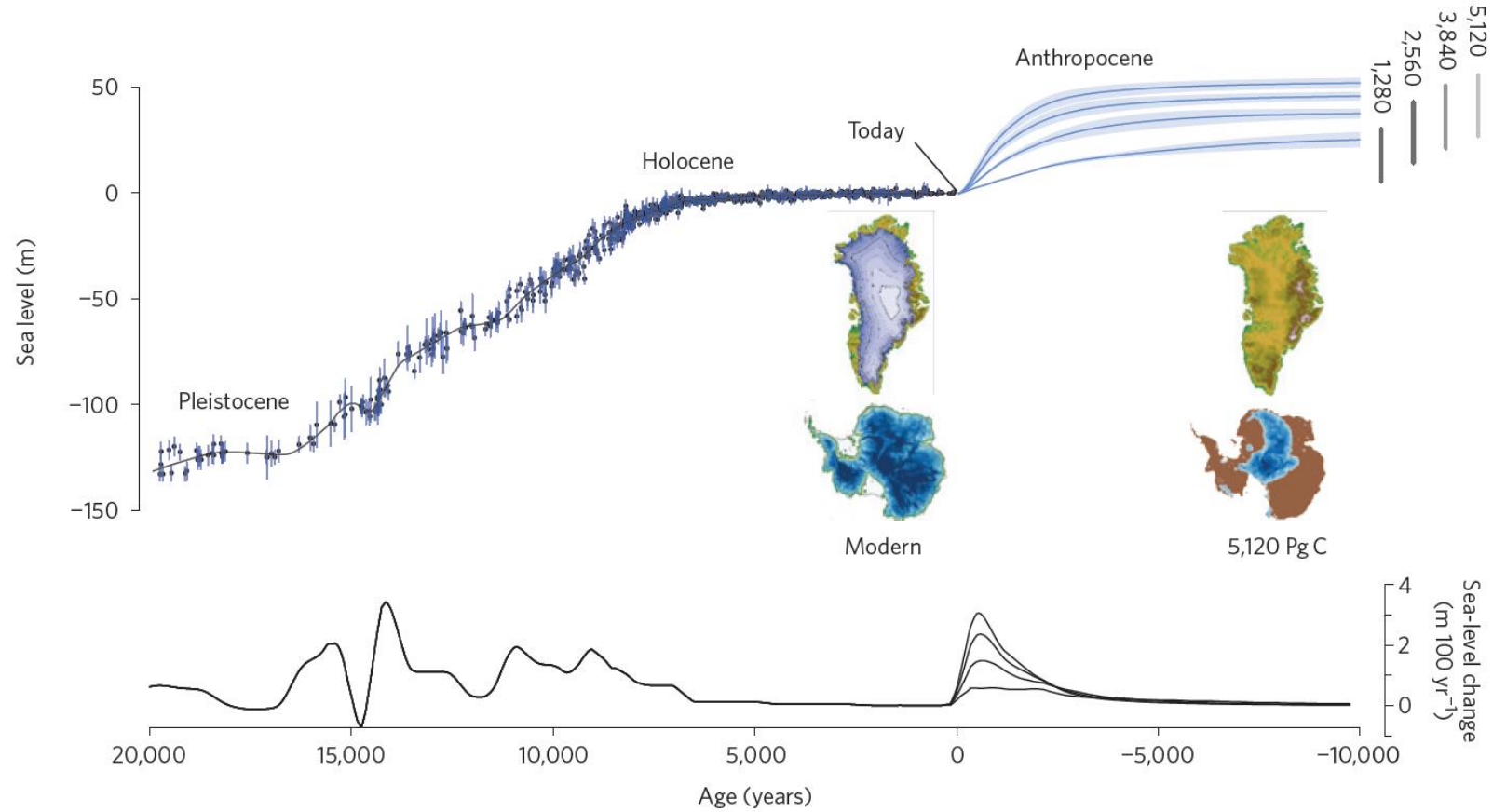


0m

0,5m

1m

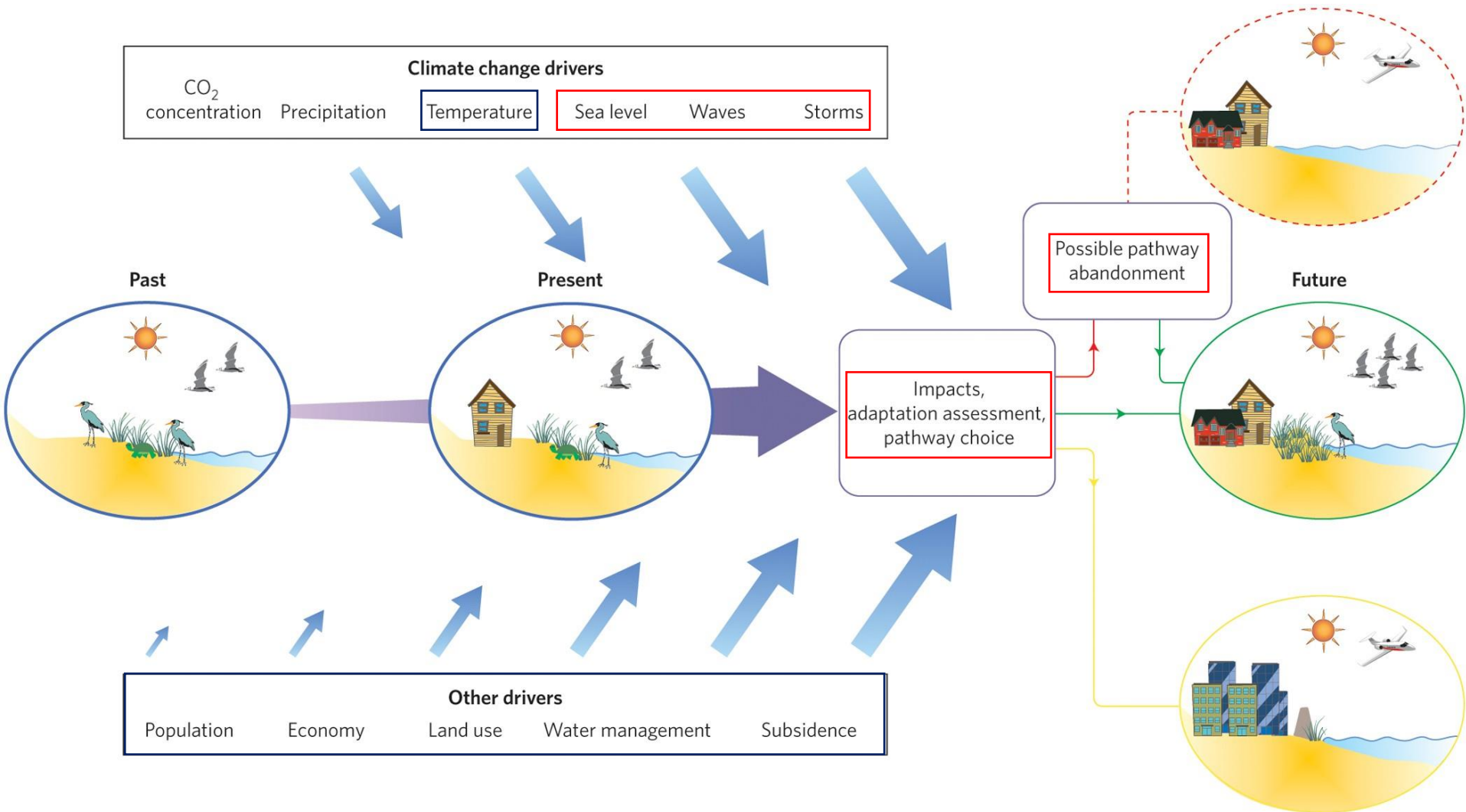
# L'élévation du niveau de la mer se poursuivra pendant des siècles



↑T	1,5°C	2°C	3°C	4°C	5°C
2000 ans	2 à 3m	2 à 6m	4 à 10m	12 à 16m	19 à 22m
10000 ans	6 à 7m	8 à 13m	10 à 24m	19 à 33m	28 à 37m

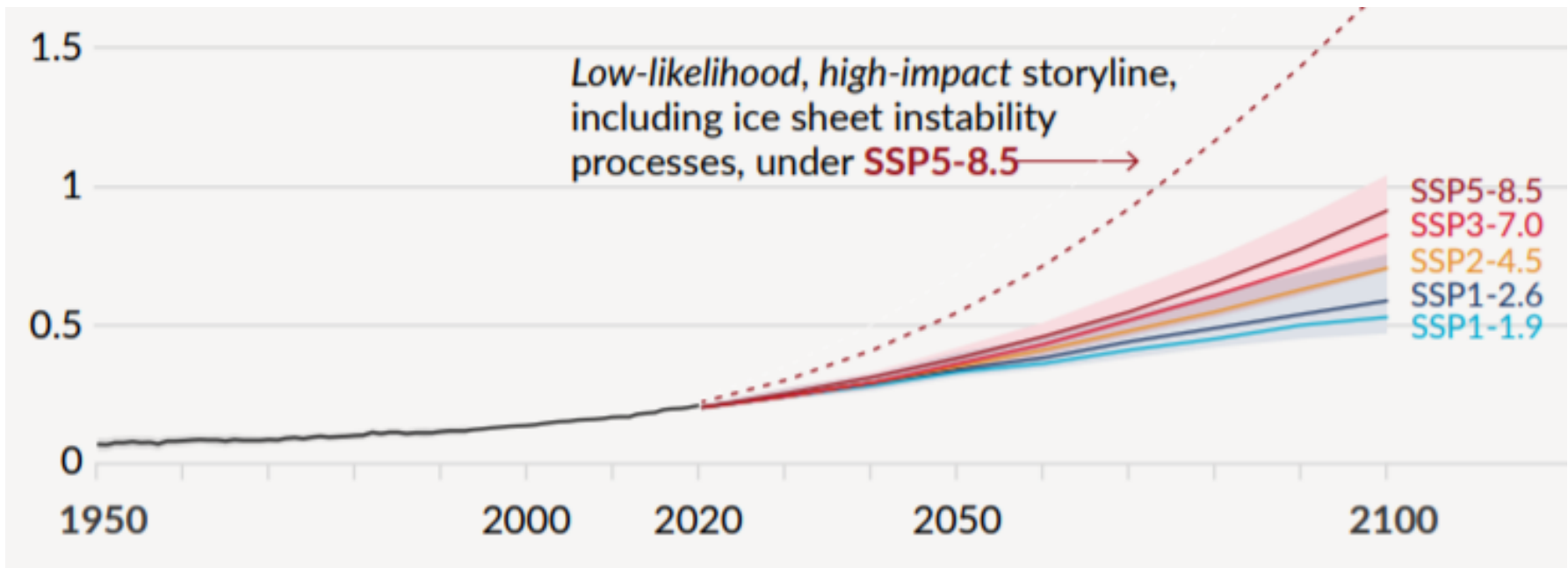
# L'élévation du niveau de la mer est un changement majeur pour les zones côtières

*Mais de nombreuses autres évolutions sont en cours*





# Conséquences de l'élévation du niveau de la mer

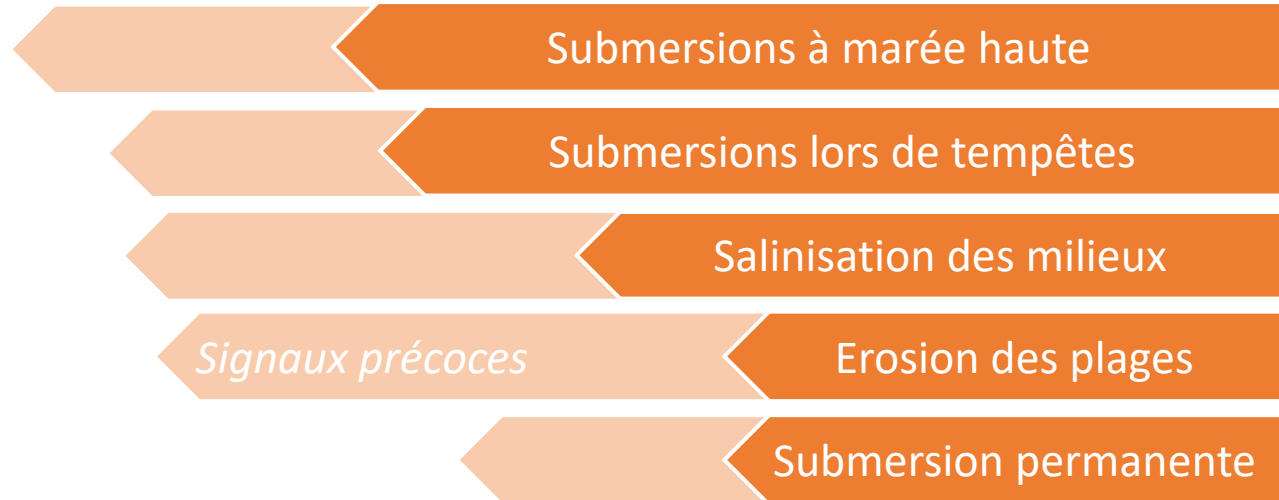


IPCC, AR6 WG1 SPM – see also Sharples et al., 2020

Variabilité naturelle



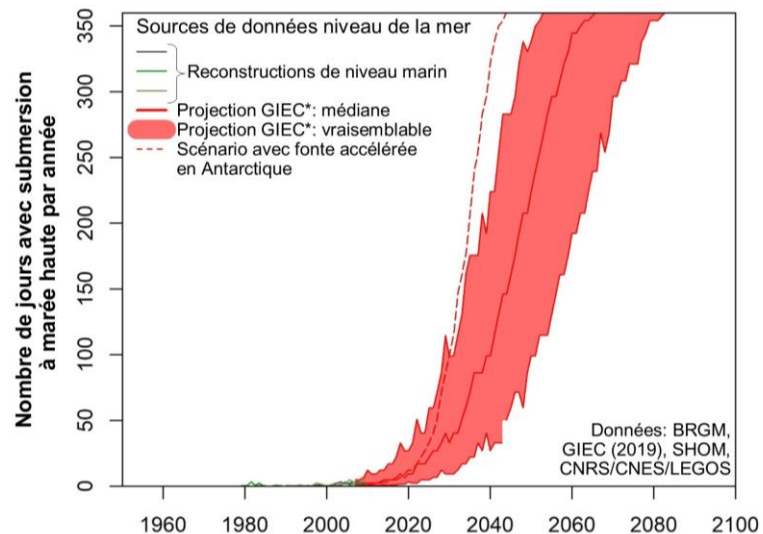
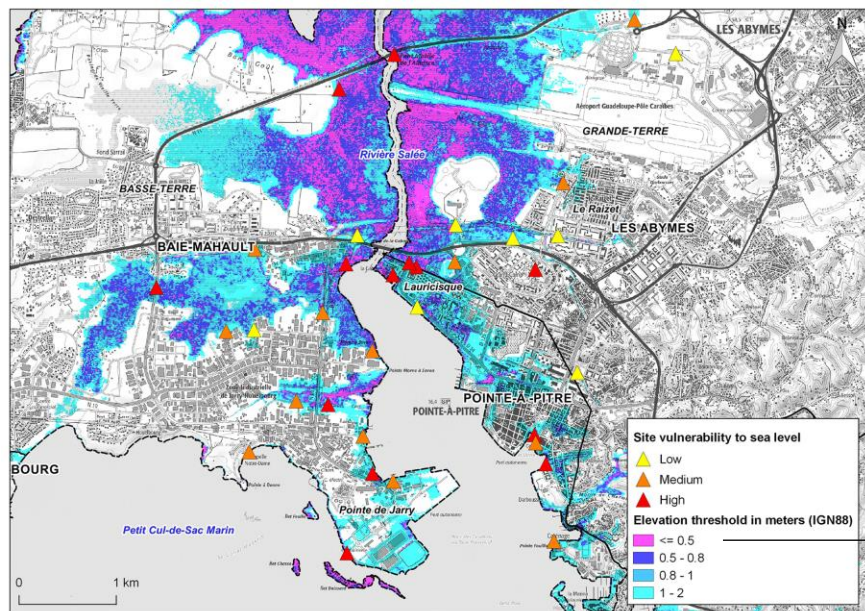
Risques côtiers modifiés par le changement climatique



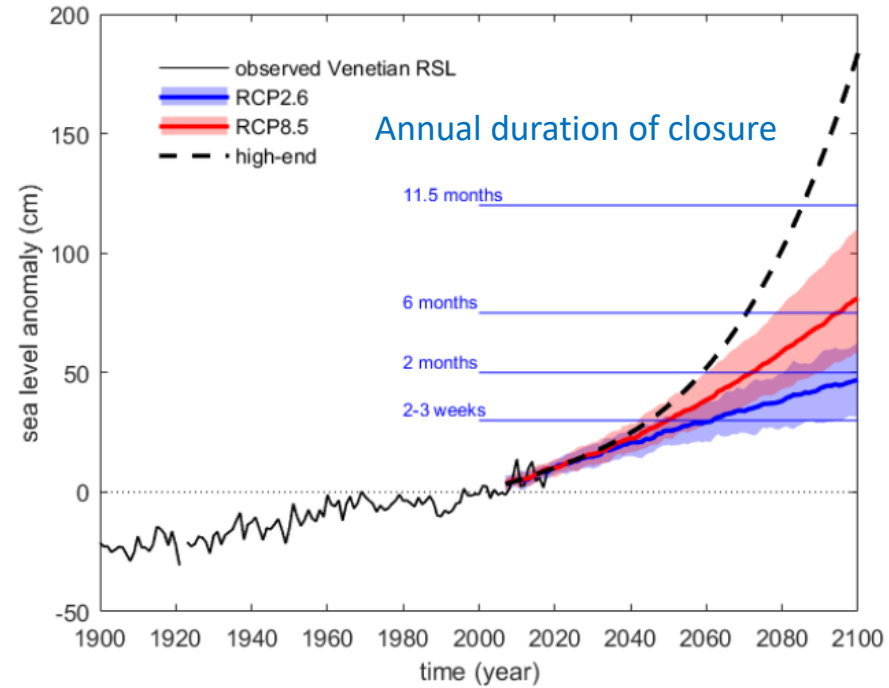
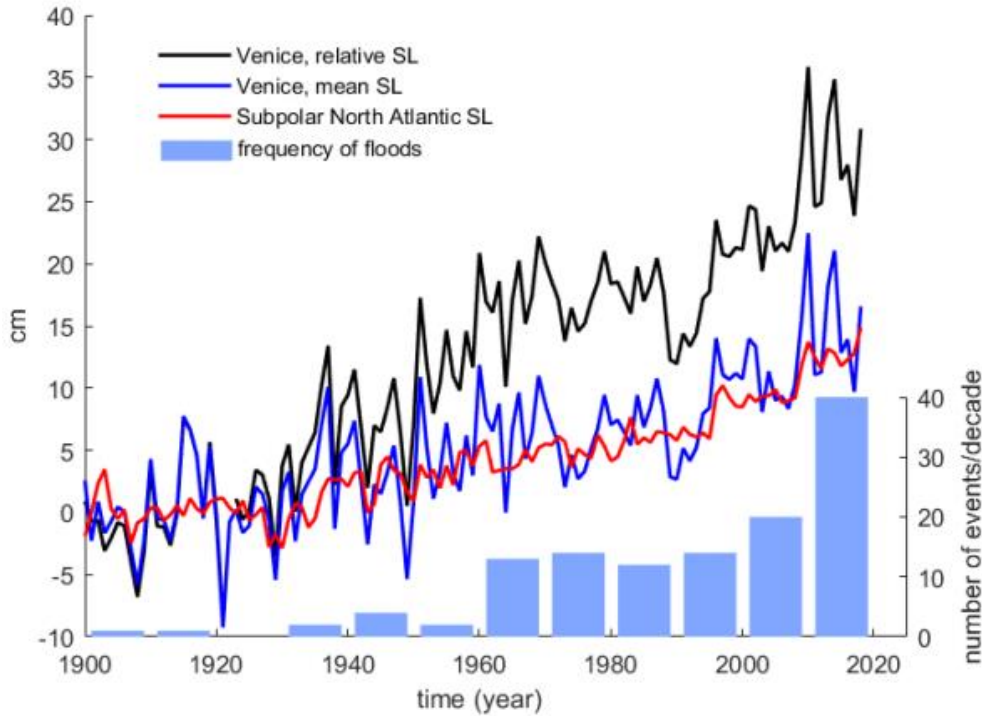
# Un enjeu d'adaptation urgent: les submersions chroniques à marée haute



- Impacts: infrastructures portuaires, aéroportuaires, industrielles ou commerciales, situées en zones basses
- Besoins en information: mouvements verticaux du sol, modèles numériques de terrain, mesure des niveaux d'eau et des vagues

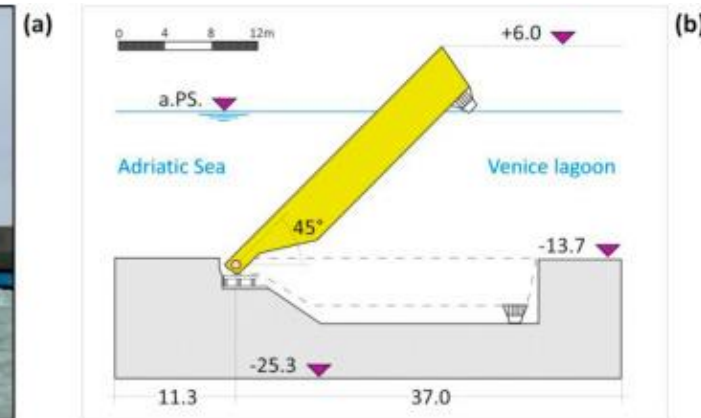
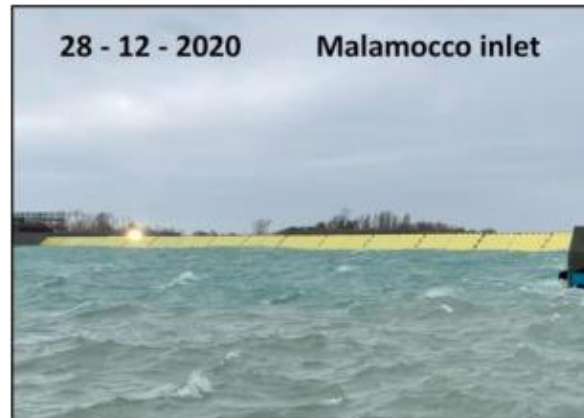


# L'exemple de Venise montre que l'adaptation à l'élévation du niveau de la mer prend des décennies

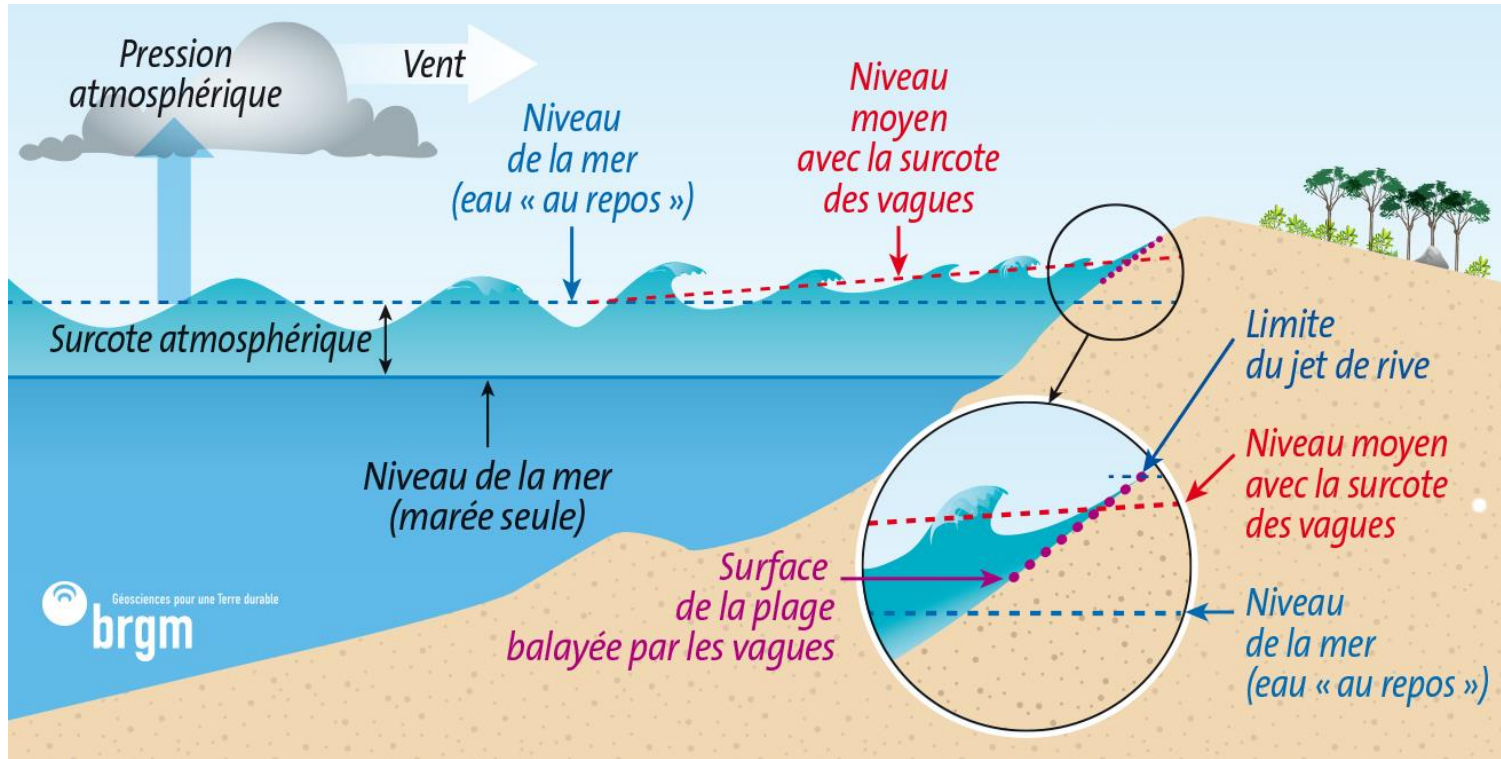


Proposed / Operational

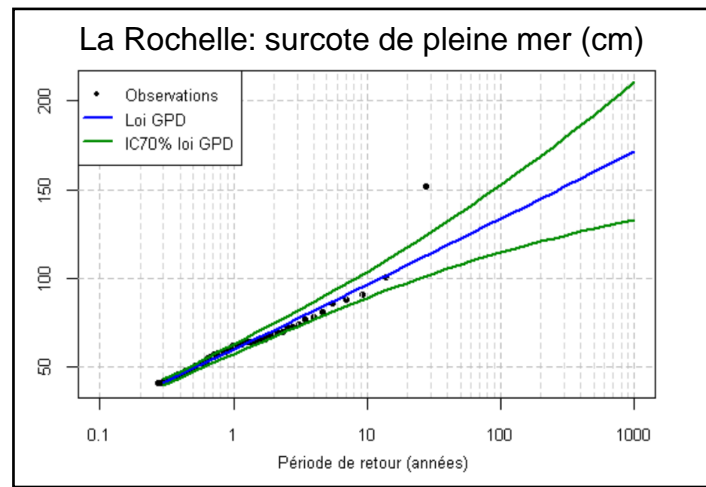
Implementing the MoSE barrier took *decades*



# Submersions marines lors de tempêtes plus fréquentes et plus intenses

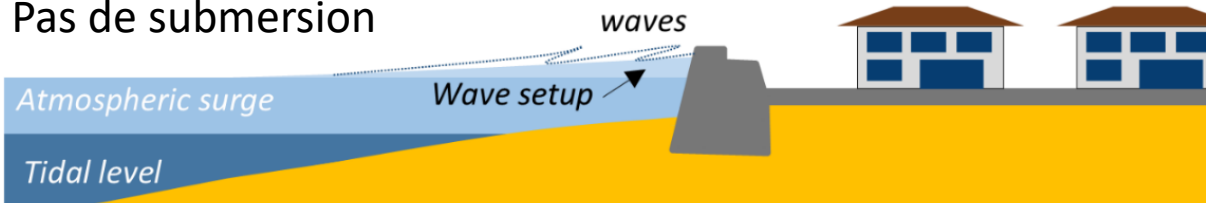


L'élévation du niveau de la mer intervient dans un contexte de forte exposition aux risques de submersion.

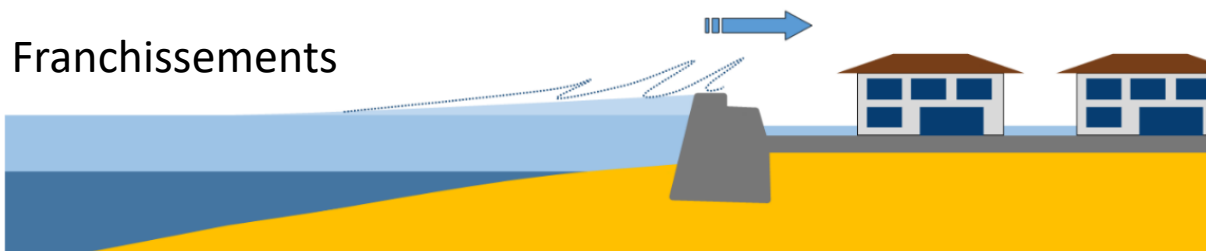


# Modes de submersions

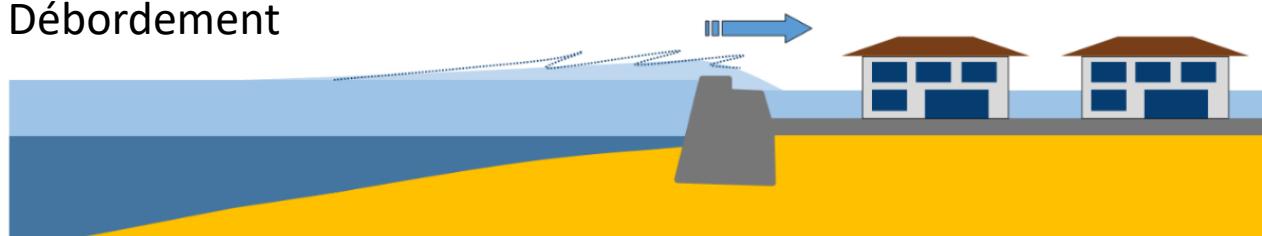
Pas de submersion



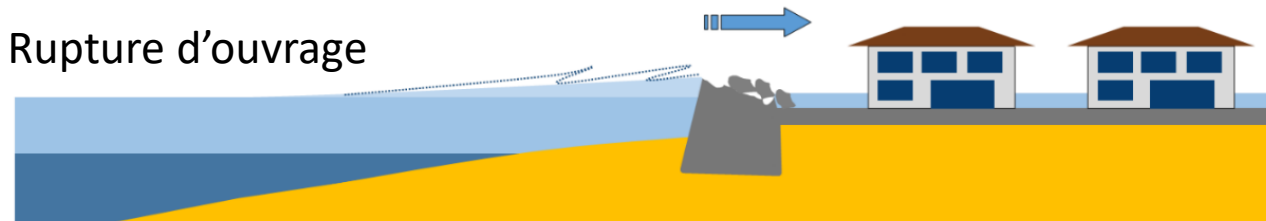
Franchissements



Débordement



Rupture d'ouvrage



SUBMERSION PAR  
FRANCHISSEMENT

SUBMERSION PAR  
RUPTURE D'OUVRAGE

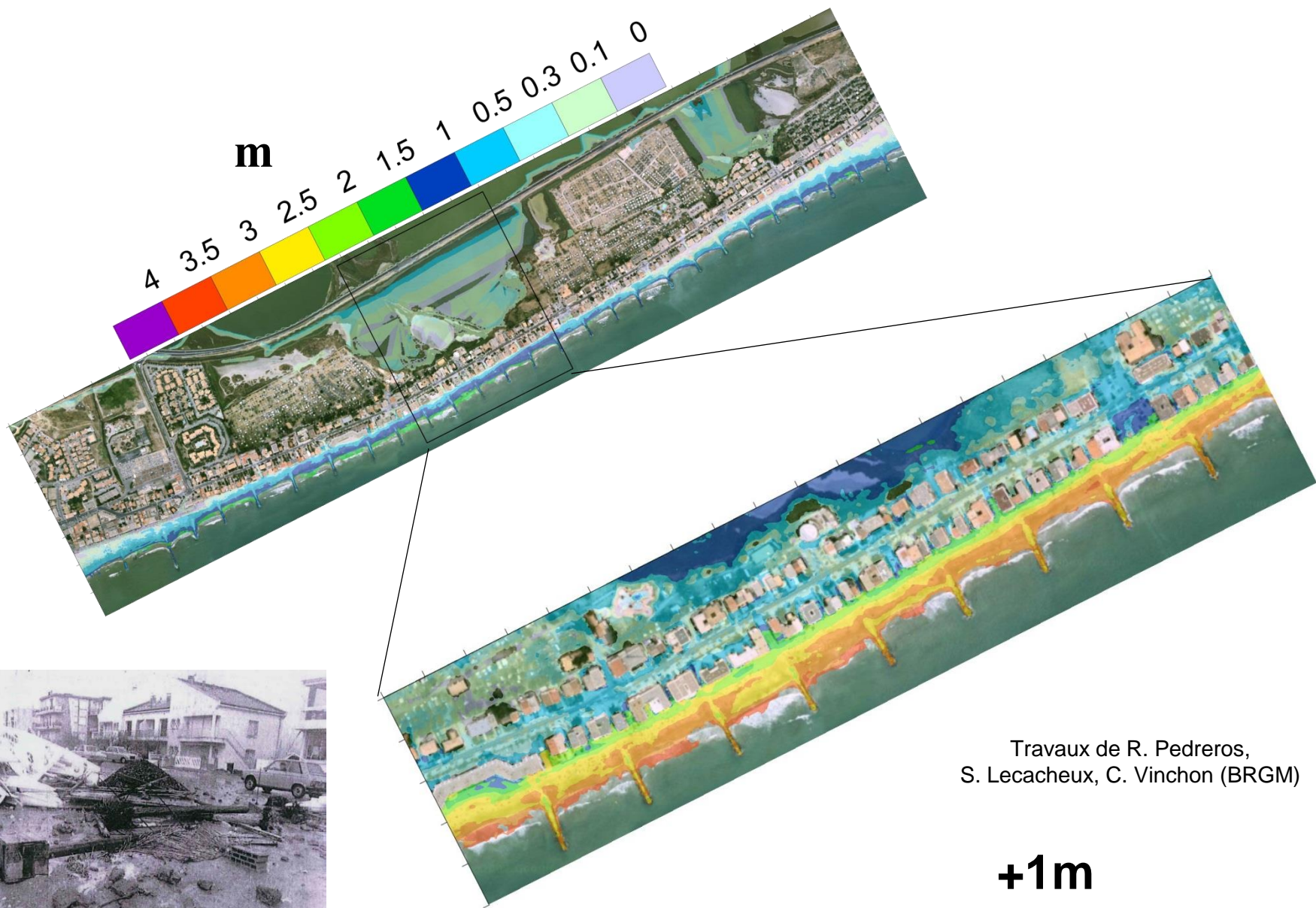
Augmentation  
des risques  
pour les vies  
humaines

# Palavas-les-flots – simulation de la tempête de 1982



Source: BRGM; R.Pedreiros, S Le Roy, S. Lecacheux, D. Idier, F. Paris and coll.

# Conséquences de différents scénarios d'élévation du niveau de la mer pour une tempête similaire à 1982 à Palavas

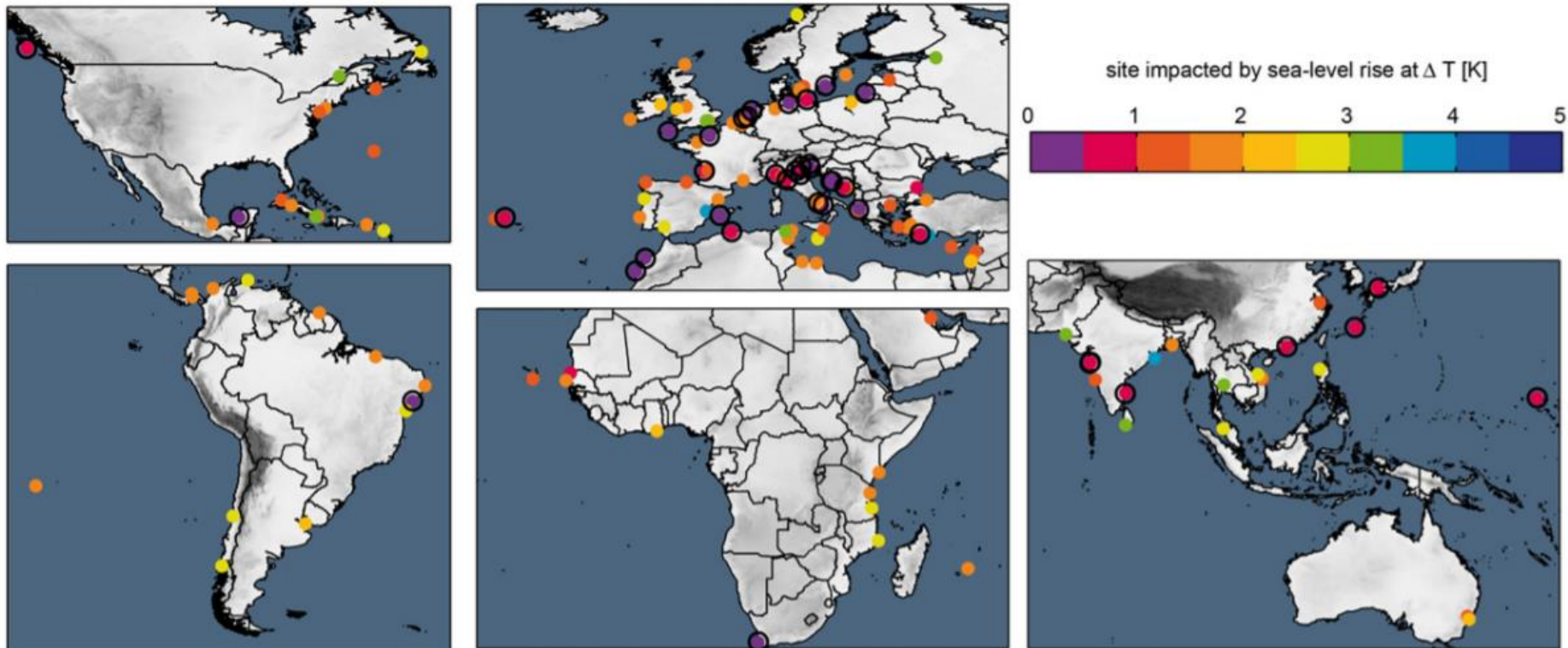


Travaux de R. Pedreros,  
S. Lecacheux, C. Vinchon (BRGM)



# Au-delà de 2070/2100: des enjeux importants sont menacés

- Sites culturels (Marzeion et Levermann, 2014; Reimann et al., 2018)
- Infrastructures à longue durée de vie: énergie, transport, ports, villes...(Clark et al., 2016)
- Risques pour les sites et sols pollués (Nicholls et al., 2021)
- Menace existentielle pour des états insulaires (SROCC, 2019)

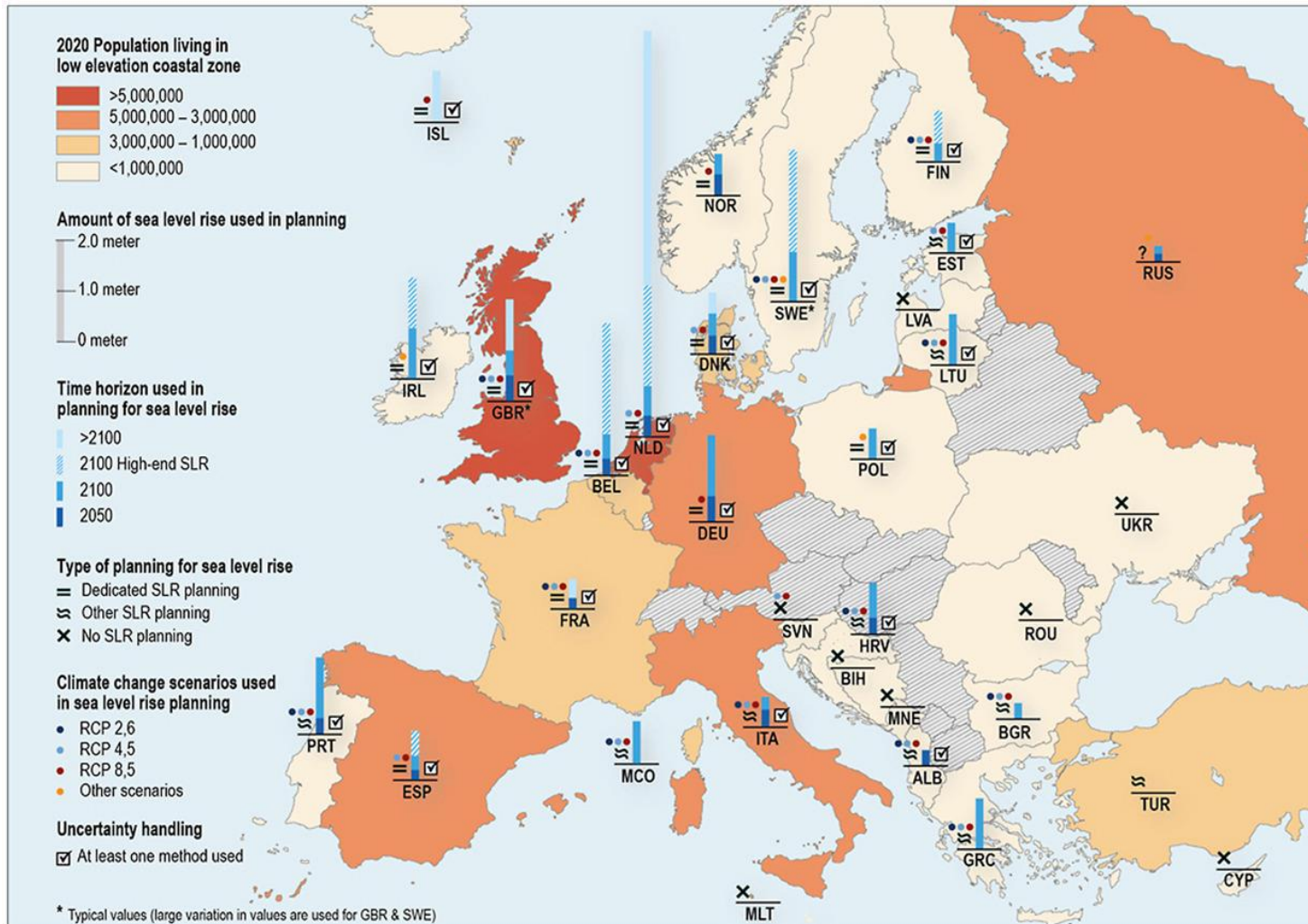


Unesco cultural heritage sites committed to be impacted for a stabilization of climate warming at  $\Delta T$



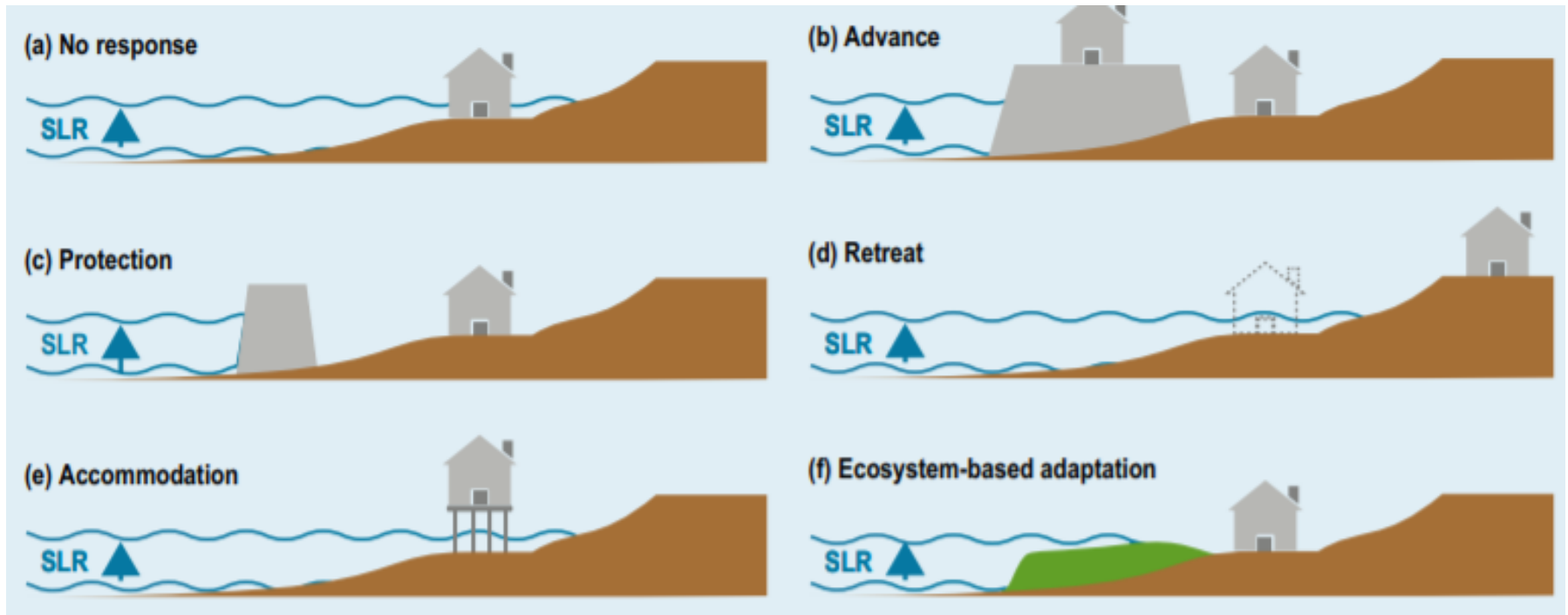
# L'élévation du niveau de la mer est de plus en plus considérée pour l'adaptation en Europe

Mais les utilisations sont très diverses: planification de l'adaptation (barrière de la Tamise, hollandaise), limitation de l'expansion urbaine en zones à risques (France)...



# Réponses à l'élévation du niveau de la mer

1. Eviter d'aggraver l'exposition en limitant la construction dans les zones basses  
*Plans de prévention des risques littoraux*
2. Pour les zones déjà urbanisées:



# Adaptation à l'élévation du niveau de la mer

Objectif: réduire le risque = aléa x vulnérabilité(enjeux exposés)

## Réduire/modifier l'aléa



## Réduire l'exposition



## Réduire la vulnérabilité



*Des solutions existent, mais leurs faisabilité et leur efficacité diffèrent selon la vitesse de l'élévation du niveau de la mer*

# Solutions de protection (agir sur l'aléa)

Fondées sur:

Efficace en cas d'élévation  
rapide du niveau de la mer?

- des solutions d'ingénierie classiques
- la gestion des sédiments côtiers
- des solutions fondées sur la nature

Au prix de pertes  
d'écosystèmes?

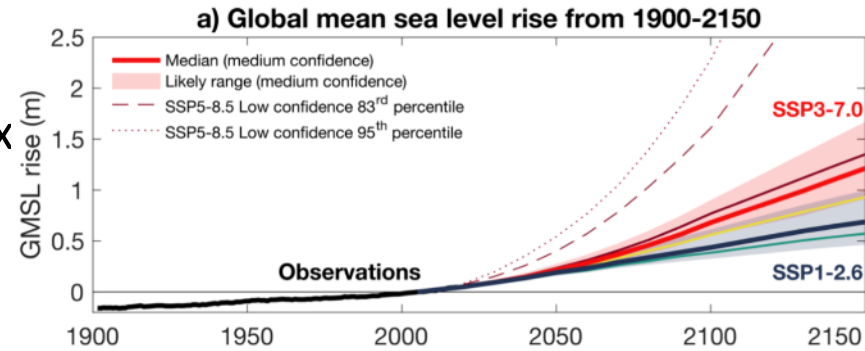
Exemple: dépoldérisation de marais afin  
d'atténuer le pic de niveau d'eau lors de tempêtes



# La relocalisation des enjeux est-elle évitable?

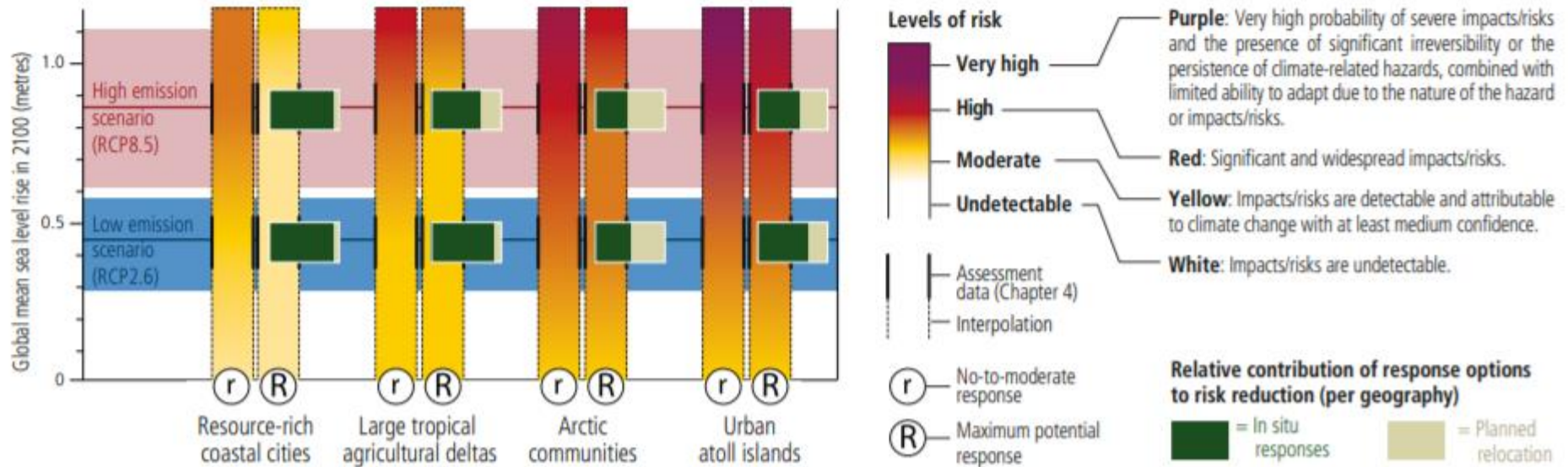
Planifier la relocalisation nécessitera:

- une expertise aux niveaux locaux/régionaux
- une gouvernance adaptée

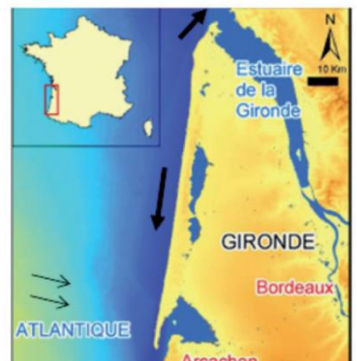


**(a) Risk in 2100 under different sea level rise and response scenarios**

Risk for illustrative geographies based on mean sea level changes (*medium confidence*)



# La relocalisation, qu'elle soit planifiée ou non, reste une solution d'adaptation peu consensuelle aujourd'hui



# Les zones côtières sont exposées à d'autres manifestations du changement climatique

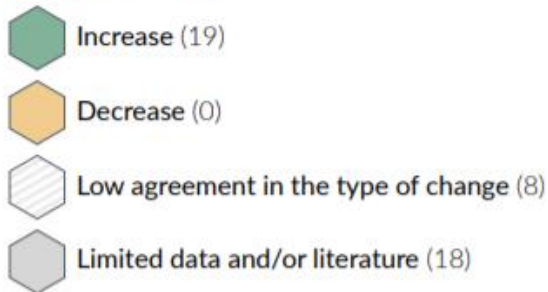
AR6-WG1 (Juillet 2021)

## Exemple: pluies intenses

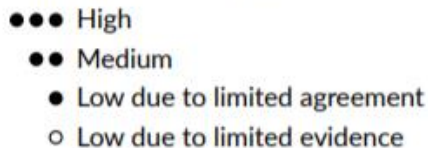
Dans la plupart des régions où des observations sont disponibles, les précipitations extrêmes sont devenues plus fréquentes et plus intenses.

Le changement climatique d'origine anthropique en est vraisemblablement le driver principal (*probabilité* > 2/3)

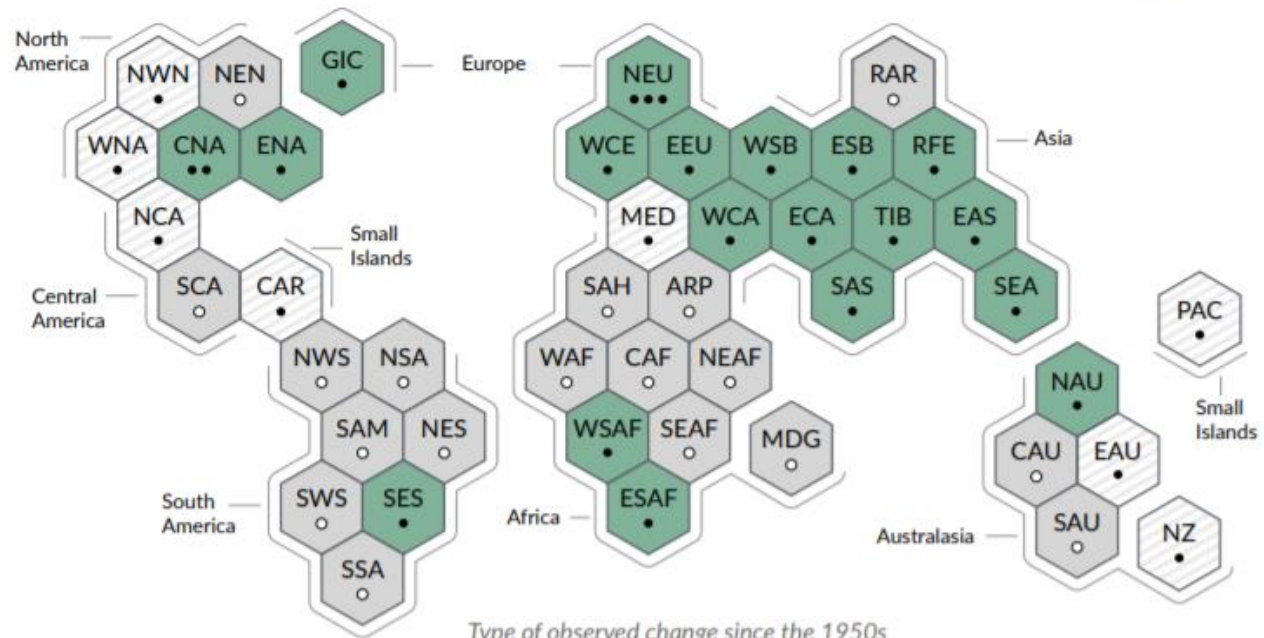
### Type of observed change in heavy precipitation



### Confidence in human contribution to the observed change



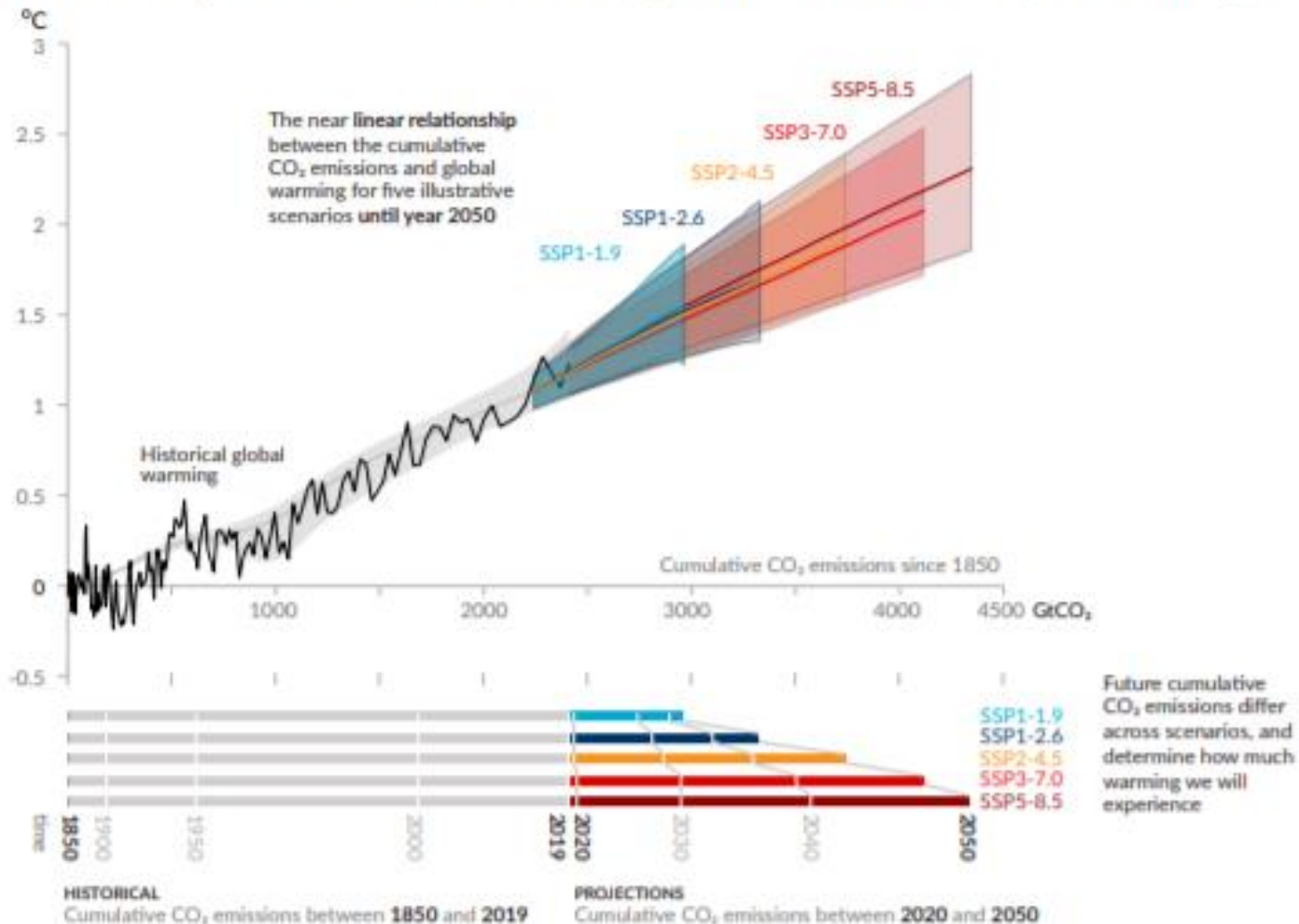
### b) Synthesis of assessment of observed change in heavy precipitation and confidence in human contribution to the observed changes in the world's regions



# L'adaptation doit s'effectuer dans un contexte où le budget CO<sub>2</sub> restant est très limité

## Every tonne of CO<sub>2</sub> emissions adds to global warming

Global surface temperature increase since 1850-1900 (°C) as a function of cumulative CO<sub>2</sub> emissions (GtCO<sub>2</sub>)





## En résumé

---

- Ne pas dépasser 2°C est crucial pour se donner des chances que l'élévation du niveau de la mer se stabilise au 21<sup>e</sup> siècle
- Atténuer le changement climatique permet de se donner du temps pour s'adapter aux effets inévitables de l'élévation du niveau de la mer

L'adaptation est devenue urgente:

- Les impacts de l'élévation du niveau de la mer commencent à être visibles
- Planifier l'adaptation prend des décennies
- L'exposition et la vulnérabilité ont tendance à augmenter

*L'adaptation peut se concevoir comme une opportunité pour mieux gérer les zones côtières.*



Teignmouth, UK, 2013

MERCI DE VOTRE ATTENTION

Gonéri LE COZANNET  
[g.lecozannet@brgm.fr](mailto:g.lecozannet@brgm.fr)

Journée scientifique et technique du  
Comité Français de Mécanique des Sols  
et de Géotechnique

9 décembre 2021



Géosciences pour une Terre durable

**brgm**

# References

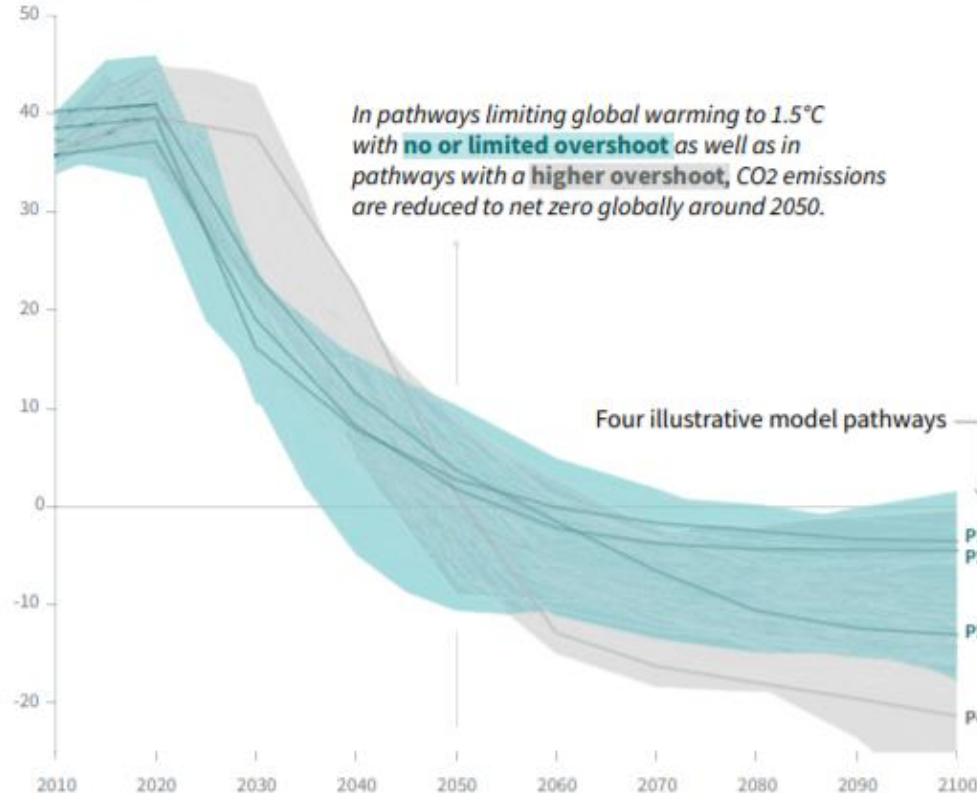
---

- Brown, S., et al. "Shifting perspectives on coastal impacts and adaptation." *Nature Climate Change* 4.9 (2014): 752-755.
- Clark, P., et al. "Consequences of twenty-first-century policy for multi-millennial climate and sea-level change." *Nature climate change* 6.4 (2016): 360-369.
- Cooper, J. A. G., et al. "Coastal defences versus coastal ecosystems: a regional appraisal." *Marine Policy* 111 (2020): 102332.
- Haasnoot, M., et al. "Long-term sea-level rise necessitates a commitment to adaptation: A first order assessment." *Climate Risk Management* (2021): 100355.
- Hinkel, J., et al. "Meeting user needs for sea level rise information: a decision analysis perspective." *Earth's Future* 7.3 (2019): 320-337.
- Le Cozannet, G., et al. "Space-based Earth observations for disaster risk management." *Surveys in geophysics* 41.6 (2020): 1209-1235.
- Le Cozannet, G., et al. "Quantifying uncertainties of sandy shoreline change projections as sea level rises." *Scientific reports* 9.1 (2019): 1-11.
- Le Cozannet, G., et al. "Sea level change and coastal climate services: The way forward." *Journal of Marine Science and Engineering* 5.4 (2017): 49.
- Lionello, P., et al. "Venice flooding and sea level: past evolution, present issues, and future projections (introduction to the special issue)." *Natural Hazards and Earth System Science* 21.8 (2021): 2633-2641.
- Marzeion, B., and A. Levermann. "Loss of cultural world heritage and currently inhabited places to sea-level rise." *Environmental Research Letters* 9.3 (2014): 034001.
- McEvoy, S., et al. "How are European countries planning for sea level rise?." *Ocean & Coastal Management* 203 (2021): 105512.
- Mel, R., et al. "How long the Mo. SE barriers will be effective in protecting all the urban settlements in the Venice lagoon? The wind setup constraint." *Coastal Engineering* (2021): 103923.
- Nicholls, R., et al. "Coastal landfills and rising sea levels: A challenge for the 21st century." *Frontiers in Marine Science* (2021).
- Reimann, L., et al. "Mediterranean UNESCO World Heritage at risk from coastal flooding and erosion due to sea-level rise." *Nature communications* 9.1 (2018): 1-11.
- Sharples, C., et al. "Ocean Beach, Tasmania: A swell-dominated shoreline reaches climate-induced recession tipping point?." *Marine Geology* 419 (2020): 106081.
- Stammer, D., et al. "Framework for high-end estimates of sea level rise for stakeholder applications." *Earth's Future* 7.8 (2019): 923-938.
- Sweet, W., et al. "Sea level rise and nuisance flood frequency changes around the United States." (2014).

# Tenir l'objectif de 1,5°C suppose que la capture et le stockage de CO<sub>2</sub> excède les émissions vers 2050

## Global total net CO<sub>2</sub> emissions

Billion tonnes of CO<sub>2</sub>/yr



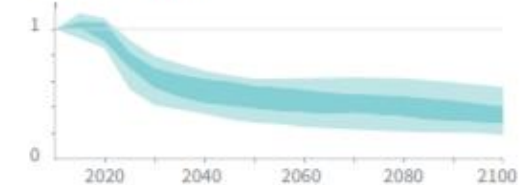
Timing of net zero CO<sub>2</sub>  
Line widths depict the 5-95th percentile and the 25-75th percentile of scenarios



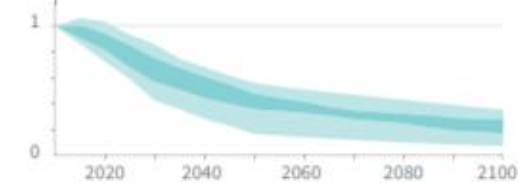
## Non-CO<sub>2</sub> emissions relative to 2010

Emissions of non-CO<sub>2</sub> forcers are also reduced or limited in pathways limiting global warming to 1.5°C with **no or limited overshoot**, but they do not reach zero globally.

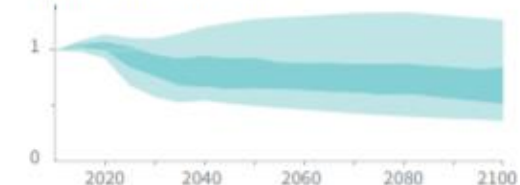
### Methane emissions



### Black carbon emissions



### Nitrous oxide emissions



# COMPARER LE CHANGEMENT CLIMATIQUE ACTUEL AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES PRECEDENTS

