

# COMMENT L'AUGMENTATION DU NIVEAU MARIN RISQUE T'ELLE D'IMPACTER NOS CÔTES ?

Sylvestre LE ROY  
02 Décembre 2019



## Changement climatique et augmentation du niveau de la mer

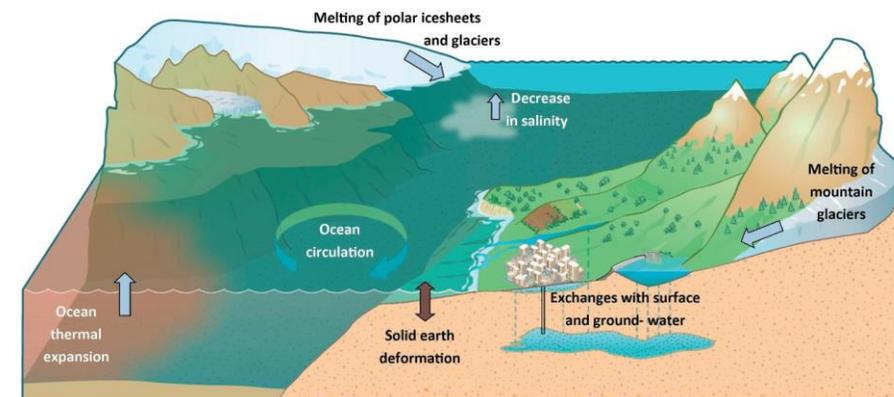
# Les causes de l'élévation du niveau de la mer



### Sous l'effet du réchauffement climatique...

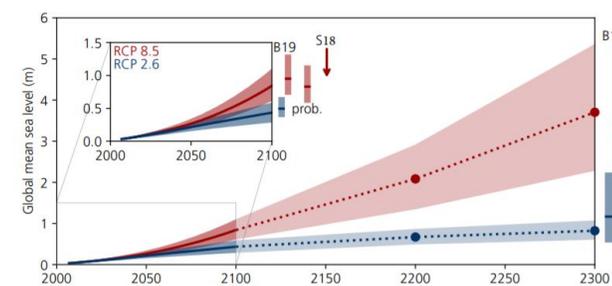
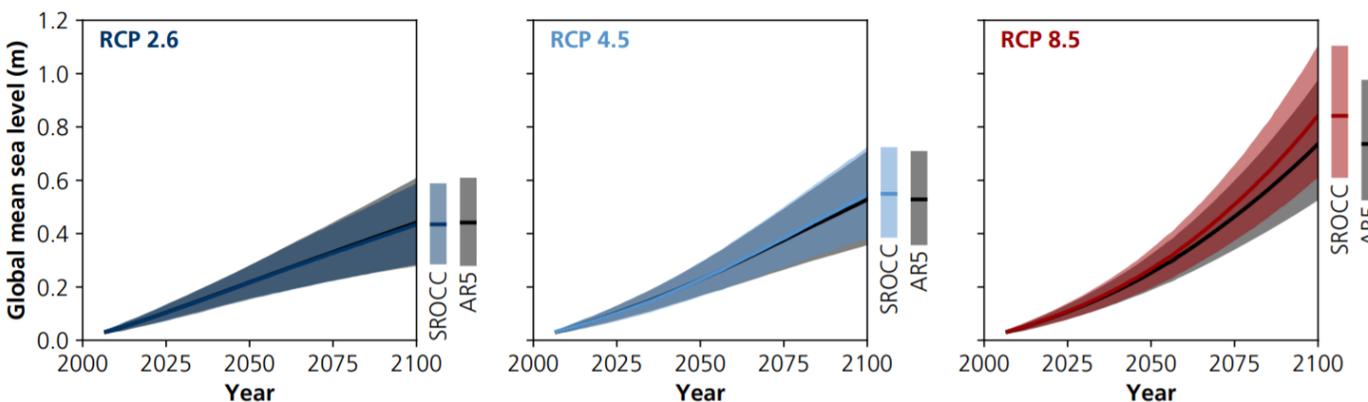
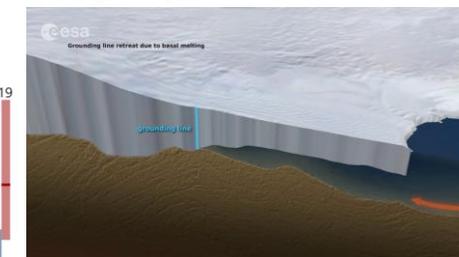
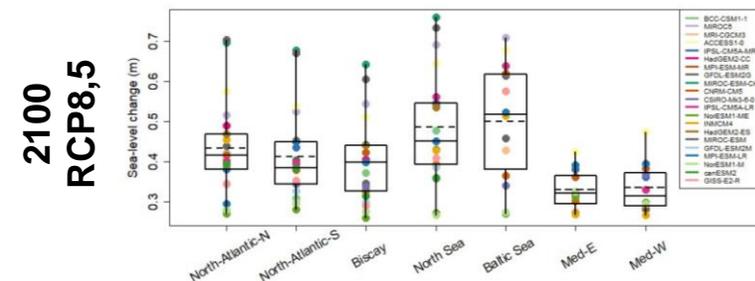
- Expansion thermique des océans
- Fonte des glaciers et des calottes glaciaires
- Fonte des calottes du Groenland et de l'Antarctique

⇒ **Montée du niveau marin**



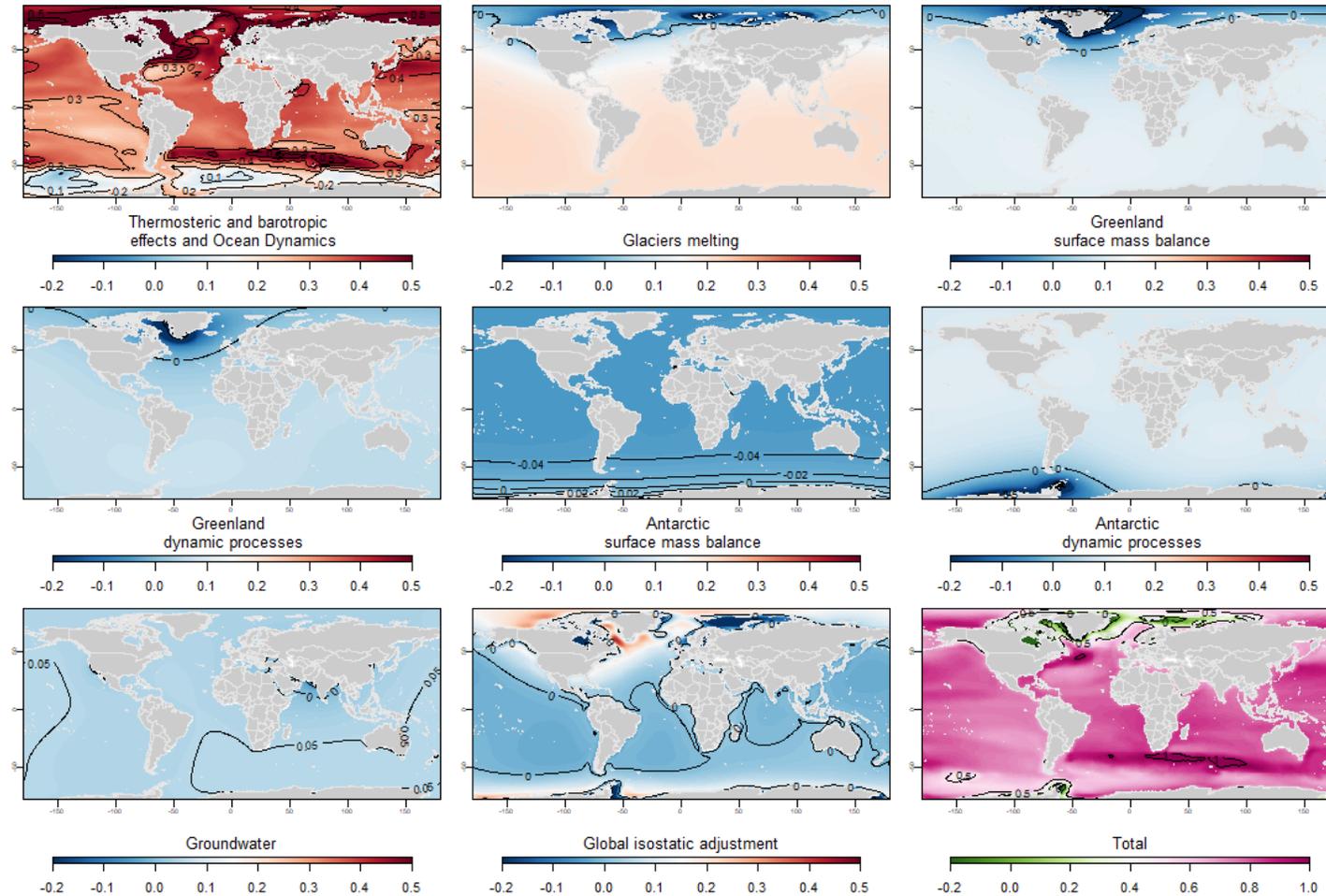
### De combien l'océan peut il monter ?

- Des incertitudes restant importantes (phénomènes de déstabilisation...)
- GIECC 2019: Première prise en compte de la déstabilisation des calottes antarctiques => Niveaux revus à la hausse d'une dizaine de centimètres)
- Une augmentation qui va continuer pendant des siècles



# Les causes de l'élévation du niveau de la mer

AR5 RPC8.5  
2100



## Changement climatique et augmentation du niveau de la mer

# La montée du niveau de la mer sur nos côtes

### Exemple des observations au marégraphe de Brest

- Premières mesures disponibles dans les années 1710
- Thèse de N. Pouvreau (2008):
  - Augmentation des hauteurs de PM de  $0,86 \pm 0,03$  mm/an
  - Accélération de l'ordre de  $0,002$  mm/an<sup>2</sup>
- Élévation du niveau de la mer de 30 cm depuis les premières mesures (années 1710)



Source: Pouvreau N. - Trois cents ans de mesures marégraphiques en France : outils, méthodes et tendances des composantes du niveau de la mer au port de Brest. Climatologie. Université de La Rochelle, 2008.

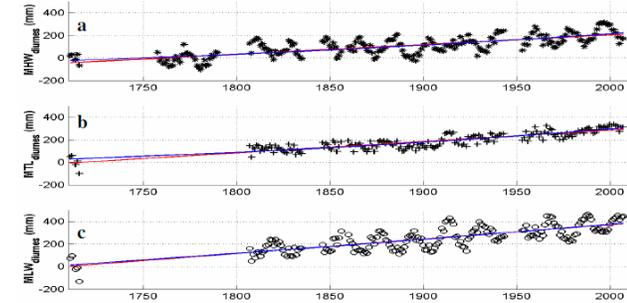
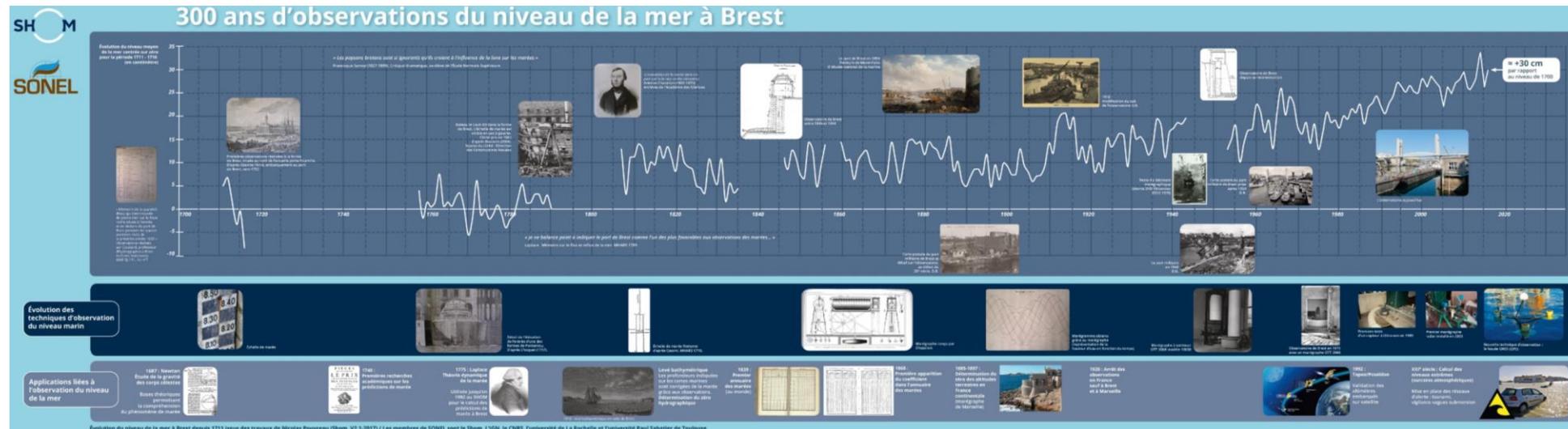


Fig. 8.13 – Moyennes annuelles des niveaux de la mer à Brest depuis 1711 : a) pleines mers diurnes (MHW<sub>diurnes</sub>) ; b) niveaux moyens diurnes de la marée (MTL<sub>diurnes</sub>) ; c) basses mers diurnes (MLW<sub>diurnes</sub>). Tendances linéaires en rouge et régressions quadratiques en bleu.

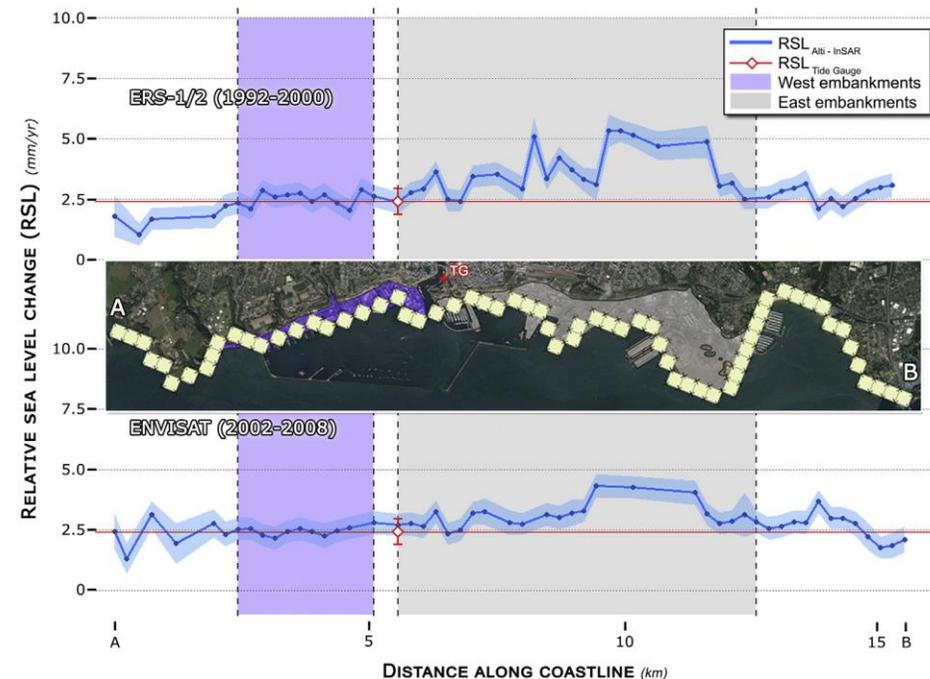


Source: SHOM-Refmar

# La montée du niveau de la mer sur nos côtes

## Exemple des observations au marégraphe de Brest

- Mais attention aux éventuels mouvements tectoniques qui peuvent biaiser les mesures
  - Lenôtre et al. (1999) avait estimé que l'Ouest de la Bretagne présentait une tendance à la surrection (+0,6 à 0,8 mm/an) sur la base de mesures topographiques anciennes
  - Goslin et al. (2015) envisagent une subsidence dans le Finistère (-0,4 à 0,7 mm/an) sur la base d'observations géologiques et de modèles de rebond post-glaciaire
  - A une échelle spatio-temporelle plus courte, Poitevin et al. (2019) estiment que le secteur du marégraphe de Brest est stable, mais que des mouvements verticaux peuvent affecter certains secteurs du port, en utilisant des mesures interférométriques satellitaires (InSAR)



Source: Poitevin et al. (2019)

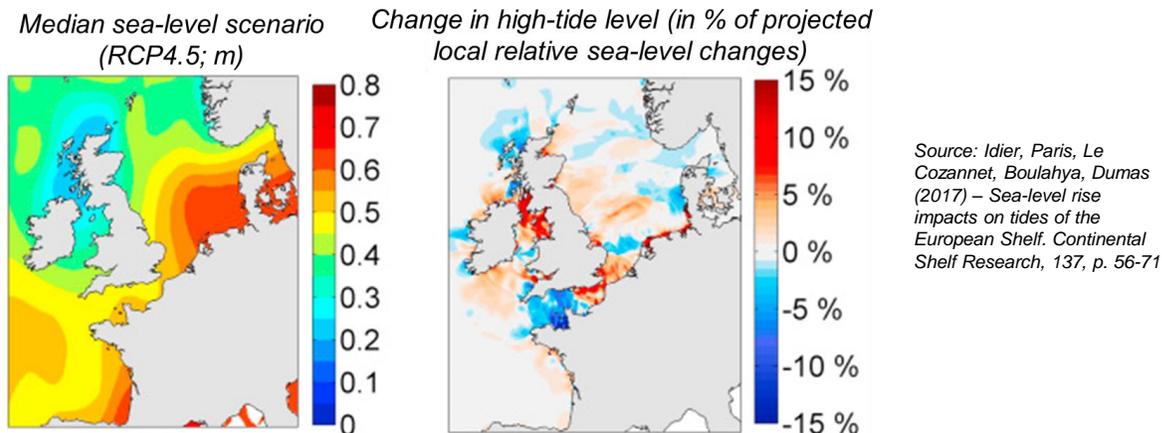
Références:  
Lenôtre N., Thierry P., Blanchin R., Brochard G. (1999) – Current vertical movement demonstrated by comparative levelling in Brittany (northwestern France). *Tectonophysics*, 301, p. 333-344  
Goslin J., Van Vliet Lanoë B., Spada G., Bradley S., Tarasov L., Neill S., Suarez S. (2015) – A new Holocene relative sea-level curve for western Brittany (France): Insights on isostatic dynamics along the Atlantic coasts of north-western Europe. *Quaternary Science Reviews*, 129, p. 341-365  
Poitevin C., Wöppelmann G., Raucoules D., Le Cozannet G., Marcos M., Testut L. (2019) – Vertical land motion and relative sea level changes along the coastline of Brest (France) from combined space-borne geodetic methods. *Remote Sensing of Environment*, 22, p. 275-285

## La montée du niveau de la mer sur nos côtes



### Effets attendus sur les côtes bretonnes

- A échéance 2100, élévation du niveau de la mer de 0,45 à 0,55 m
- Une amplitude des marées réduite en Bretagne Nord et très légèrement augmentée en Bretagne Sud



Collaborations: COWCLIP, Ifremer, CNRM, CNES/LEGOS, Mercator, ...

- Etude prospective des climats de houle (base BOBWA: [bobwa.brgm.fr](http://bobwa.brgm.fr)):
  - En été, baisse des HS et des Tp
  - En Automne/Printemps, légère baisse des HS et des Tp
  - En Hiver, tendances moins marquées

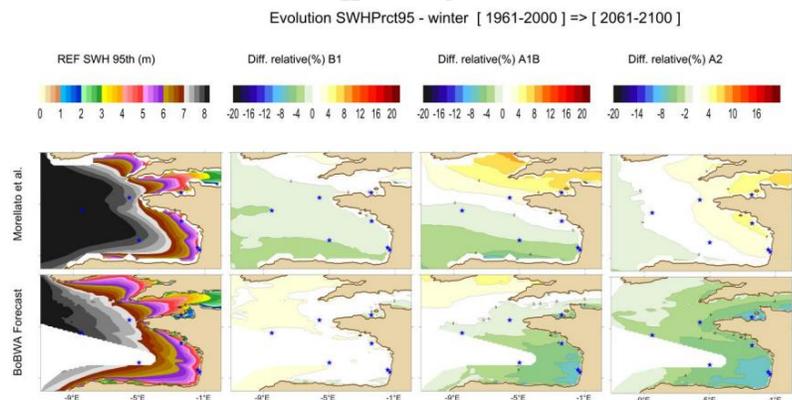


Figure 51 - Cartes d'évolutions relatives des quantiles 95 des hauteurs de vagues hivernales (Hs-95) pour les trois scénarios de GES entre 2061-2100 et 1961-2000.

Source: Lecacheux S., Paris F., Le Cozannet G. (2013) *Projet Climats de houle phase 1: Intercomparaison de simulations rétrospectives et prospectives dans le Golfe de Gascogne. Rapport final BRGM/RP-61651-FR.*

Base BOBWA ([bobwa.brgm.fr](http://bobwa.brgm.fr)): Charles E., Idier D., Delecluse P., Déqué M., Le Cozannet G. (2013) *Impact du changement climatique sur les vagues et la dérive littorale le long du littoral aquitain. La Houille Blanche*, 6, 26-33.

Charles E. (2012) *Impact du changement climatique sur le climat de vagues en zone côtière, par régionalisation dynamique: application à la côte aquitaine, Mémoire de thèse, Univ. de Toulouse*

Charles E., Idier D., Delecluse P., Déqué M., Le Cozannet G. (2012) *Climate change impact on waves in the Bay of Biscay, France. Ocean Dynamics*, DOI 10.1007/s10236-012-0534-8.

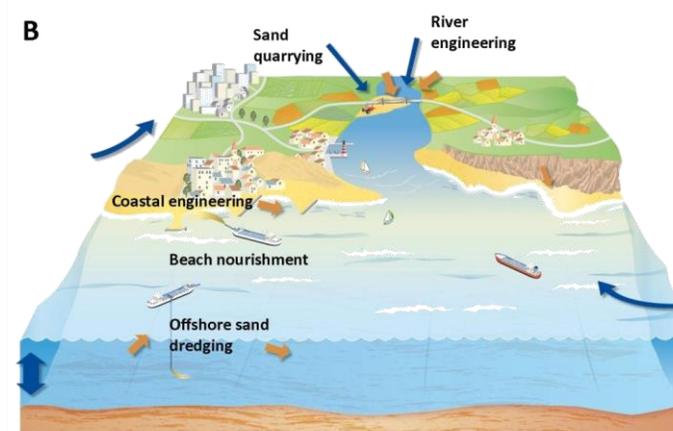
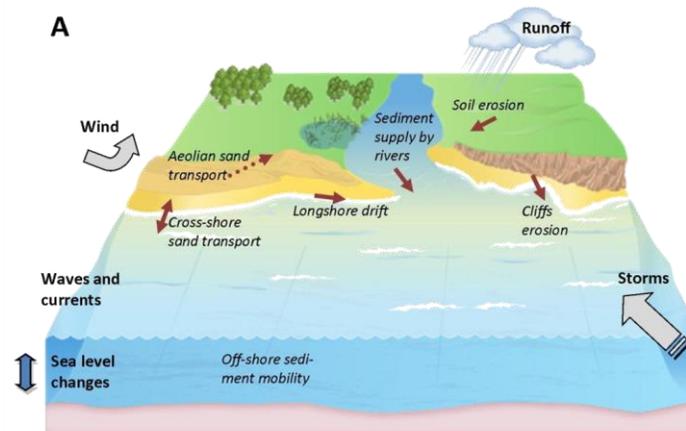
# Les conséquences de l'élévation du niveau de la mer

## En termes de submersion marine...

- Augmentation de la fréquence des submersions temporaires pendant les tempêtes (dès le court terme...)
- Des submersions pendant les grandes marées (à moyen terme...)
- Des zones submergées de manière quasi-permanente (à long terme...)

## En termes de recul du trait de côte...

- Indépendamment des phénomènes d'érosion, la position du trait de côte peut reculer automatiquement de par les submersions permanentes
- Phénomènes d'érosion plus difficiles à appréhender de par l'imbrication de nombreux phénomènes naturels et anthropiques locaux



Source: Cazenave et Le Cozannet (2014)

# Les conséquences de l'élévation du niveau de la mer



Selon le « rapport Jouzel » publié en 2015...

- **Observations du niveau de la mer**
  - élévation du niveau de la mer de 0,5 mm/an au cours des 2-3 derniers millénaires
  - Au XX<sup>ème</sup> siècle, accélération à 1,7 +/- 0,2 mm/an (1901-2011) et même 3,2 +/- 0,4 mm/an (1993/2014)
  - Grande variabilité spatiale, mais élévation en métropole seulement légèrement inférieure à la moyenne globale
- **Projections du niveau de la mer**
  - A échelle globale, en 2100, les scénarios prévoient +26 à 55 cm (RCP2,6) et 45 à 82 cm (RCP8,5)
  - Mais nombreuses incertitudes (Groenland et Antarctique)
  - Distribution régionale à affiner selon les nombreux paramètres
- **Impacts**
  - **Sur les submersions marines**
    - Les extrêmes suivent la tendance => conséquence la plus immédiate
  - **Sur l'érosion côtière**
    - Plus difficile à détecter/appréhender (les facteurs hydrodynamiques actuels sont dominants)
  - **Sur les intrusions salines**
    - Conséquences possibles, mais mal connues...
    - Les problèmes de recharge (précipitations, pompages...) pourraient être dominants
  - **Sur les infrastructures côtières et portuaires**
    - Les ouvrages de protection pourraient devoir être réhaussés de 2-3m pour une élévation de +1m
    - Evolution des méthodes de dimensionnement (stochastiques)
    - Anticipation des renforcements/défaillances

<https://www.vie-publique.fr/sites/default/files/rapport/pdf/154000211.pdf>



# Les conséquences de l'élévation du niveau de la mer



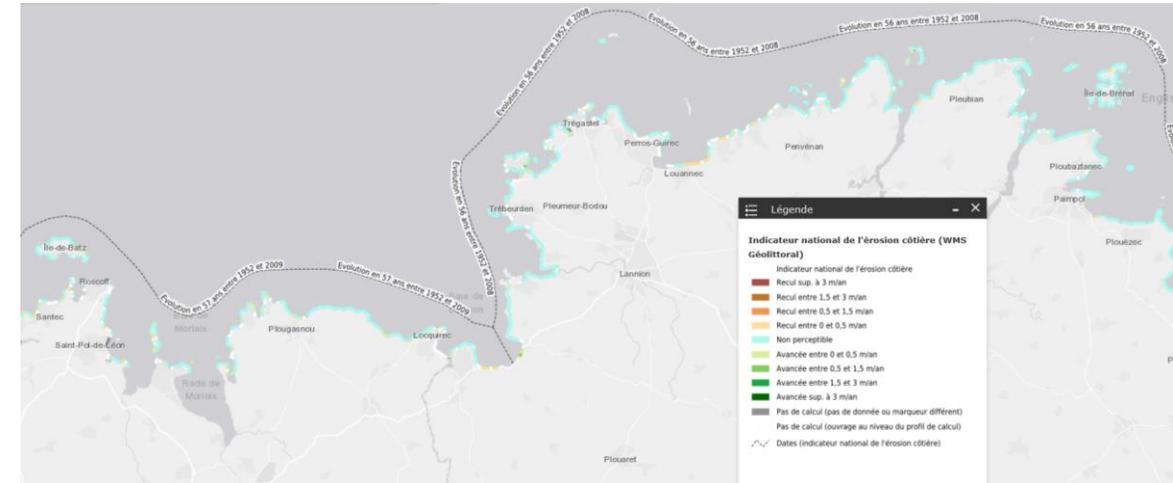
## Quelle prise en compte actuellement pour le recul du trait de côte ?

### Méthodes basées sur l'observation du passé:

- Calcul des taux de recul à partir d'imagerie aérienne ancienne et récente (exemple: INE - CEREMA)
- Projection à différentes échéances

### Exemple des PPRL

- Aléa Recul du Trait de Côte :  $L_r = 100.T_x + L_{max}$
- « *La détermination de l'impact du changement climatique sur le recul du trait de côte n'a pas de caractère obligatoire.* »



Toutefois, sur les côtes meubles, il est prévisible que la montée du niveau de la mer va impacter l'aléa de recul du trait de côte

Etude méthodologique du BRGM (2017-2018), pour la DGPR, afin d'évaluer le recul du trait de côte sous l'effet de l'augmentation du niveau de la mer.

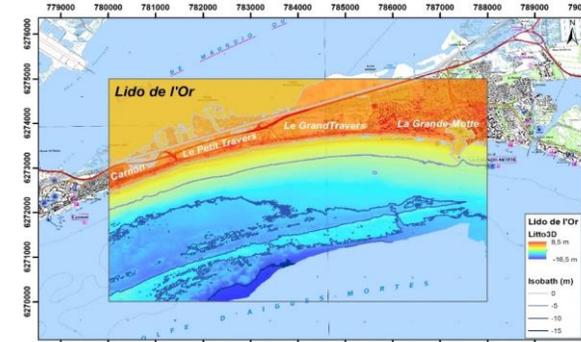
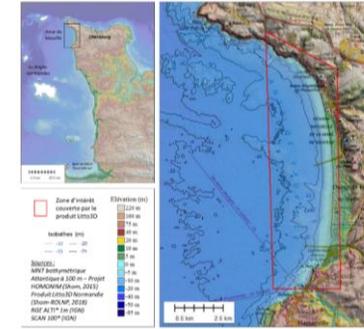
# Changement climatique et augmentation du niveau de la mer

# Les conséquences de l'élévation du niveau de la mer



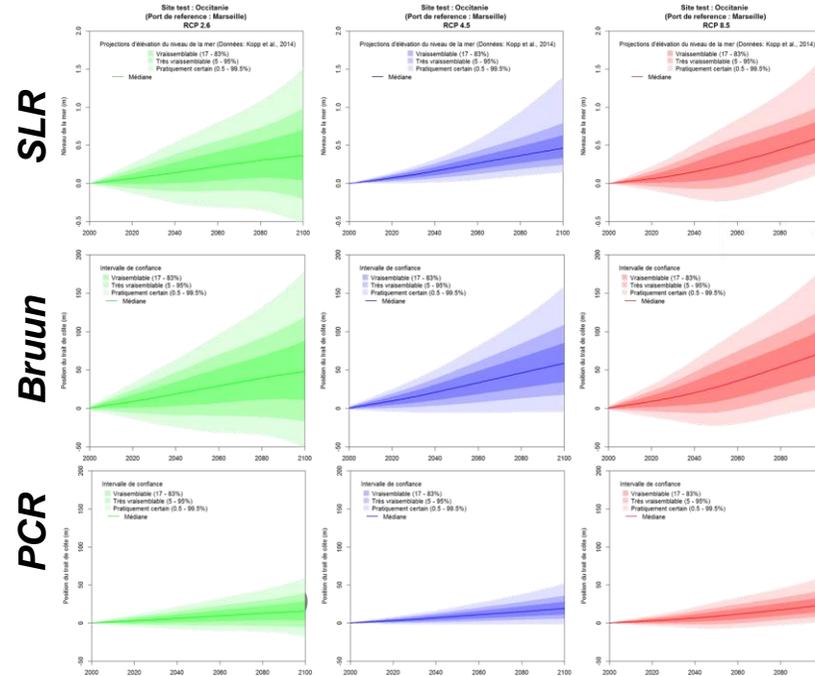
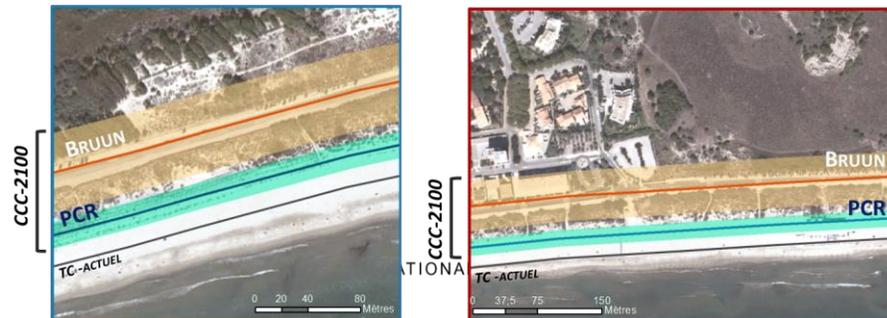
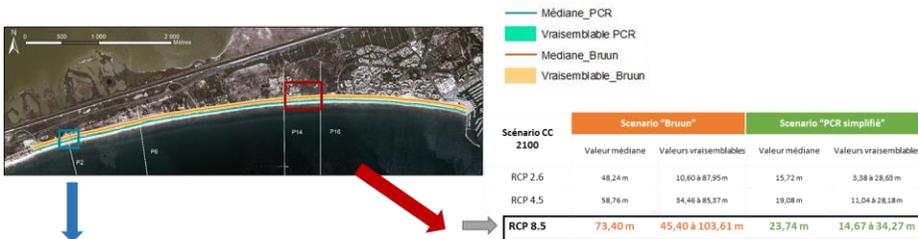
Quelle prise en compte actuellement pour le recul du trait de côte ?

Sites test : Anse de Vauville (50) et Lido de l'Or (34)

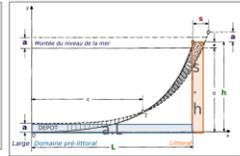


Méthodes: Comparaison de 2 méthodes  
(Loi de Bruun probabiliste et PCR simplifié)

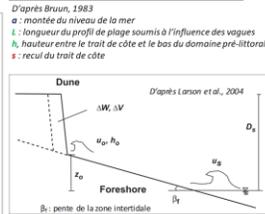
## Résultats



- Loi de Bruun probabiliste
- Scénarios probabilistes de montée du niveau de la mer
- Pentes de plage et leurs incertitudes
- Produit des estimations du recul du trait



- Méta-modèle PCR
- Modèle PCR « complet » (Ranasinghe, 2012)
- Le Cozannet et al. (2019) ont montré que l'érosion maximale du modèle PCR suivait la pente de plage intertidale ( $\beta$ ) définie par le modèle d'impact des vagues de tempête de Larson (2004).
- Méta-modèle PCR
- Scénarios probabilistes de montée du niveau de la mer
- Pentes de plage intertidale et leurs incertitudes
- Produisent des estimations du recul du trait



## Major sources of uncertainties:

- Coastal erosion model
- Sea-level projections
- Greenhouse gaz emissions

# Les conséquences de l'élévation du niveau de la mer



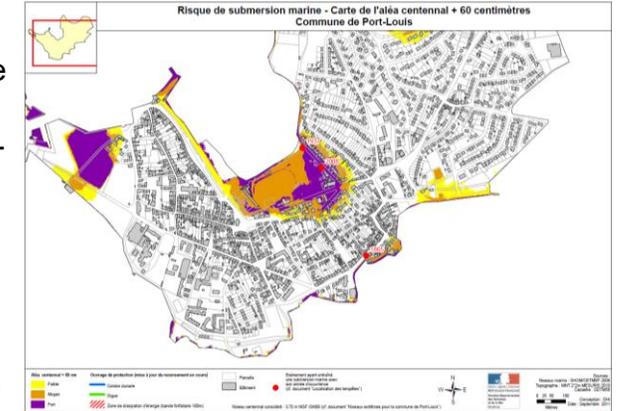
## Quelle prise en compte actuellement pour la submersion ?

Si l'évolution du trait de côte reste difficile à quantifier, les conséquences en termes de submersion marine peuvent d'ores et déjà être appréhendées...

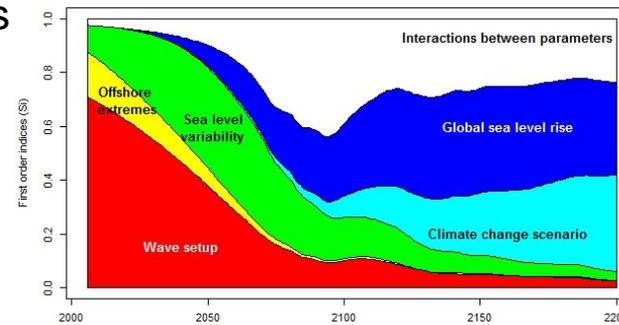
- Identification des « zones basses »

Exemple d'une projection statique sur la commune de Port-Louis, avec un niveau marin centennal + 60 cm (Source: DDTM du Morbihan)

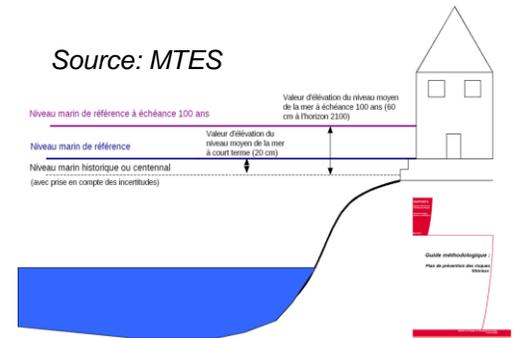
- Aléa faible:**  $H < 0,5m$
- Aléa Moyen:**  $0,5 m < H < 1 m$
- Aléa Fort:**  $H > 1 m$



- Simulations numériques dans le cadre de scénarios  
Mais attention aux sources d'incertitudes...



Source: MTES

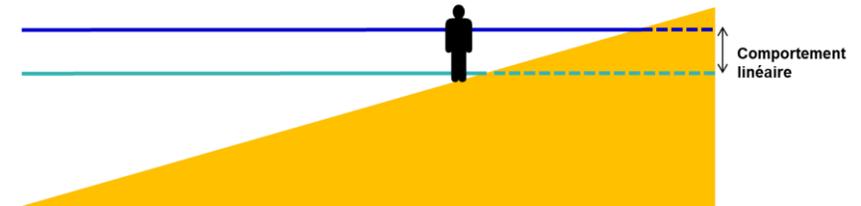


Pour rappel, dans le cadre des Plans de Prévention des Risques Littoraux en France, l'aléa est cartographié en considérant une augmentation du niveau de la mer de 60 cm à échéance 100 ans (et 20 cm pour l'aléa actuel...)

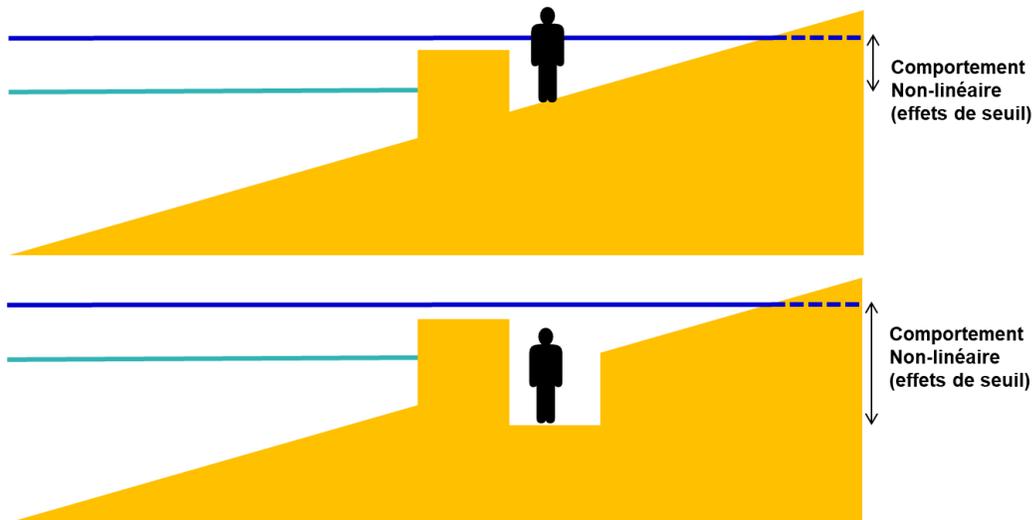
# Les conséquences de l'élévation du niveau de la mer

Les conséquences d'une élévation du niveau de la mer en termes de submersion peuvent être bien plus importantes que cette élévation...

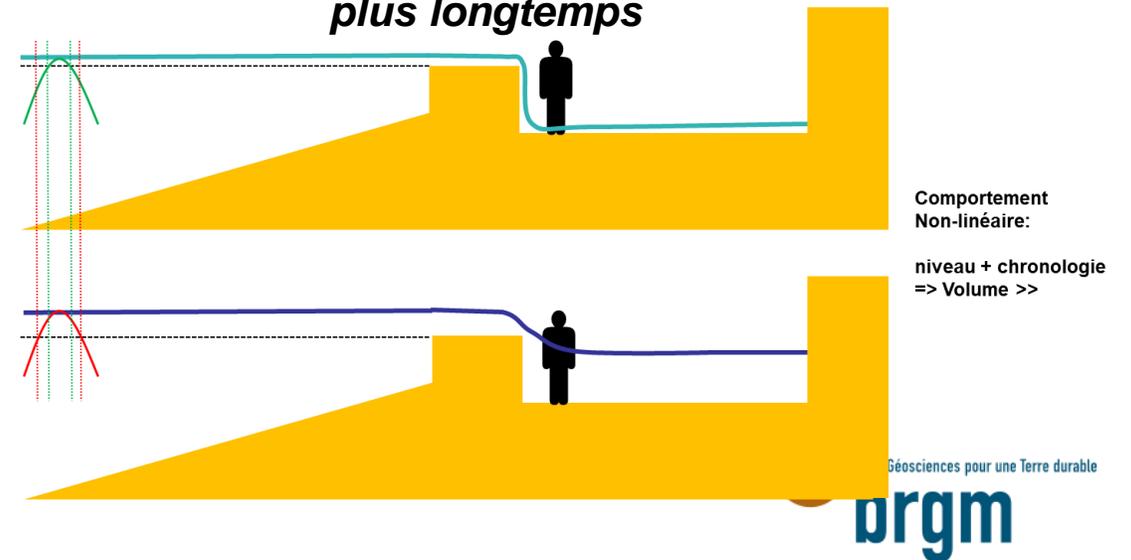
Dans des cas simples, la hauteur de l'inondation peut se comporter linéairement par rapport au niveau marin



*Mais en règle générale, les effets de seuil induisent une inondation très différente de l'élévation du niveau marin...*



*En contexte macrotidal (durée de submersion régie par la marée), non seulement la « lame d'eau » est plus importante, mais elle dure aussi plus longtemps*



# Les conséquences de l'élévation du niveau de la mer

Les conséquences d'une élévation du niveau de la mer en termes de submersion peuvent être bien plus importantes que cette élévation...

## Exemple de la tempête Johanna (10/03/2008) Gâvres

Niveau marin + 10 cm

⇒ + 13 cm à terre

Niveau marin + 20 cm

⇒ + 28 cm à terre

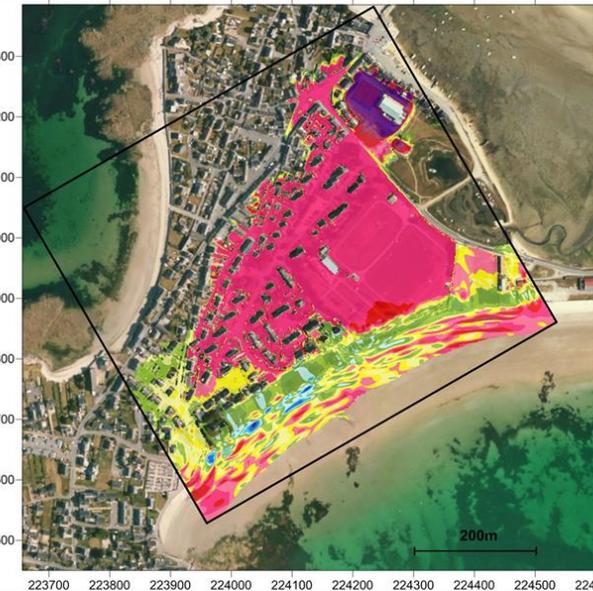
Effet de seuil au niveau du gymnase au Nord:

⇒ +0,8 à +1 m

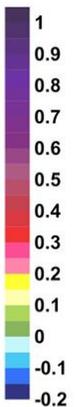
Niveau de la mer + 10cm



Niveau de la mer + 20cm



Augmentation de la hauteur d'eau par rapport à la simulation l'événement réel (m)

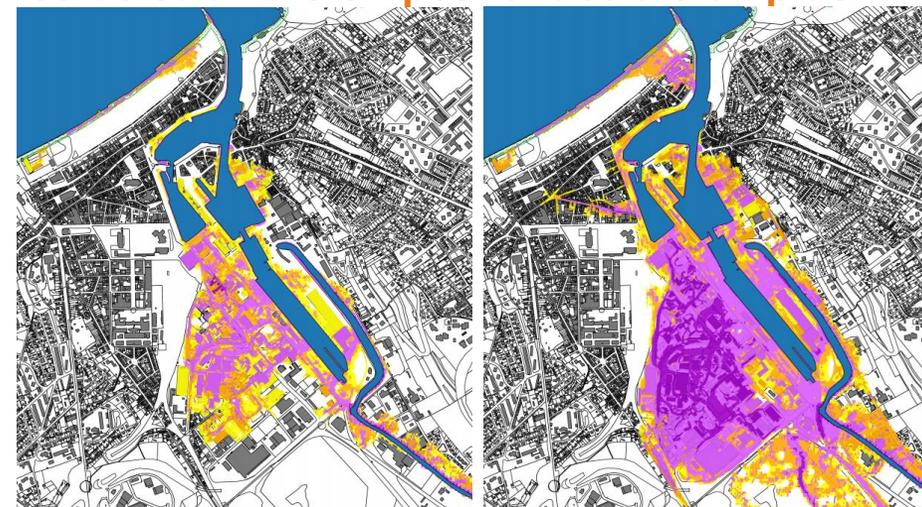


# Les conséquences de l'élévation du niveau de la mer

Les conséquences d'une élévation du niveau de la mer en termes de submersion peuvent être bien plus importantes que cette élévation...

## Exemple en Normandie (Hypothèses PPRL)

Hauteur / Vitesse	$V < 0.2 \text{ m.s}^{-1}$	$0.2 \text{ m.s}^{-1} < V < 0.5 \text{ m.s}^{-1}$	$V > 0.5 \text{ m.s}^{-1}$
$H < 0.5 \text{ m}$	Faible	Modéré	Fort
$0.5 \text{ m} < H < 1 \text{ m}$	Modéré	Modéré	Fort
$H > 1 \text{ m}$	Fort	Fort	Très Fort

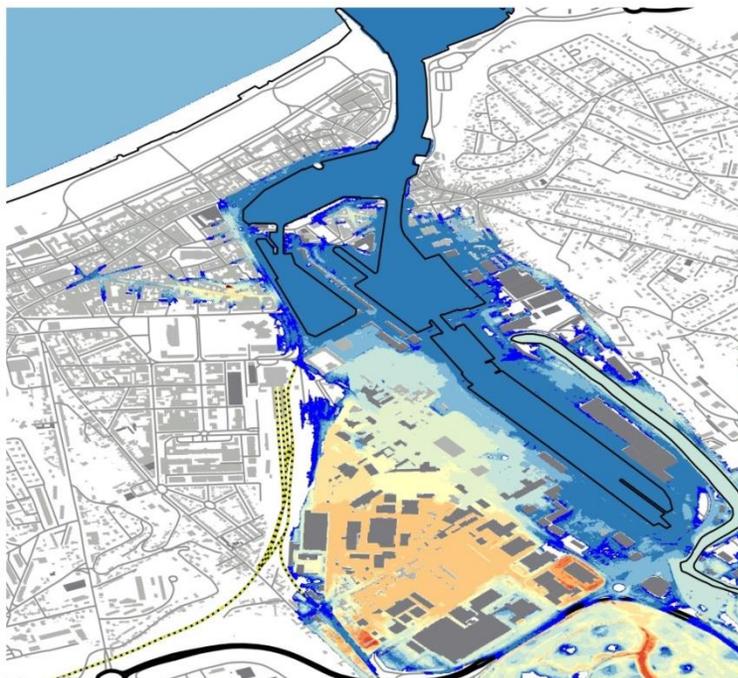


Niveau d'aléa

- Aléa Faible
- Aléa Modéré
- Aléa Fort
- Aléa Très Fort

Aléa actuel

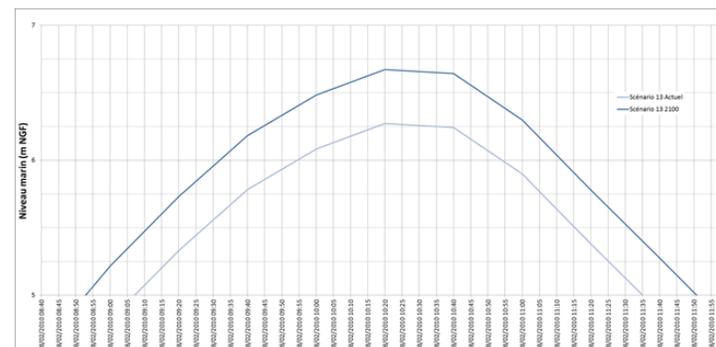
Aléa à échéance 100 ans



Effet de la prise en compte de l'élévation du niveau de la mer

Augmentation de la hauteur d'eau maximale simulée entre les échéances 100 ans et actuelle (niveau marin surélevé de 0.4m)

- Augmentation < 0.2m
- Augmentation de 0.2 à 0.4m
- Augmentation de 0.4 à 0.6m
- Augmentation de 0.6 à 0.8m
- Augmentation de 0.8 à 1m
- Augmentation de 1 à 1.2m
- Augmentation de 1.2 à 1.4m
- Augmentation de 1.4 à 1.6m
- Augmentation de 1.6 à 1.8m
- Augmentation de 1.8 à 2m
- Augmentation de 2 à 2.2m
- Augmentation de 2.2 à 2.4m
- Augmentation > 2.4m



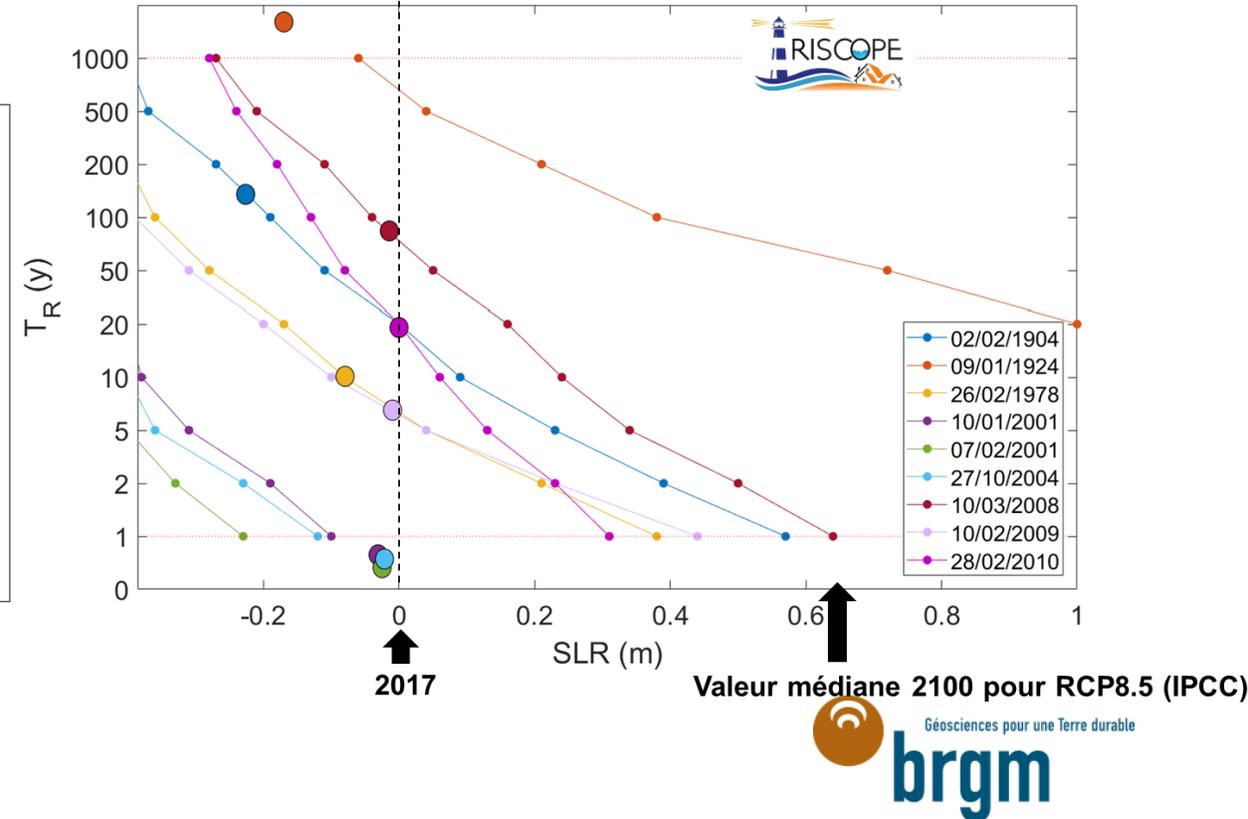
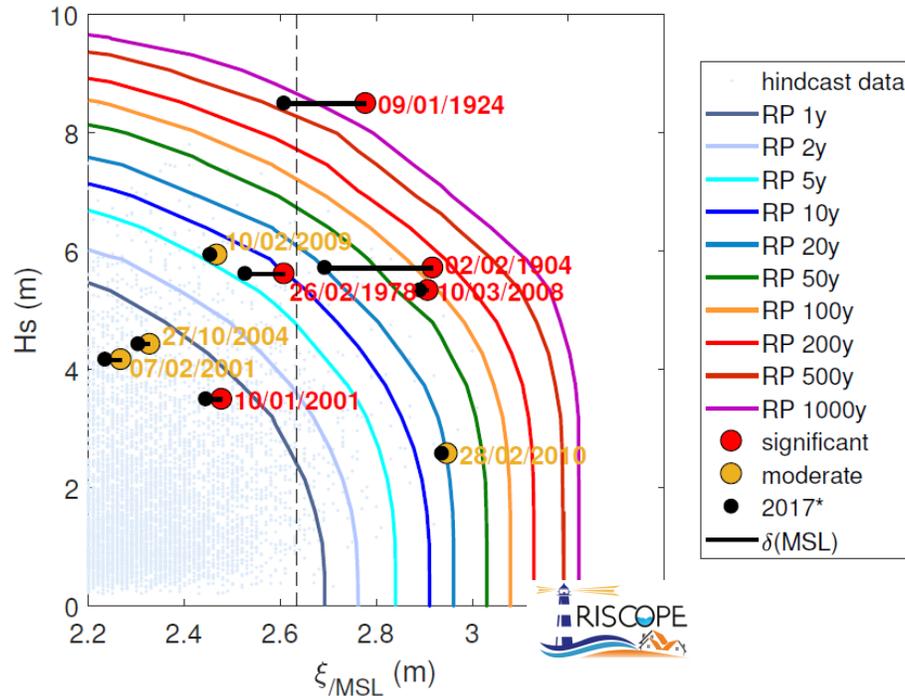
Ech. actuelle: lame max ~30cm pendant 1h  
 Ech 100 ans: lame max ~70cm pendant 1h40

# Les conséquences de l'élévation du niveau de la mer

## Et en termes de périodes de retour des tempêtes ?

- Exemple du projet ANR Riscscope sur Gâvres (travaux en cours...)
  - Base de données des conditions météo-océano depuis 1900
  - Analyse aux probabilités conjointes pour connaître la période de retour **au large** des principales tempêtes
  - Approche simple sur le niveau d'eau: Evolutions des périodes de retour par rapport à l'élévation du niveau de la mer passée et future...

Source:  
 Idier D., Rohmer J., Pedreros R.,  
 Le Roy S., Lambert J., Louisor J.,  
 Le Cozannet G., Le Cornec E. (en  
 révision). Coastal flood: a  
 composite method for past events  
 characterisation providing insights  
 in past, present and future  
 hazards. Joining historical,  
 statistical and modeling  
 approaches., Natural Hazards.

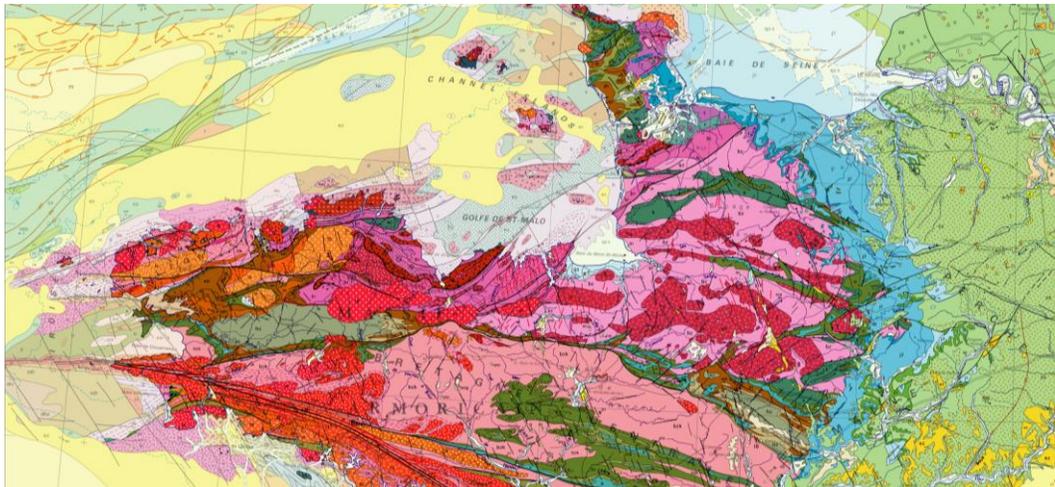




Merci de votre attention !

Le **brgm** en Bretagne

Direction Régionale Bretagne  
2, rue de Jouanet  
35700 RENNES  
Tél. : 02 99 84 26 70



Service géologique  
national



Siège

Tour Mirabeau  
39-43, quai André-Citroën  
75739 Paris Cedex 15 - France  
Tél.: +33 (0)1 40 58 89 00

Centre scientifique et technique  
3, avenue Claude-Guillemin  
BP 36009  
45060 Orléans Cedex 2 - France  
Tél.: +33 (0)2 38 64 34 34

Centre de consultation  
Maison de la Géologie  
77, rue Claude-Bernard  
75005 Paris - France  
Tél.: +33 (0)1 47 07 91 96

