



# GT Tempêtes et Submersions Historiques

4<sup>e</sup> Réunion plénière - 11 & 12 mars 2025



## SIMULATION NUMÉRIQUE DE TEMPÊTES HISTORIQUES SUR DUNKERQUE AVEC LA SUITE OPEN TELEMAC - APPLICATION À LA TEMPÊTE DE 1953 -

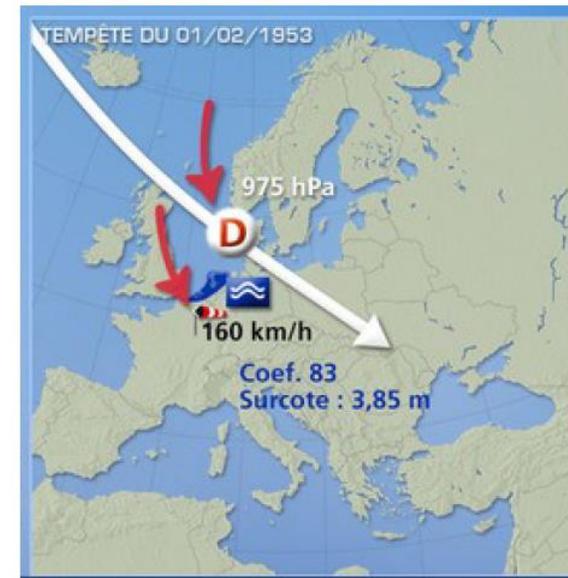
J.-B. SAULNIER (EDF R&D/LNHE)



# Tempête de 1953

Sources : PPRL 2022, Gerritsen (2005)

- Survenue dans la nuit du 31 janvier au 1<sup>er</sup> février, a frappé le nord de la France, la Belgique, les Pays-Bas et le Royaume-Uni
- Vents violents et soutenus de NO, avec des rafales atteignant entre 150 et 180km/h, pression minimale de ~970hPa
- Dégâts considérables et plus de 2500 morts, dont environ 1800 aux Pays-Bas, où une surcote de 3.85m a été enregistrée
- **A Dunkerque:**
  - coefficient de marée de 83 (vive-eau moyenne -)
  - pression minimale de 990hPa
  - Surcote PM estimée entre 2.13m (Bardet *et al.*, 2011), 2.17m (St Crieg *et al.*, 2022) et 2.40m (PPRL, 2022)
  - Niveau maximal de +7.90mCM (+5.77mCM + 2.13m)



*“The strongest surge ever measured (Dunkerque, 213 cm) [...] was observed during the storm of February 1953 and corresponds to an observed high tide level of 7.90m according to the Port Authority Of Dunkerque for a predicted level of 5.77 m (estimate with the harmonic method nowadays used by the SHOM).” (Bardet et al., 2011)*

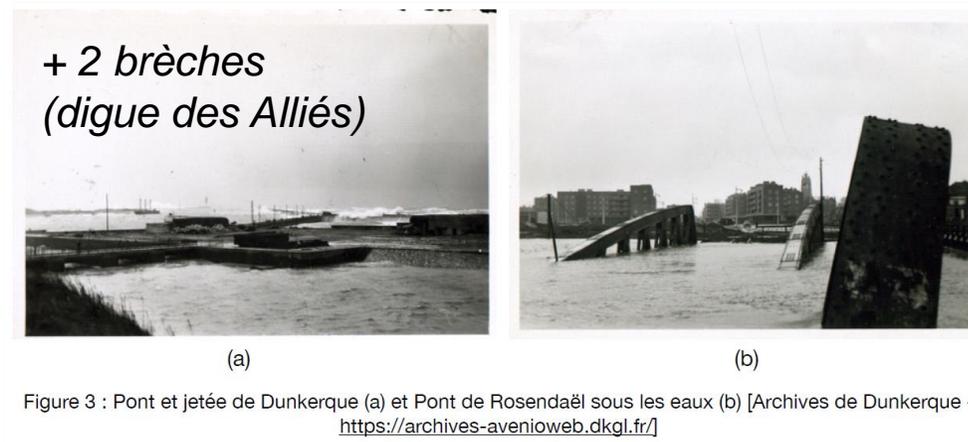


Figure 3 : Pont et jetée de Dunkerque (a) et Pont de Rosendaël sous les eaux (b) [Archives de Dunkerque - <https://archives-avenioweb.dkgl.fr/>]



## Objectifs

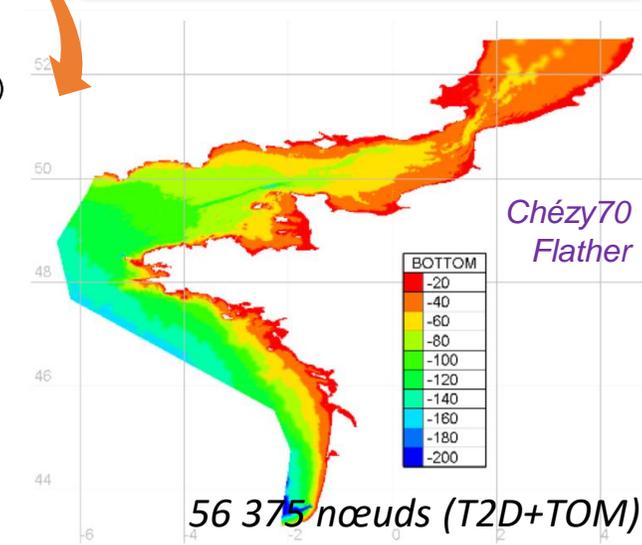
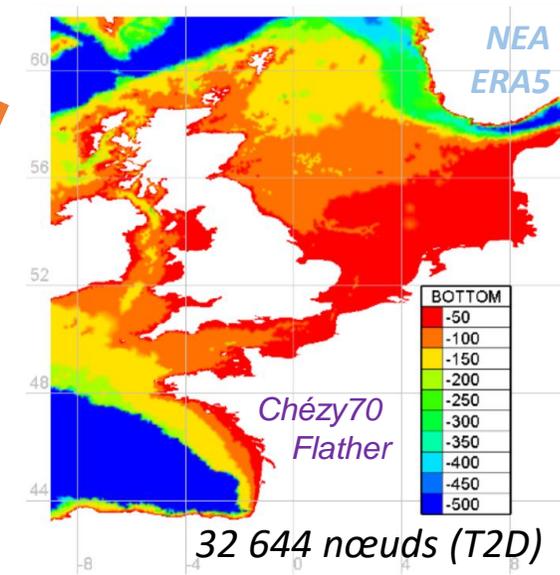
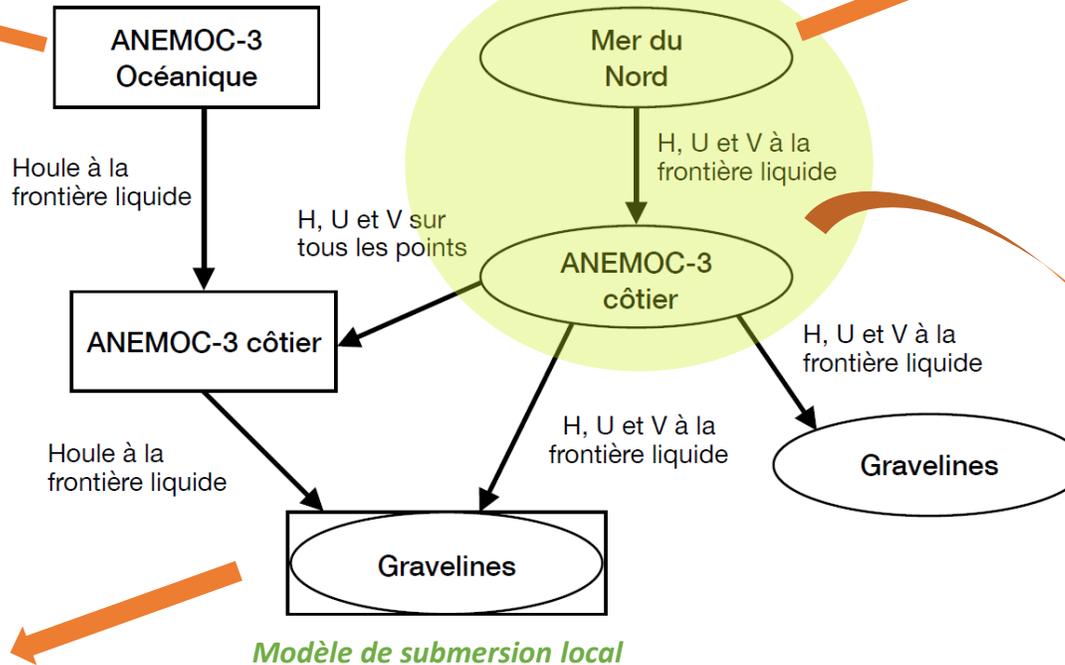
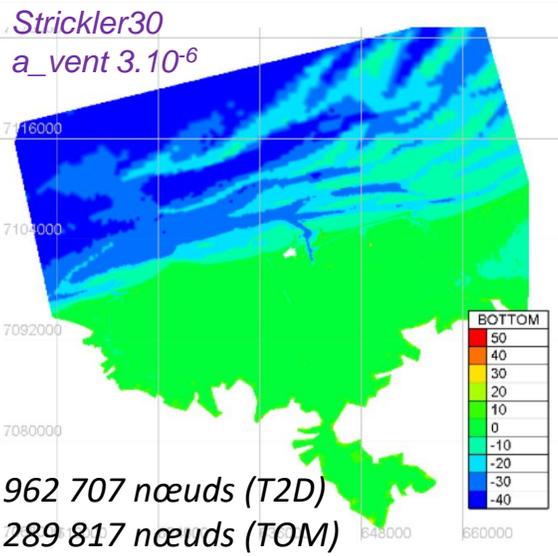
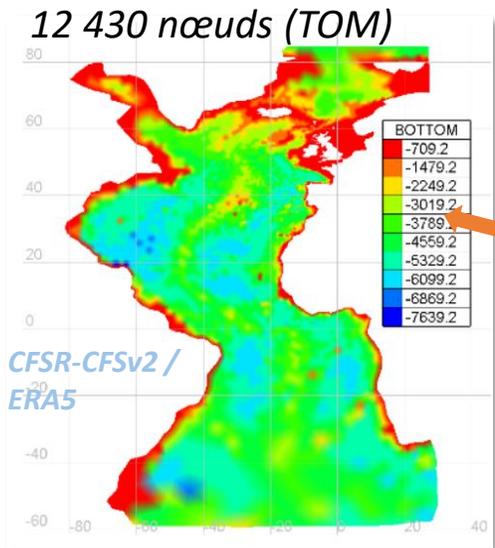
- ❑ Mettre en place une chaîne de calcul avec open TELEMAC permettant de simuler n'importe quelle tempête historique sur Dunkerque dont les forçages sont connus (atmosphériques notamment, *via* la réanalyse ERA5  $\geq$  1940) (validation vs. mesure marégraphique)
- ❑ En particulier, retrouver le niveau d'eau et la dynamique de submersion observés lors de la tempête de 1953
- ❑ Etudier les paramètres potentiellement influents (force et direction du vent, pression, etc.)
- ❑ *In fine*, disposer d'un outil de simulation rétrospective fiable des tempêtes historiques, et comparer les niveaux/surcotes maximaux simulés aux estimations réalisées sur la base d'archives (ex.: Giloy *et al.*, 2019; Athimon *et al.*, 2022)



# Chaîne de modélisation EDF R&D/LNHE



*a minima*



*Modèle de submersion local*

**Légende**

- Tomawac
- Telemac2d
- Tel2tom (option permettant un couplage Telemac2d-Tomawac sur des maillages différents, réduisant les temps de calcul)

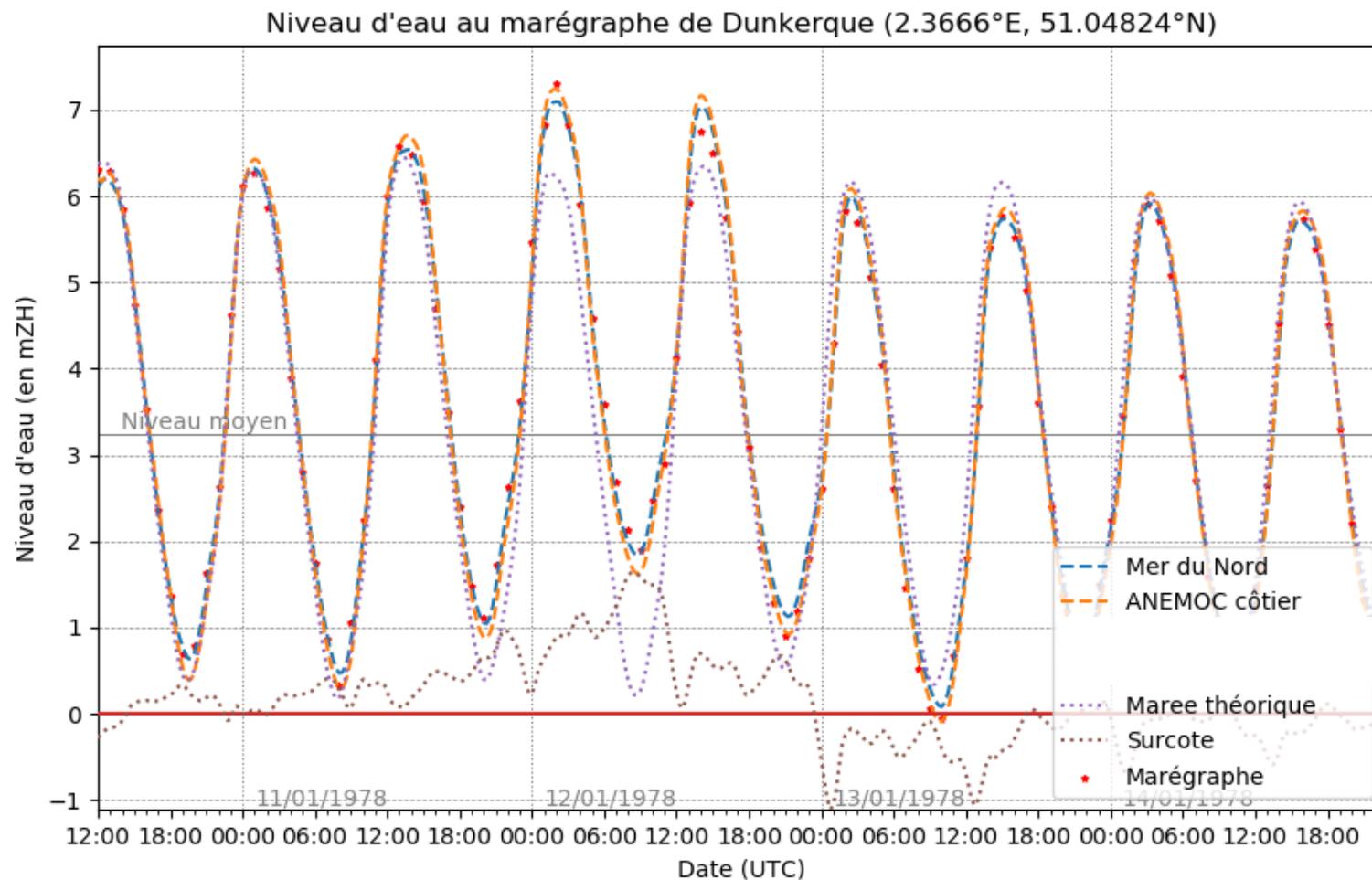


## Performance des modèles en situations de tempête (1)

Tempête de  
1978 (?)

Simulation par défaut avec  
les modèles « Mer du Nord »  
et « ANEMOC-3 côtier » du  
niveau d'eau lors de la  
tempête de 1953 au  
marégraphe de Dunkerque

Forçage ERA5 « brut »

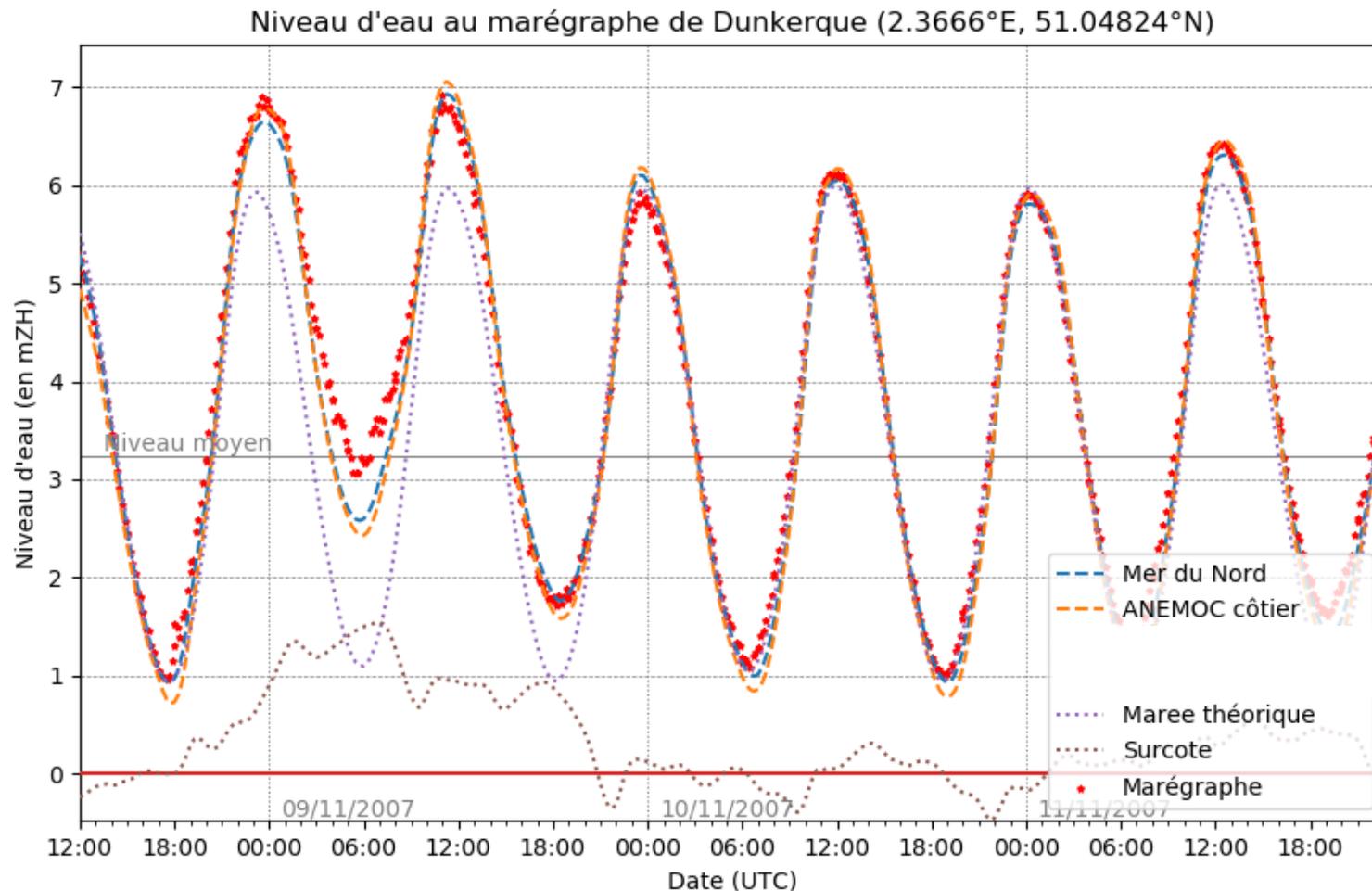


## Performance des modèles en situations de tempête (2)

Tempête de  
2007  
(TILO?)

Simulation par défaut avec  
les modèles « Mer du Nord »  
et « ANEMOC-3 côtier » du  
niveau d'eau lors de la  
tempête de 1953 au  
marégraphe de Dunkerque

Forçage ERA5 « brut »

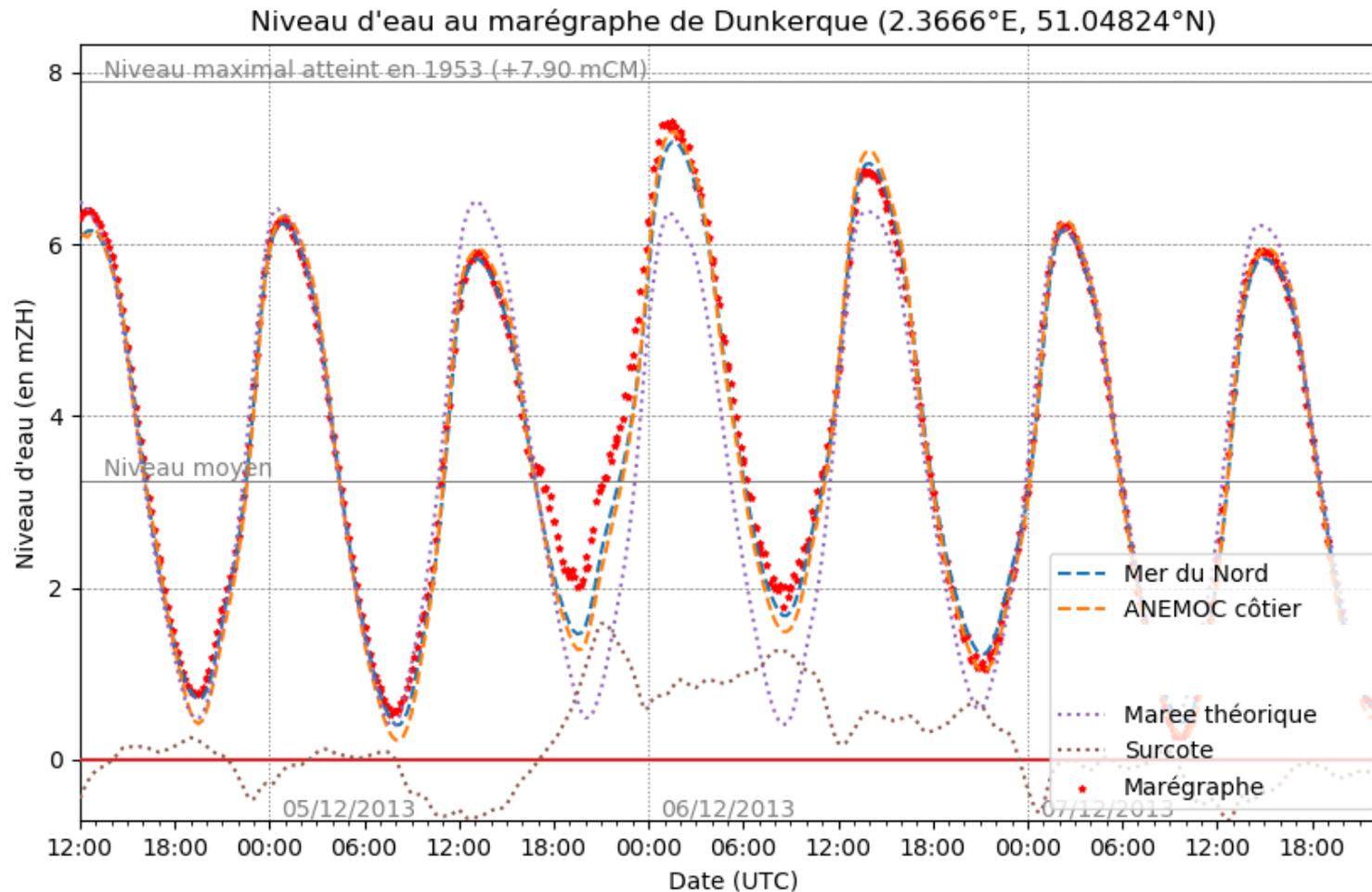


## Performance des modèles en situations de tempête (3)

### Tempête de 2013 (XAVER)

*Simulation par défaut avec  
les modèles « Mer du Nord »  
et « ANEMOC-3 côtier » du  
niveau d'eau lors de la  
tempête de 1953 au  
marégraphe de Dunkerque*

**Forçage ERA5 « brut »**

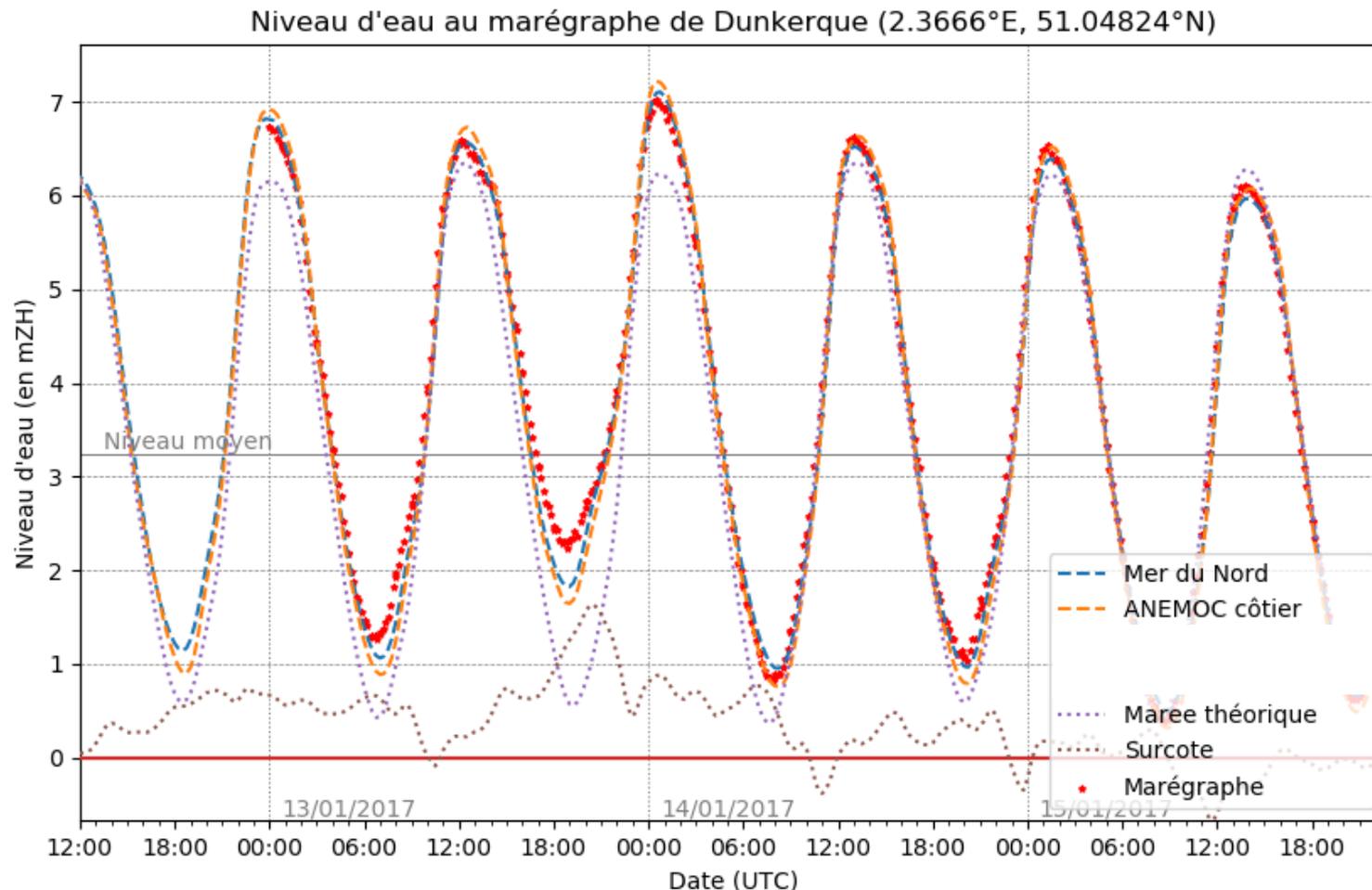


## Performance des modèles en situations de tempête (4)

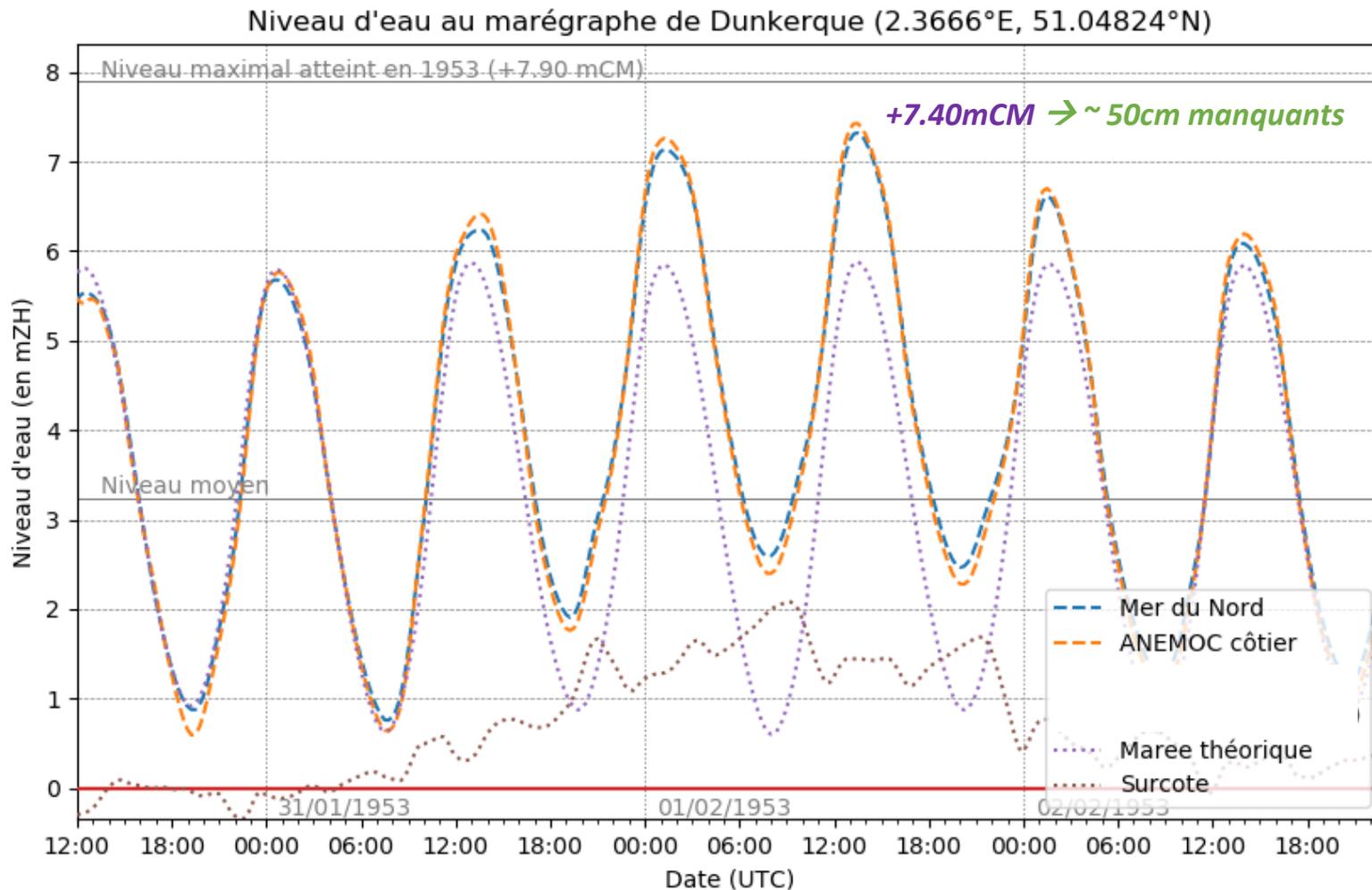
Tempête de  
2017  
(EGON)

Simulation par défaut avec  
les modèles « Mer du Nord »  
et « ANEMOC-3 côtier » du  
niveau d'eau lors de la  
tempête de 1953 au  
marégraphe de Dunkerque

Forçage ERA5 « brut »



## Premières simulations de la tempête de 1953



*Simulation par défaut avec les modèles « Mer du Nord » et « ANEMOC-3 côtier » du niveau d'eau lors de la tempête de 1953 au marégraphe de Dunkerque*

**Forçage ERA5 « brut »**

→ **Forçage ERA5 en 1953 fiable?**

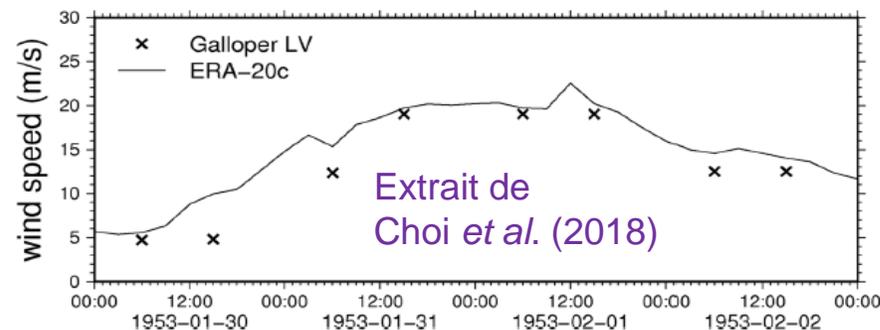
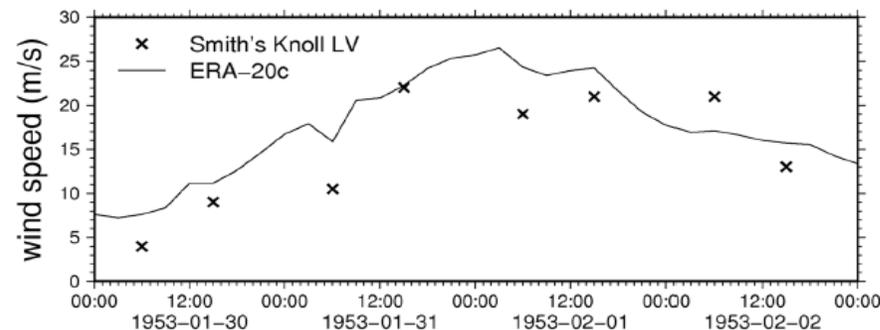
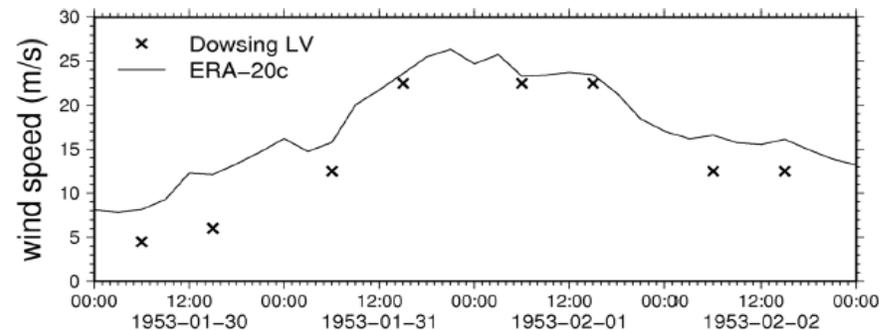
→ **Calage du modèle?**

# Éléments de qualification de la vitesse du vent de type « ERA » en 1953 (1)

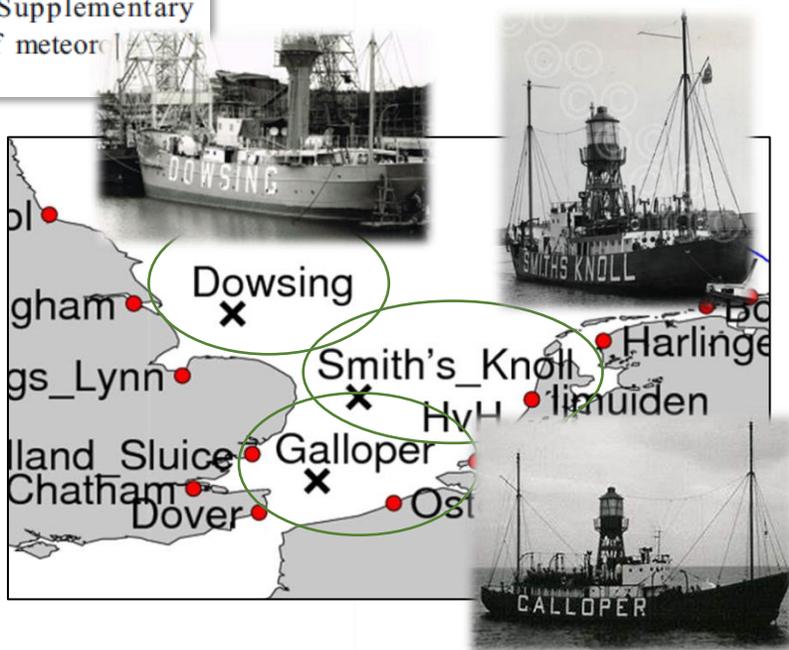
(Choi et al., 2018)

storm surges. To improve the 10 m winds and surface pressure fields further, three variations of ERA-20C reanalysis dataset with constant correction factors of 1.2, 1.35, and 1.5 for winds are also considered in the evaluation process. Based on the evaluation results of meteorological forcing, the ERA-20C reanalysis 10 m winds and pressure fields with a wind correction factor of 1.2 produced the optimum result and is used for numerical experiments in this study. See the Supplementary Information for the evaluation results of meteorological forcing.

Fig. 3 Comparison of model and observed wind speed. ERA-20c is the model wind from the ERA-20C reanalysis data with a constant correction factor of 1.2 applied. Dowsing LV, Smith's Knoll LV, and Galloper LV are observations at the named light vessels (see Fig. 2 for locations)



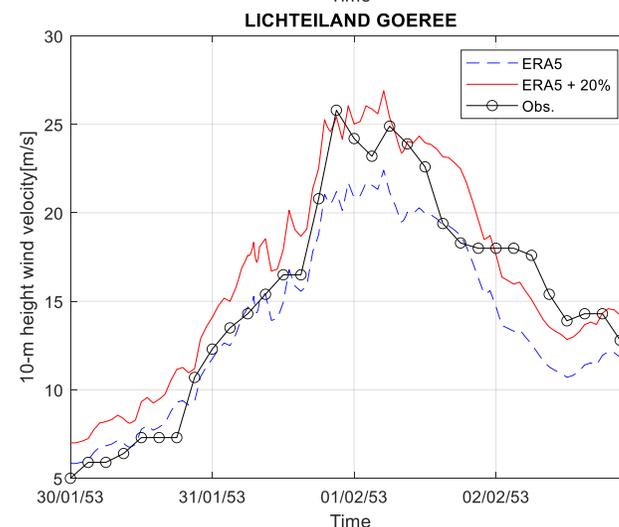
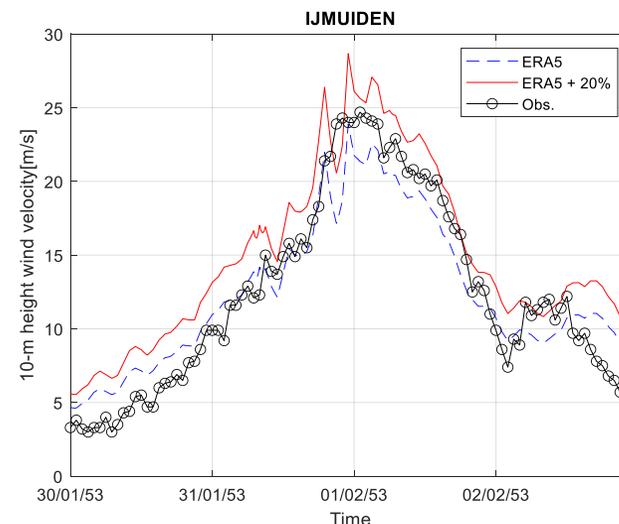
Extrait de Choi et al. (2018)



### Comm. pers. auteurs:

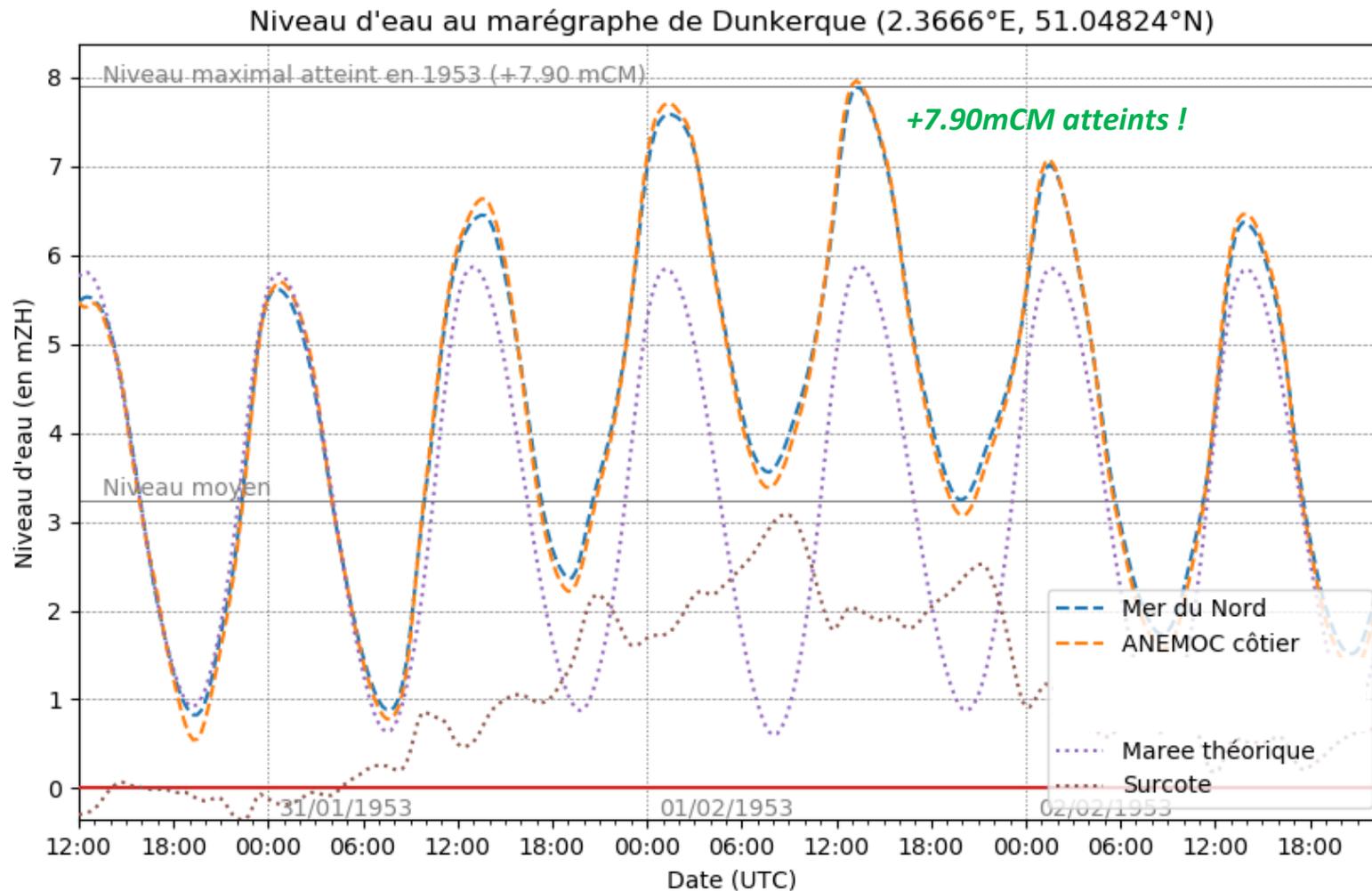
Calage réalisé sur la base des comparaisons avec les résultats d'état de mer (Hm0)

# Éléments de qualification de la vitesse du vent de type « ERA » en 1953 (2)



\* <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/achtergrond/improved-potential-wind-time-series-for-extreme-wind-statistics>

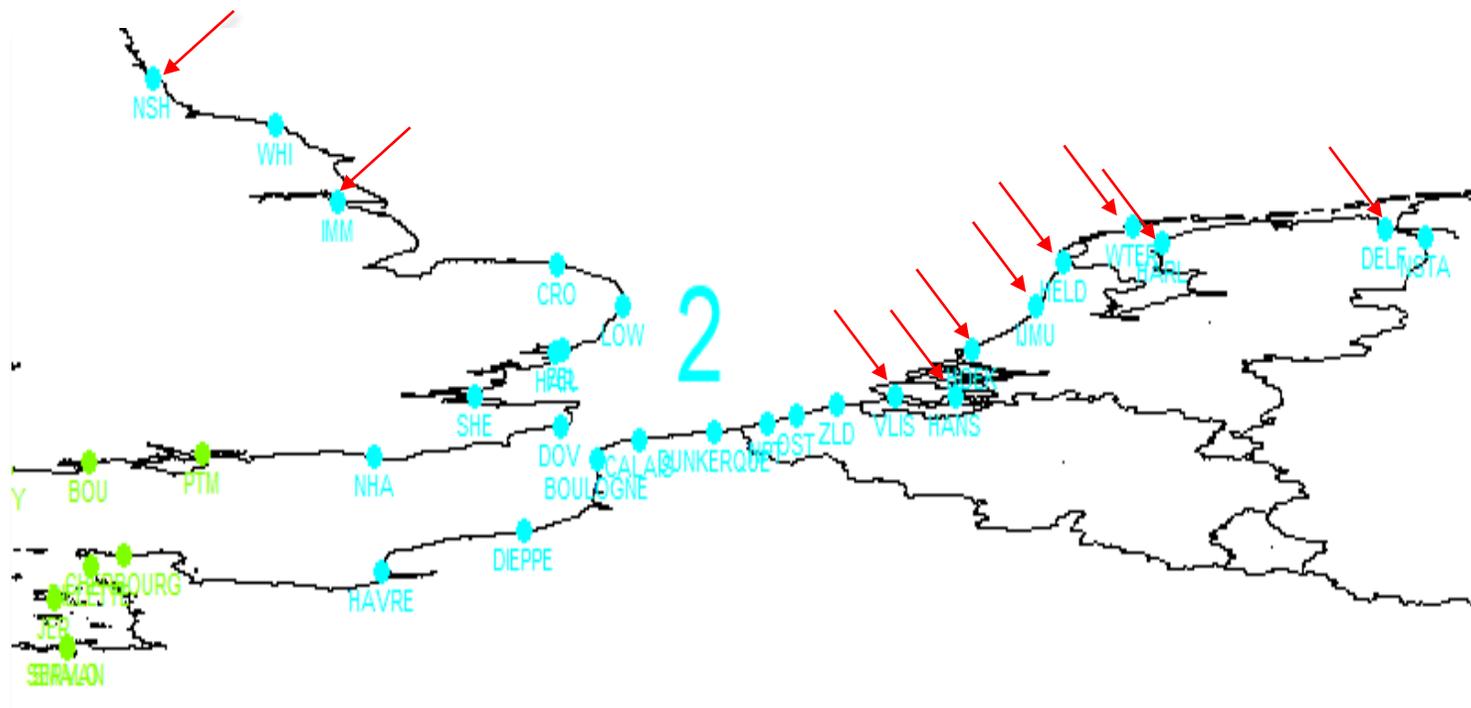
## Nouvelles simulations de la tempête de 1953



*Simulation par défaut avec les modèles « Mer du Nord » et « ANEMOC-3 côtier » du niveau d'eau lors de la tempête de 1953 au marégraphe de Dunkerque*

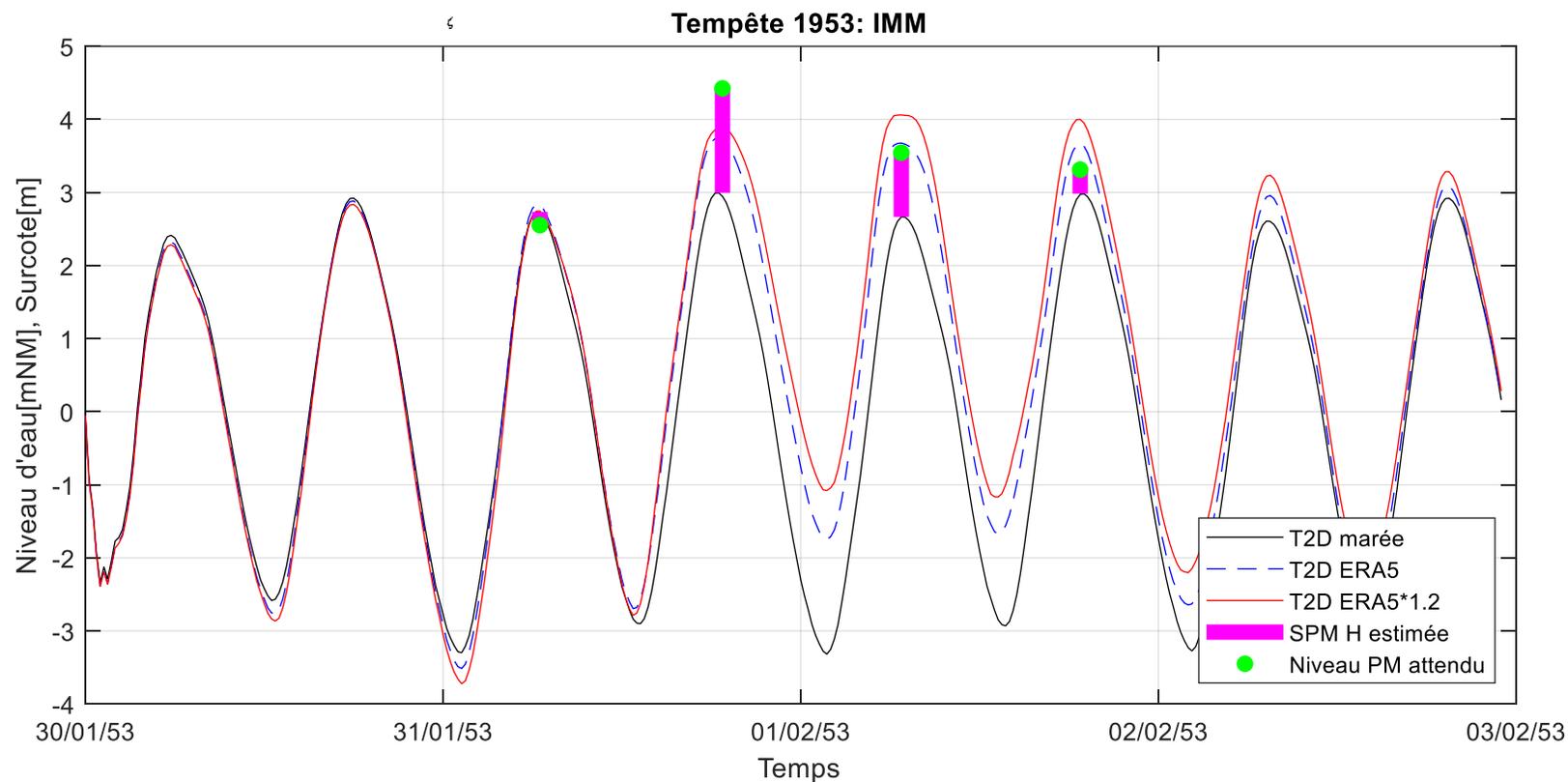
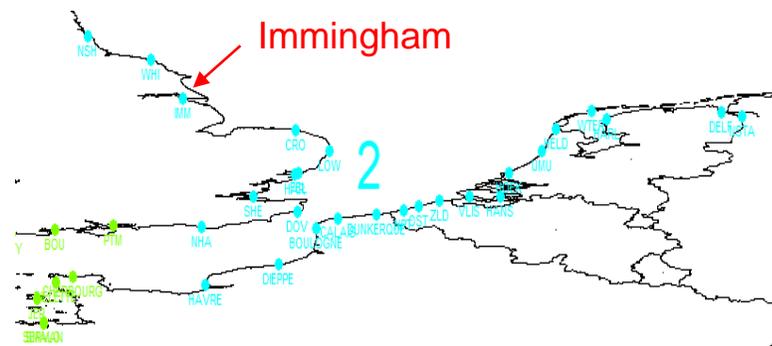
**Forçage ERA5 « corrigé » :  
Vitesse du vent à 10m x 1.2**

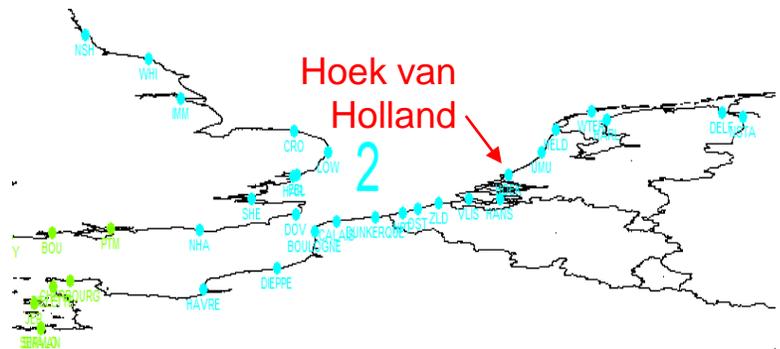
## Comparaisons des résultats « Mer du Nord » avec les surcotes de PM historiques recensées en GB et HOL



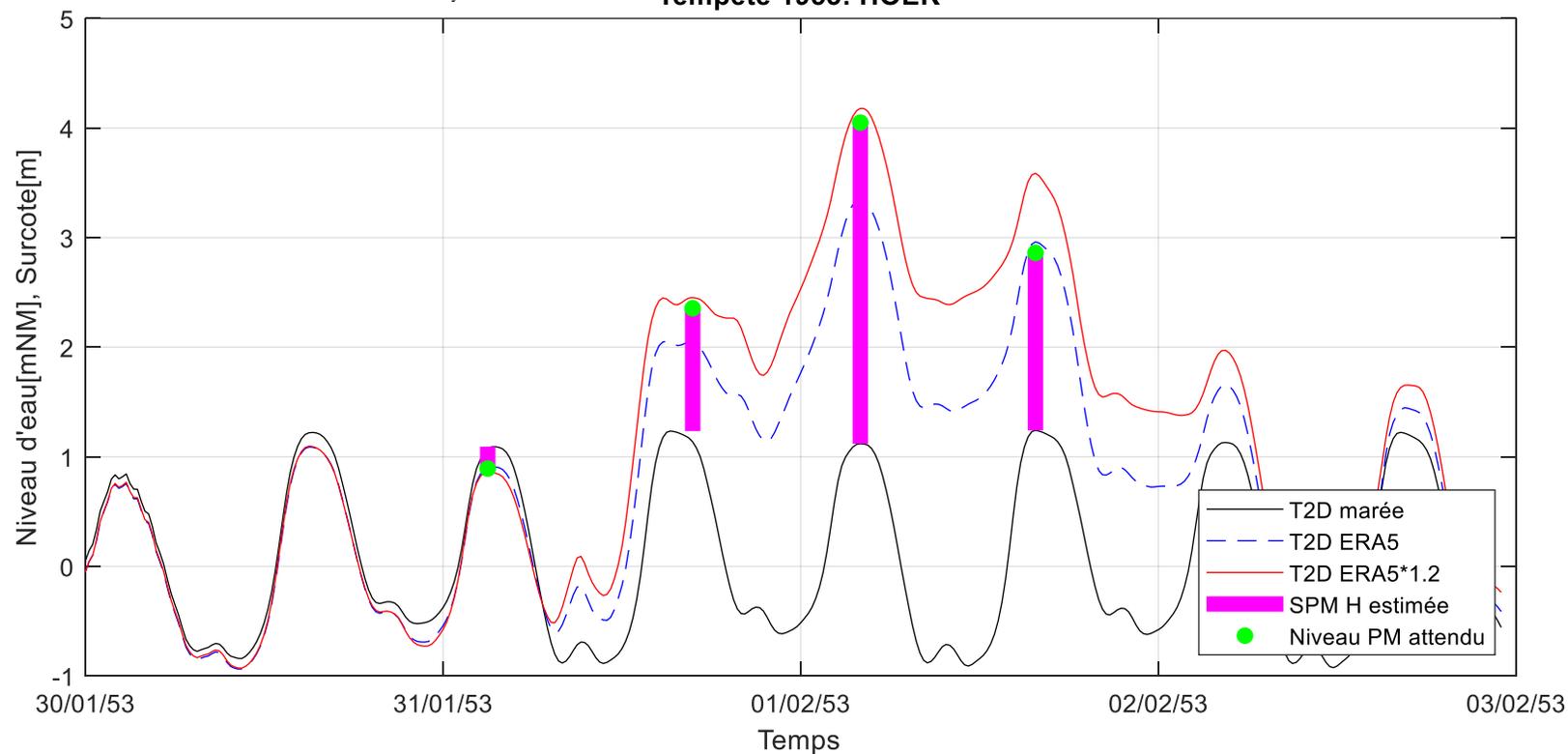
*Source: Base de données des surcotes de PM EDF R&D*

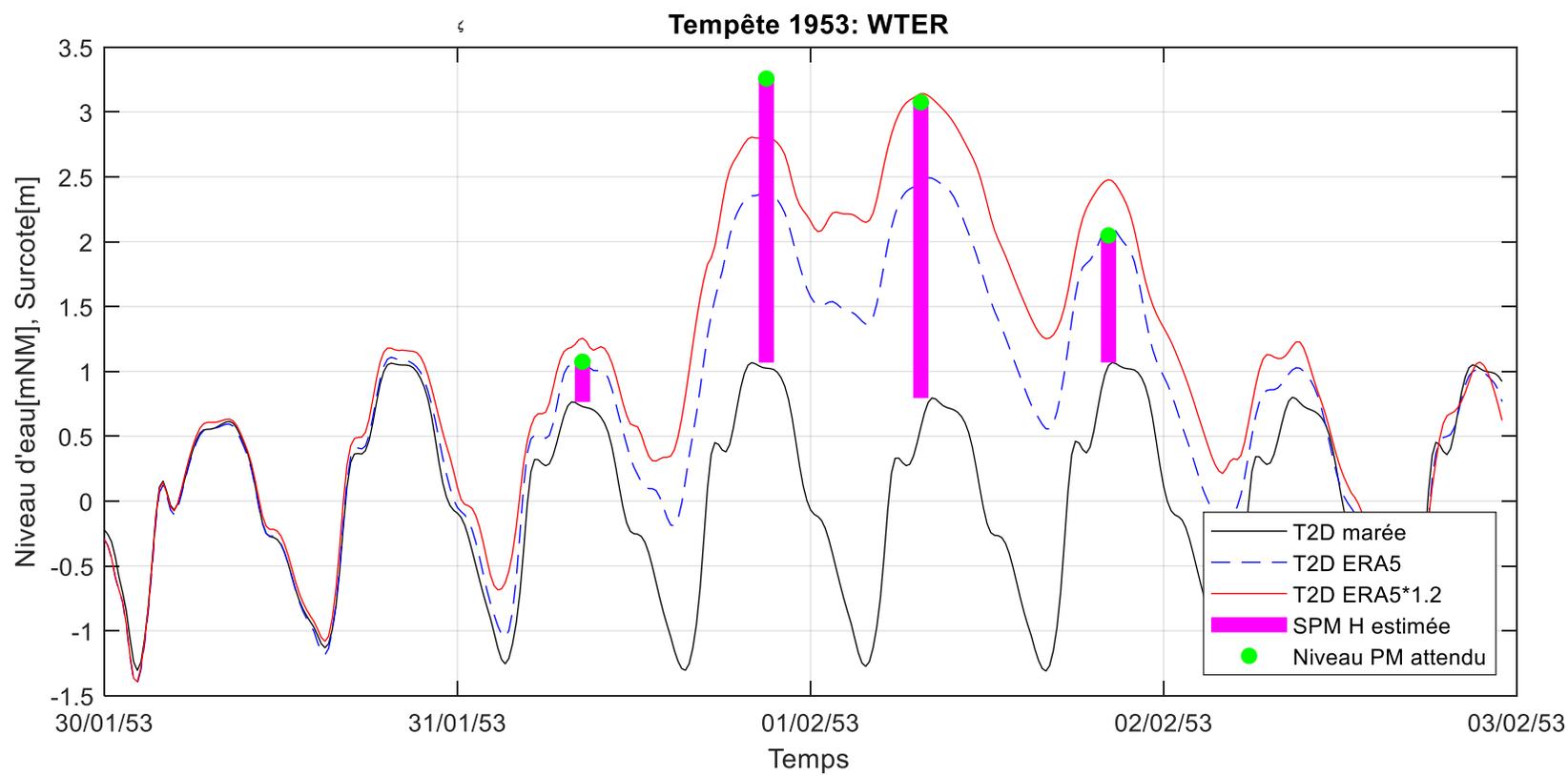
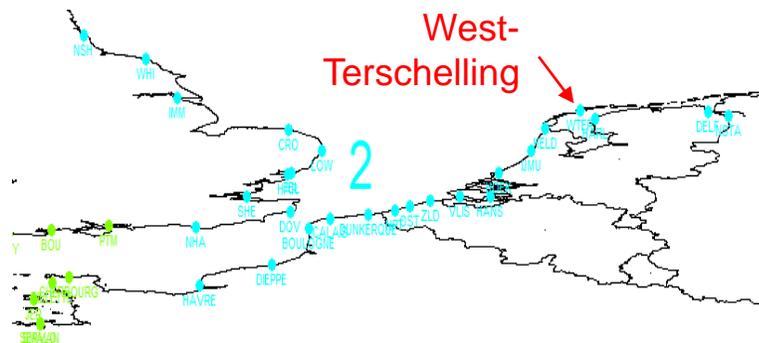
En chaque site, surcote de PM donnée pour 4 PM successives au cours de la tempête



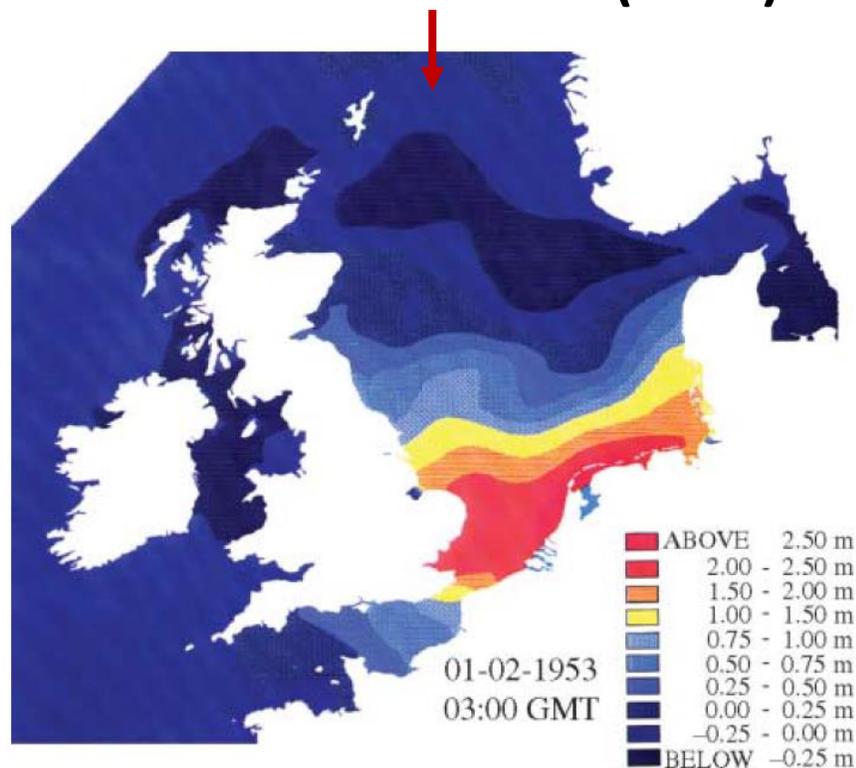


Tempête 1953: HOEK

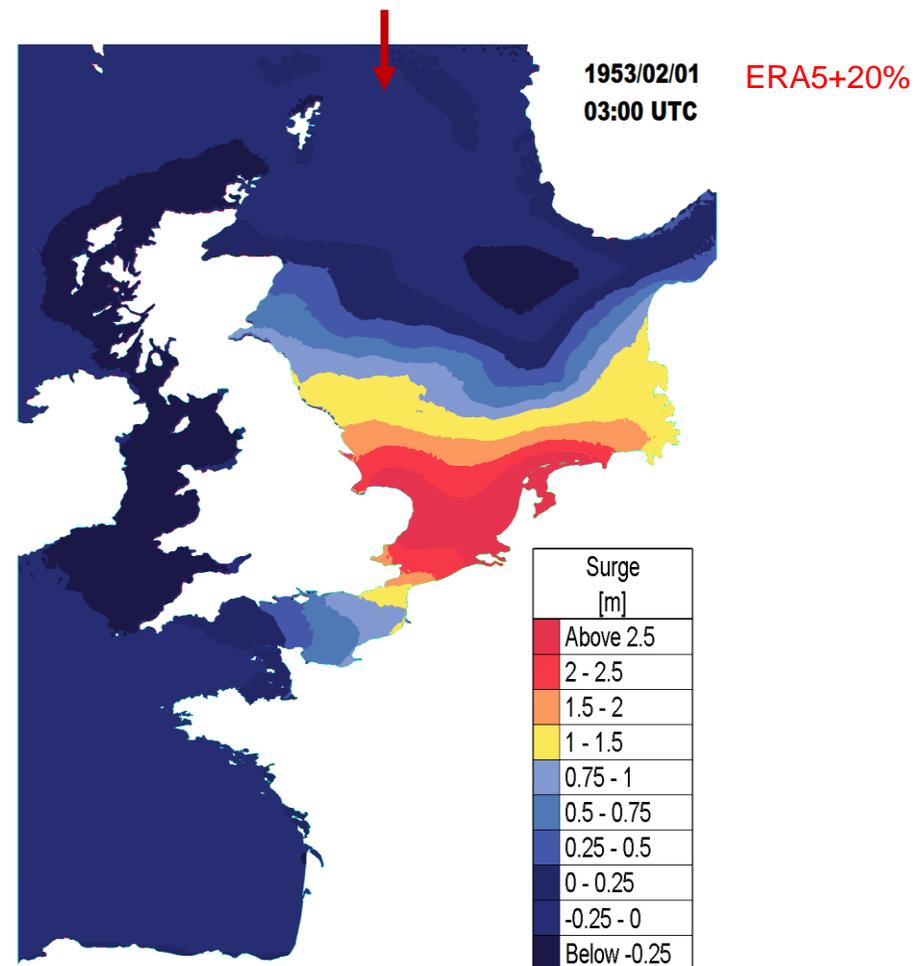




# Comparaison de la carte des surcotes instantanées selon De Ronde et Gerritsen (1989) et selon la modélisation T2D Mer du Nord



*Dutch Continental Shelf Model (DCSM, De Ronde & Gerritsen, 1989)*





## Conclusions

- Modélisations 2D Mer du Nord / ANEMOC-3 pertinentes sur Dunkerque de façon générale, notamment à partir de 1978 (bon accord avec les mesures marégraphiques)  
→ *confiance dans les modèles 2D « Mer du Nord » et « ANEMOC-3 côtier »*
- **Simulation de la tempête de 1953:** en accord avec d'autres auteurs (Choi *et al.*, 2018), correction de la réanalyse ERA5 (u10, v10) pour cet événement particulier – *de l'ordre de +20%* – afin de reproduire un niveau conforme aux observations historiques à Dunkerque (+7.90mCM)
- **Sites HOL, GB :** bonnes comparaisons du niveau d'eau de façon générale, confirmant qu'une correction est nécessaire sur les pics de vitesse du vent, *a priori inférieure à +20% (~10-15%)* d'après les mesures de vent *in situ* disponibles
- Moyennant correctif à déterminer d'après mesures *in situ* disponibles, *il est possible de rejouer des tempêtes historiques sur Dunkerque (a minima), de comparer les estimations de surcotes et d'étudier la dynamique de submersion sur la partie rétro-littorale à l'aide de modèle locaux dédiés*



## Perspectives

- Question: **Où exactement a été estimée la surcote (ou le niveau d'eau) historique à Dunkerque ?...**
- Utilisation du vent ERA5 pour le forçage des modèles:
  - Correction des champs de vitesse extrêmes requise sur les périodes les plus anciennes de la réanalyse (notamment en 1953), validation vs. mesure de vent *in situ* nécessaire → **recherche de données de mesures (vent, niveau d'eau) en Mer du Nord indispensable sur les périodes concernées**
  - Un correctif de l'ordre de +20% sur la vitesse semble pertinent pour les pics de tempête à Dunkerque en 1953 mais peut encore être optimisé (dans le sens d'une réduction) en cohérence avec les mesures en HOL/GB → **à poursuivre**
- Autres validations du modèle prévues (niveaux d'eau sur différents marégraphes HOL/FR/GB...)
- Etude de sensibilité à la formulation du coefficient d'entraînement par le vent (évaluation des incertitudes)
- Autres sources de données de réanalyse du XX<sup>ème</sup> siècle disponibles à l'avenir (màj ERA5-20C) ?
- Possibilité de reproduire des champs de vitesse synthétiques à partir de données anciennes (pression)? ...



## Références bibliographiques

- Athimon, E. *et al.* (2022). "Quantification of historical skew surges: challenges and methods". *In: Gourbesville, P., Caignaert, G.* (Eds.), *Advances in Hydroinformatics*. Springer Water. Springer Nature, Singapore, 159–174, [https://doi.org/10.1007/978-981-19-1600-7\\_10](https://doi.org/10.1007/978-981-19-1600-7_10)
- Bardet, L. *et al.* (2011): "Regional frequency analysis of extreme storm surges along the French coast". *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 11, 1627–1639, <https://doi.org/10.5194/nhess-11-1627-2011>
- Choi, B. H., Kim, K. O., Yuk, J.-H., Lee, H. S. (2018). "Simulation of the 1953 storm surge in the North Sea". *Ocean Dynamics*, 68, 1759–1777. <https://doi.org/10.1007/s10236-018-1223-z>
- DDTM du Nord / Service Sécurité Risques et Crises - Unité Risques et Crises (2022) : « Plan de Prévention des Risques Littoraux (PPRL) de Dunkerque et Bray-Dunes - Pièce n° 1 : Rapport de présentation », 128p.
- De Ronde, J. G., Gerritsen, H. (1989). "The 1953 storm simulated with the Dutch Continental Shelf Model". Rapport WL | Delft Hydraulics/Rijkswaterstaat Z307, 51p. **(en néerlandais, non publié)**
- Gerritsen, H. (2005). "What happened in 1953? The Big Flood in the Netherlands in retrospect". *Phil. Trans. R. Soc.*, 363, 1271–1291. <https://doi.org/10.1098/rsta.2005.1568>
- Giloy, N. *et al.* (2019). "Quantifying historic skew surges: an example for the Dunkirk Area, France". *Natural Hazards*, 98, 869–893, <https://doi.org/10.1007/s11069-018-3527-1>
- Saint-Criq, L. *et al.* (2022) : "Extreme sea level estimation combining systematic observed skew surges and historical record sea levels". *Water Resources Research*, 58, e2021WR030873, <https://doi.org/10.1029/2021WR030873>
- Wolf, J., Flather, R. A. (2005). "Modelling waves and surges during the 1953 storm". *Phil. Trans. R. Soc. A*, 363, 1359–1375, <https://doi.org/10.1098/rsta.2005.1572>



*La « Sardijn » hollandaise...*



Figure 9. The ship that closed the dyke breach and saved the central parts of Holland from flooding

*(extrait de Gerritsen, 2005)*

**MERCI DE VOTRE ATTENTION**

