

Etude de faisabilité pour une protection contre les franchissements par paquets de mer à Digosville

Rendu final – Août 2025

Antea Group

Understanding today.
Improving tomorrow.

www.anteagroup.fr

Sommaire

1. Présentation du site, de la problématique, et objectif de l'étude
2. Déroulé de l'étude et données d'entrée
3. Construction et calage des modèles hydrodynamiques
4. Définition des couples de projets
5. Détails des aménagements proposés
6. Résultats des simulations des aménagements
7. Coûts des aménagements proposés
8. Synthèse et conclusion

Understanding today.
Improving tomorrow.

1. Site – Problématique - Objectifs



Front de mer de Digosville

A l'est de Cherbourg

Au droit de la Roche Toinette

Front de mer protégé par des ouvrages (enrochements + murs)

Understanding today.
Improving tomorrow.

1. Site – Problématique - Objectifs

Problématique

Franchissements importants des ouvrages en front de mer lors de fortes tempêtes

Objectifs

- Caractériser ces phénomènes de franchissements
- Proposer des solutions d'aménagement au stade d'esquisse pour limiter ces phénomènes

Exemple de franchissements par paquets de mer à l'est du site (Mars 2013)



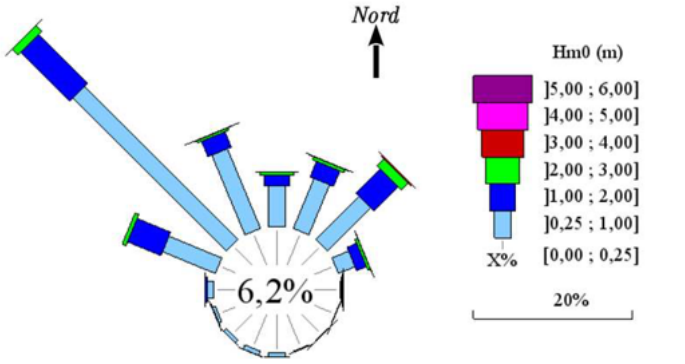
Understanding today.
Improving tomorrow.

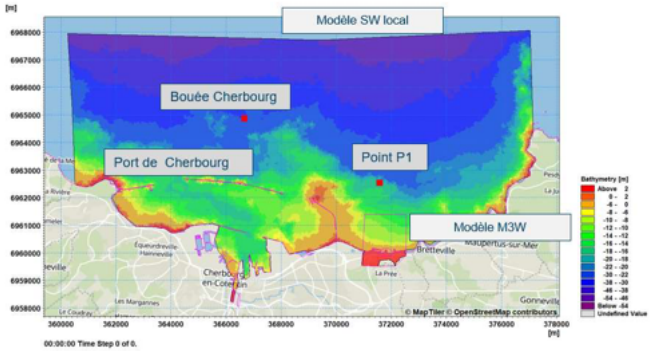
2. Déroulé de l'étude – Données d'entrée

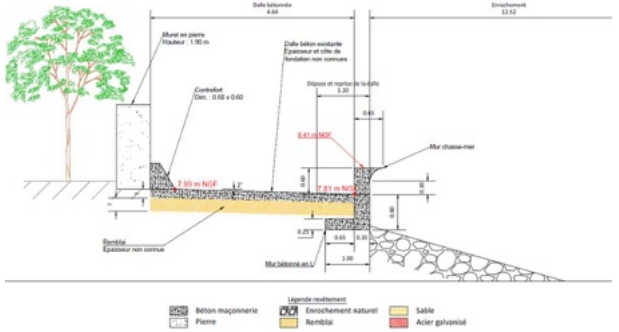
Etude des conditions météo océaniques au large du site d'étude ➡ marées / houles / courants etc.

Construction de modèles de simulation numériques ➡ Simuler des tempêtes afin de caractériser leurs impacts sur le front de mer (franchissements notamment)

Proposer des aménagements pour limiter les franchissements caractérisés par les simulations







Understanding today.
Improving tomorrow.

2. Déroulé de l'étude – Données d'entrée

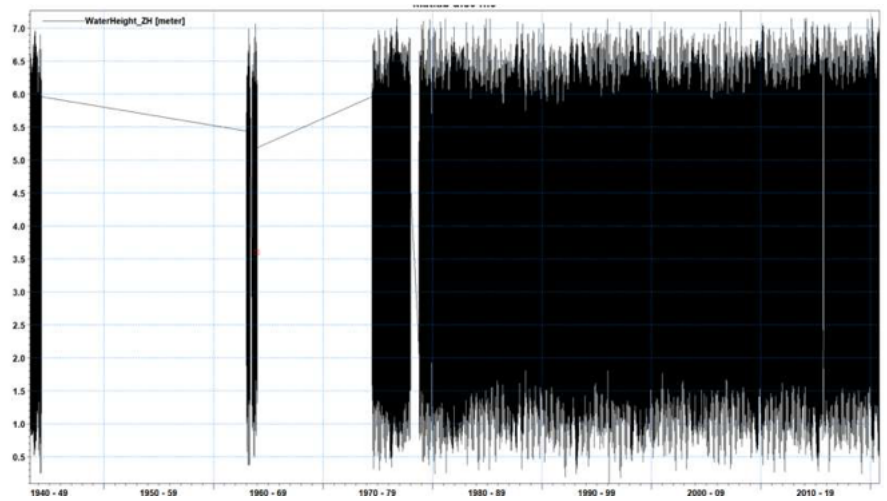
Topographie/Bathymétrie

- Donnée Lidar RGE Alti de 2011
- Donnée ROLHF 2016/2017 et 2020
- Levé drone 2023



Données de niveaux marins

- Données SHOM mesurées au marégraphe de Cherbourg



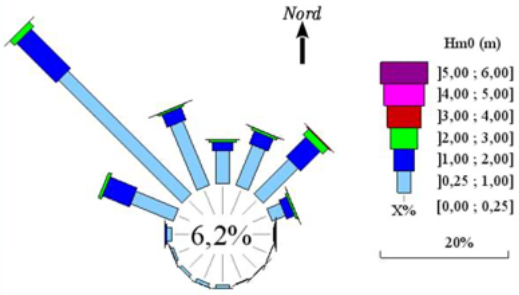
Understanding today.
Improving tomorrow.

2. Déroulé de l'étude – Données d'entrée

Données de houle

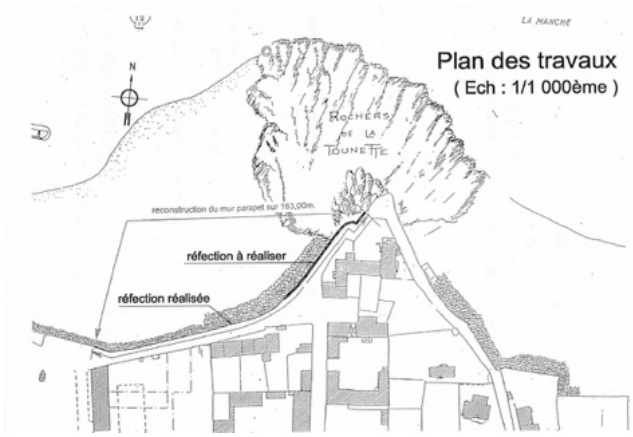
- Exploitation de la bouée CANDHIS 05008 (Cerema)

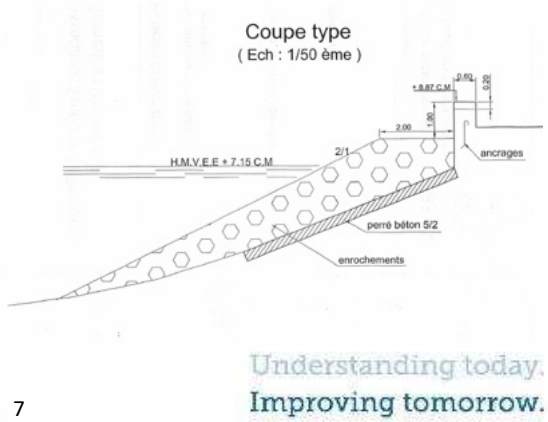




Données sur les ouvrages de protection

- Données d'archives sur l'historique des aménagements fournies par l'ASA
- Observations de terrain



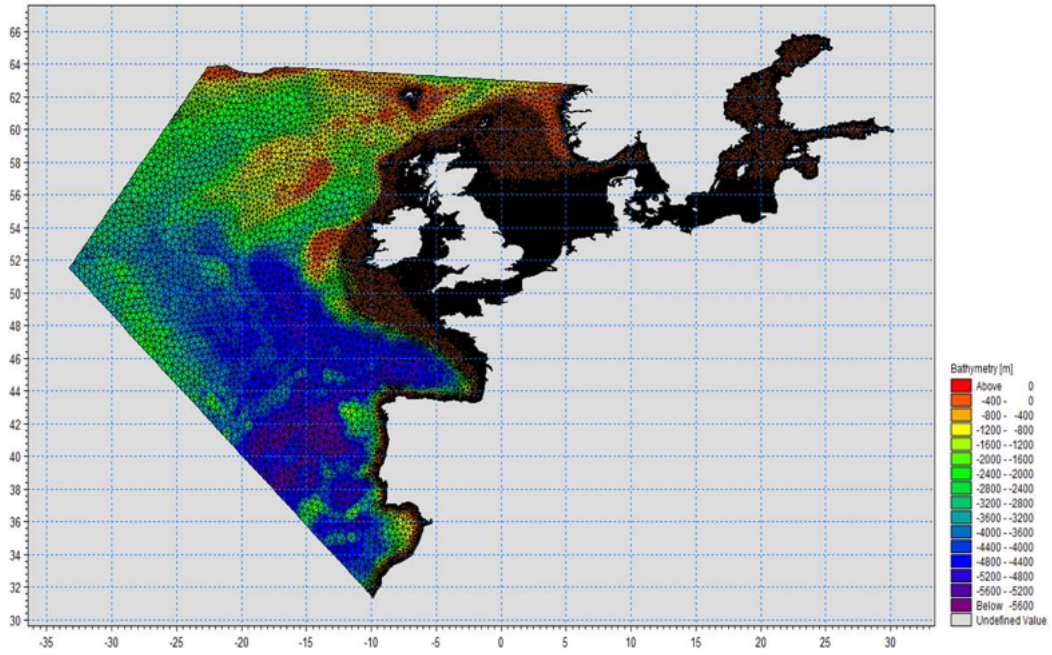


Understanding today.
Improving tomorrow.

3. Modèles hydrodynamiques

Modèles régionaux Europe du Nord (NE) niveaux (HD) et vagues (SW) de DHI

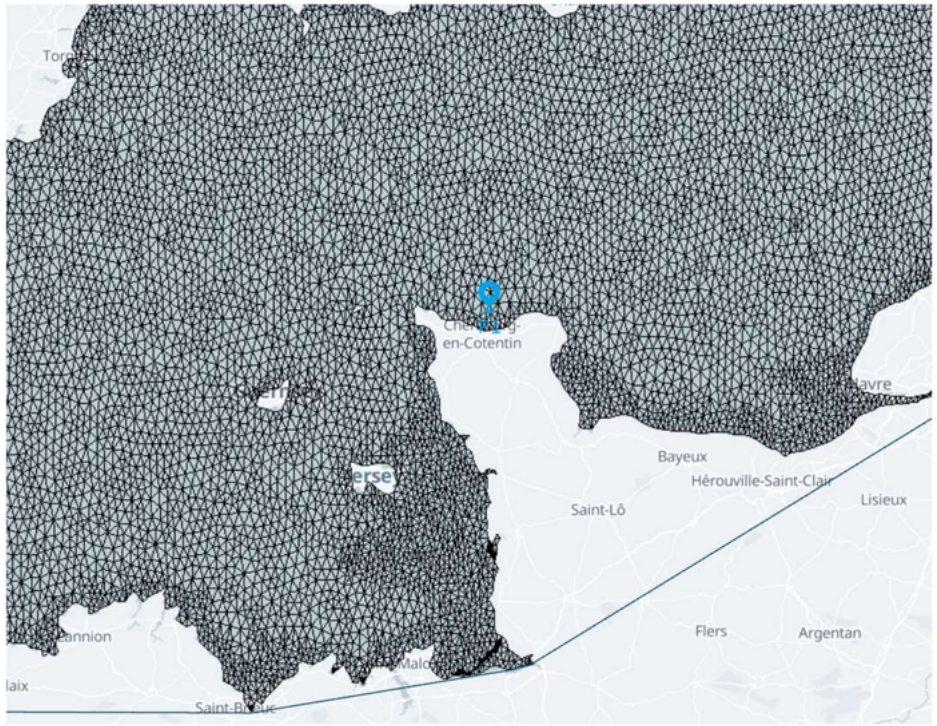
Emprise, maillage et usage



<u>Fournissent niveaux d'eau et vagues depuis le 01/01/1979</u>
=> premières analyses des normales et analyses des extrêmes

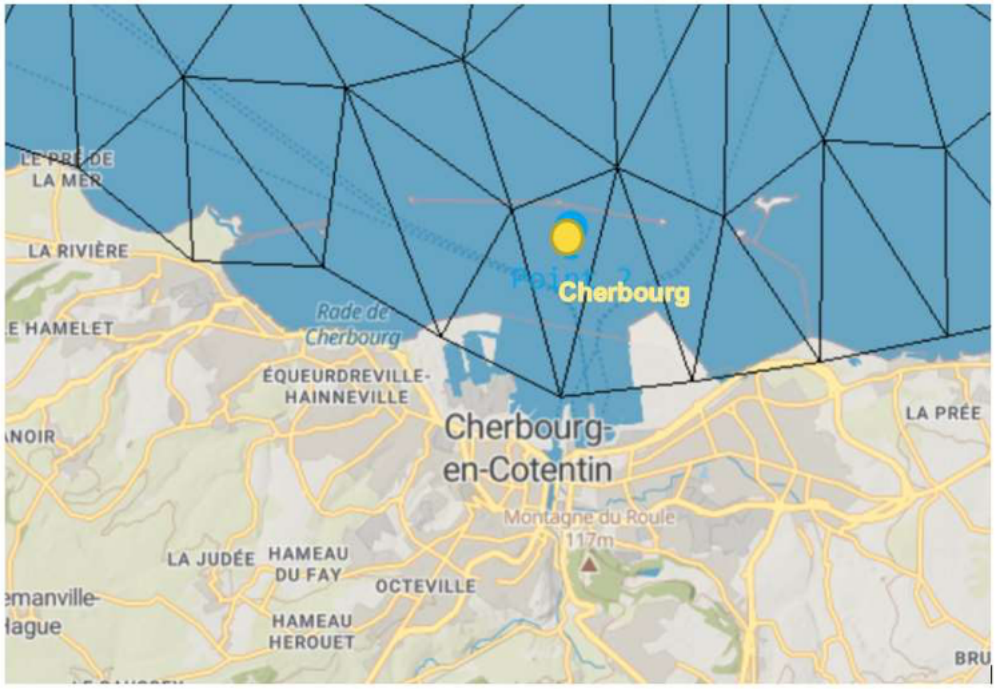
© DHI A/S

- Forcés par le modèle global de marée et de houle DHI, et données modélisées CFS de vent et de pression atmosphérique (fournies depuis 01/01/1979)
- Utilisation de MNTs bathymétrique de grande emprise
- Mailles de 2 à 3 km à la côte



3. Modèles hydrodynamiques

Validation du modèle HDNE au marégraphe de Cherbourg



© DHI A/S

10 plus hauts niveaux modélisés (repos, pas de déferlement) sur la période 1998-2019 : équivalents aux mesures. Des écarts de +/-25 cm sont observés mais pas de tendance systématique.

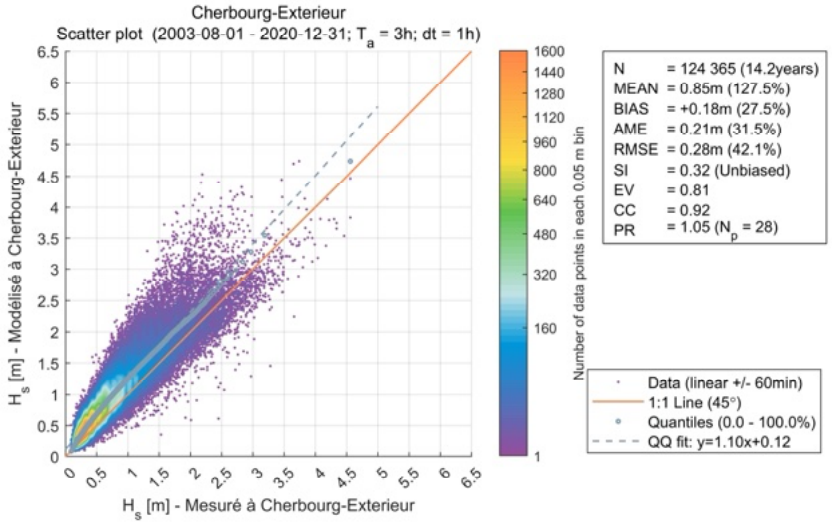
Date et heure (UTC)	Niveau modélisé (1) (mIGN69)	Niveau mesuré validé (2) (m IGN69)	*Ecart (1)-(2) (m IGN69)*
03 mars 2018 9h	4,08	3,81	*0,27*
04 mars 2018 9h30	4,02	3,78	*0,24*
30 septembre 2019 21h00	4,0	3,87	*0,13*
10 mars 2008 9h30	3,99	4,13	*-0,14*
03 janvier 2018 8h30	3,96	3,89	*0,07*
28 février 2010 7h30	3,96	3,85	*0,11*
29 septembre 2019 20h30	3,95	3,81	*0,14*
03 janvier 2014 9h	3,91	3,90	*0,01*
03 mars 2014 9h	3,88	3,90	*-0,02*
04 janvier 2018 9h30	3,87	3,76	*0,11*
Comparaison pour les niveaux les plus hauts mesurés non retrouvés par la modélisation			
17 octobre 2012 8h30	3,63	3,89	*-0.26*
10 mars 2001 8h	3,85	3,87	*-0,02*
01 février 2014 8h30	3,79	3,91	*-0,12*
02 mars 2014 8h30	3,84	3,89	*-0,05*

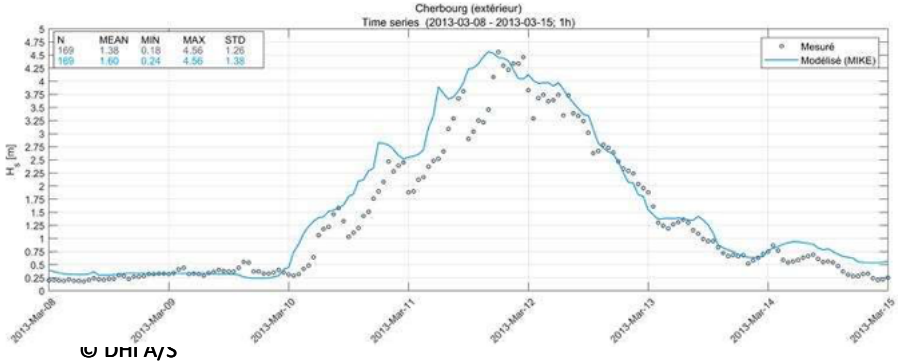
tanding today.
ing tomorrow.

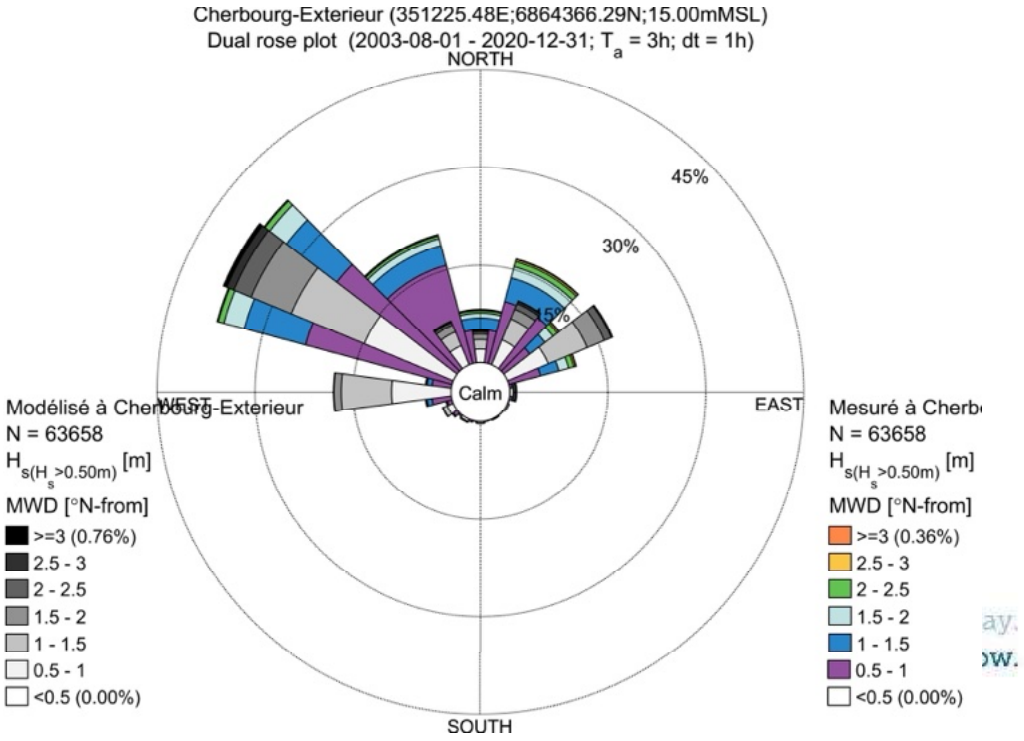
3. Modèles hydrodynamiques

Validation du modèle SWNE à la bouée de Cherbourg Extérieur









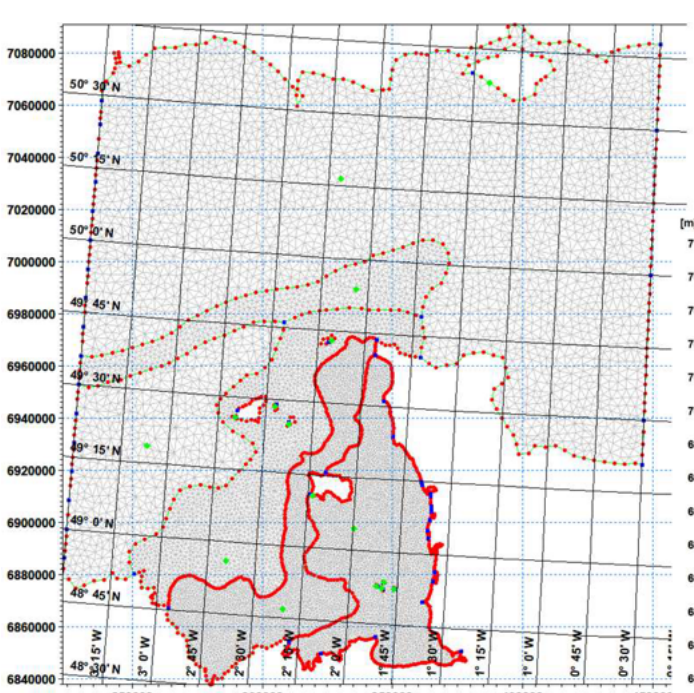
© DHI A/S

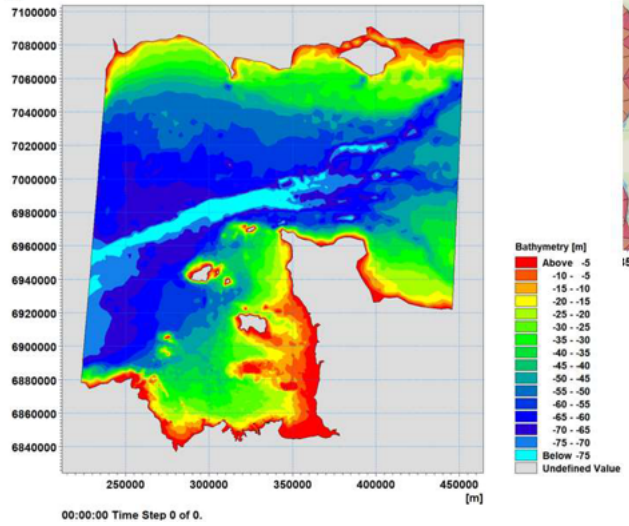
3. Modèles hydrodynamiques

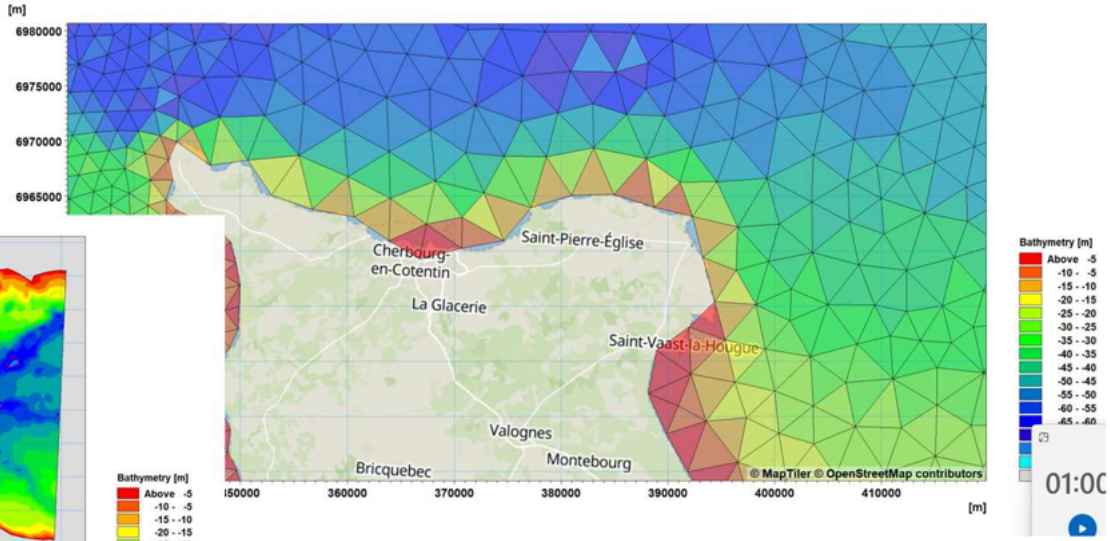
Modèle hindcast régional du Golfe Normand Breton (GNB)

- Forcé par le modèle HD Nord-Europe de DHI
- Maillage affiné ,mailles de 1 à 1,5 km au maximum à la côte
- Bathymétrie tirée des données HOMONIM du SHOM.

Ce modèle hindcast fournit des niveaux d'eau de 1990 à 2024.







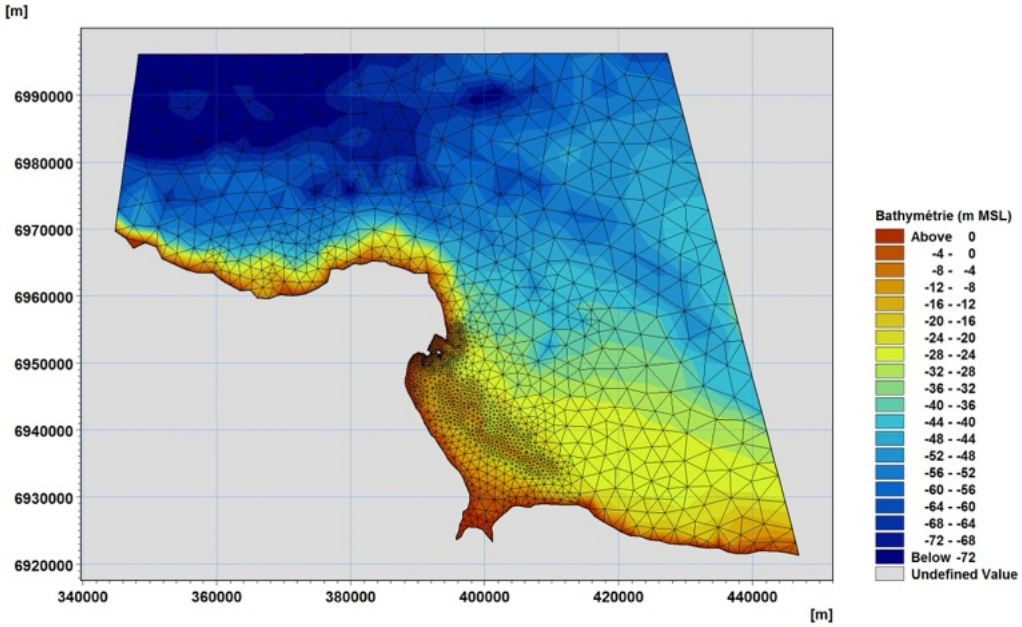
Understanding today.
Improving tomorrow.

© DHI A/S

3. Modèles hydrodynamiques

Modèle hindcast local de propagation des vagues (SW) de DHI, dit “modèle de Saint-Vaast”

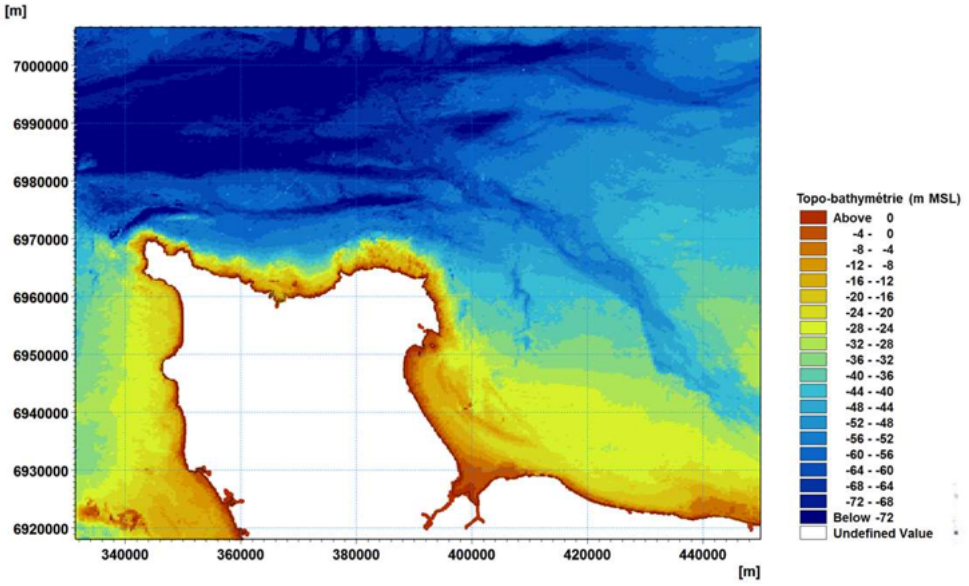
Emprise, maillage et usage



- Forcés par les modèles régionaux Nord-Europe de DHI, et données modélisées CFSR de vent
- Utilisation de MNTs bathymétriques de grande emprise
- Bathymétrie HOMONIM du SHOM (résolution spatiale de 110 m environ)
- Mailles de 2 km à la côte

=> Plus précis que le modèle SWNE.

<u>Fournit vagues du 01/01/1999 au 31/12/2018 (hindcast)</u> => analyse des normales et analyses des extrêmes



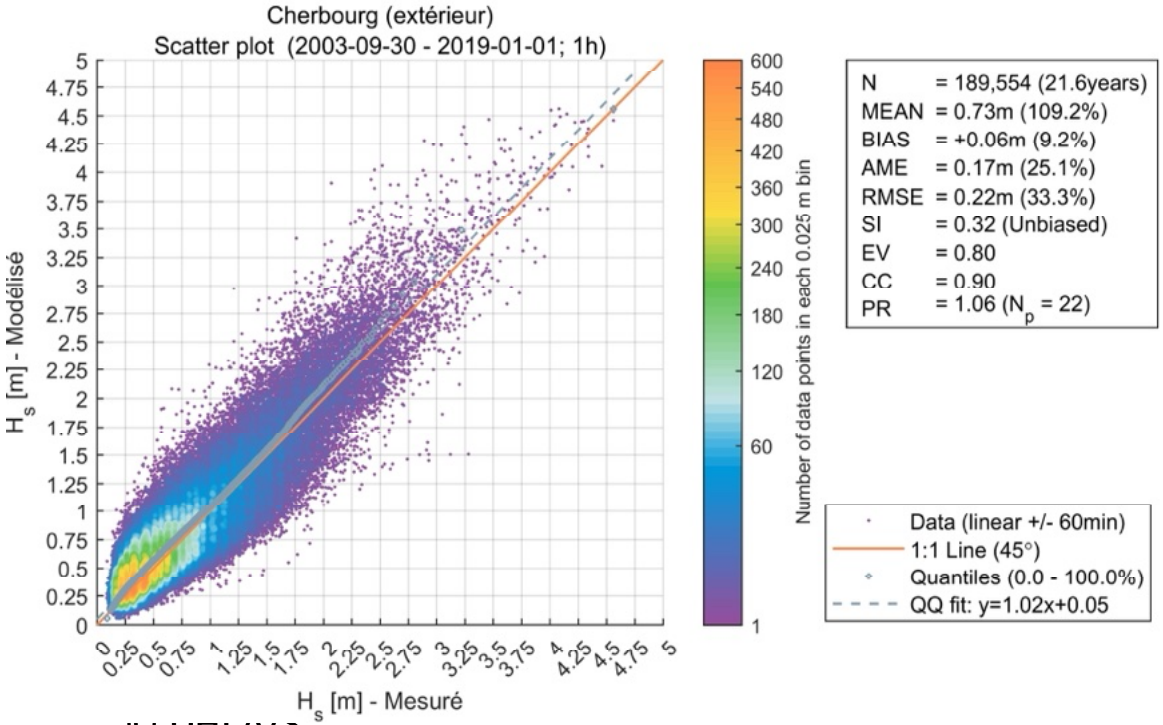
© DHI A/S

3. Modèles hydrodynamiques

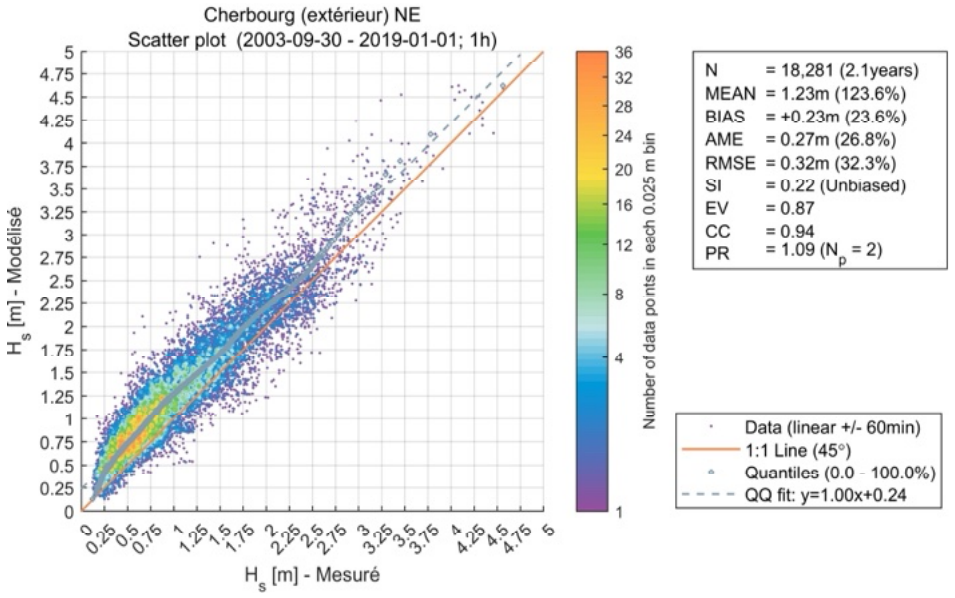
Validation du modèle à la bouée de Cherbourg Extérieur pour la représentation des vagues : correction apportée aux résultats initiaux surestimés



Comparaison du 30/09/2003 au 01/01/2019



Comparaison du 30/09/2003 au 01/01/2019 <u>pour tempêtes de NE</u>

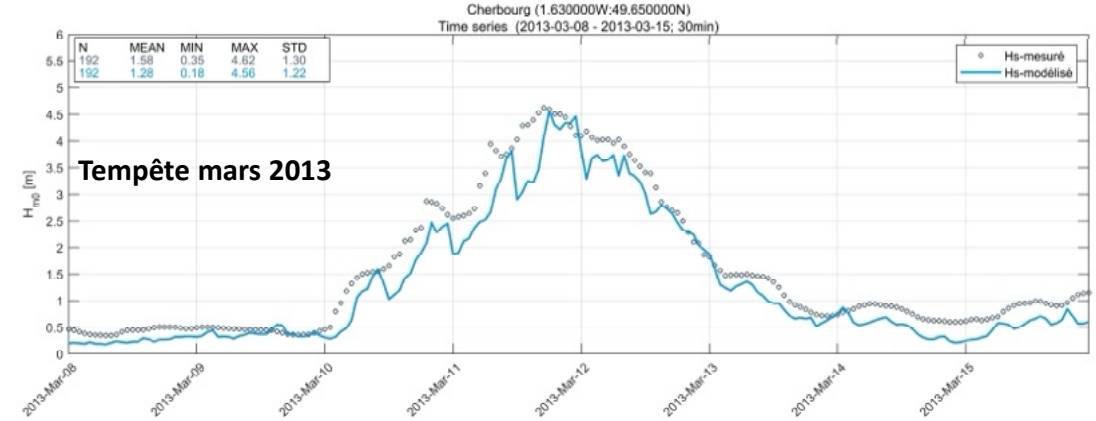


© DHI A/S

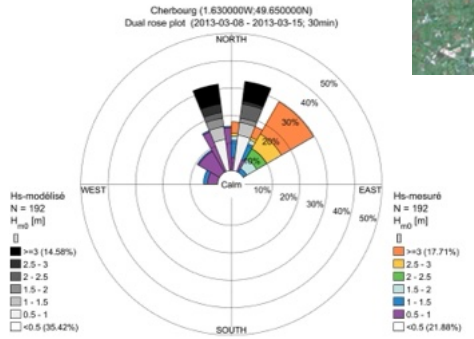
3. Modèles hydrodynamiques

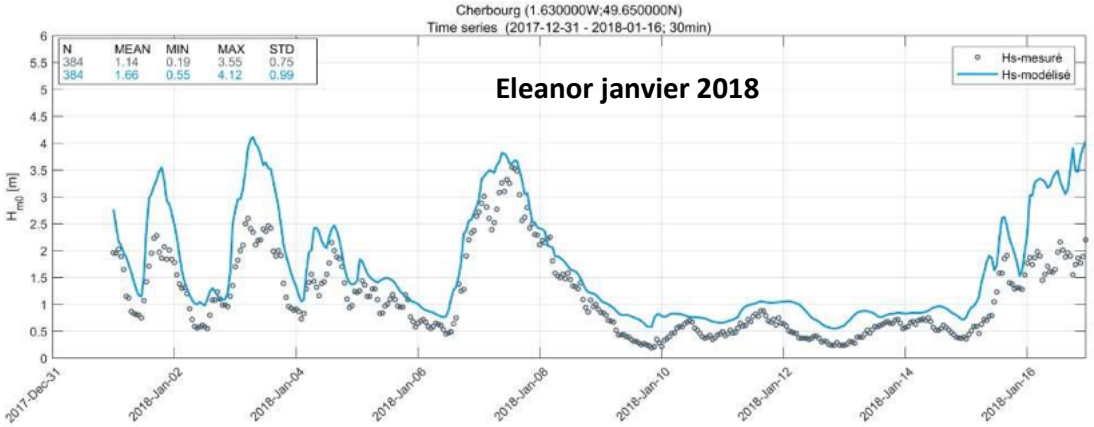
Validation du modèle à la bouée de Cherbourg Extérieur pour la représentation des vagues



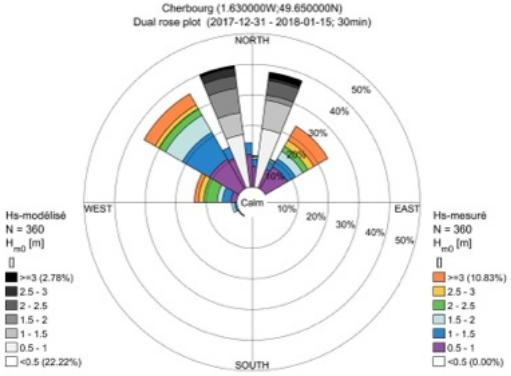


Tempête mars 2013





Eleanor janvier 2018



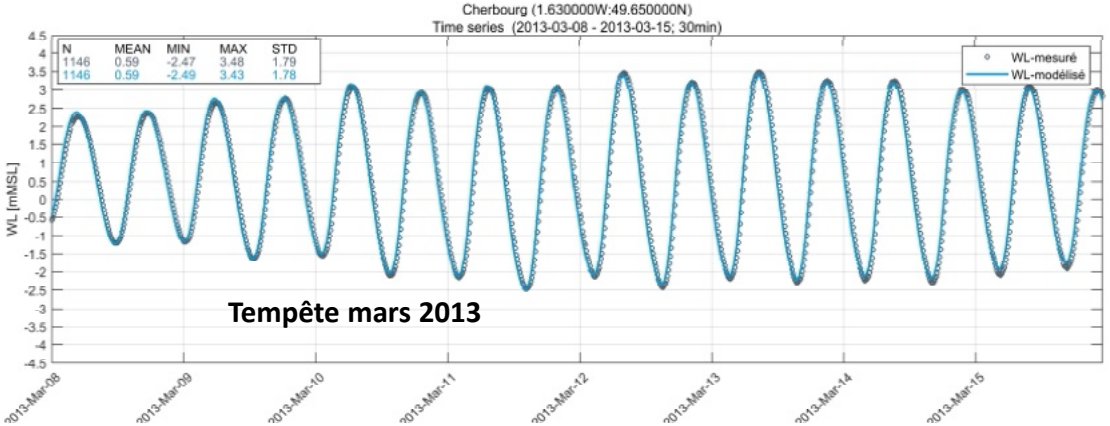
© DHI A/S

Understanding today.
Improving tomorrow.

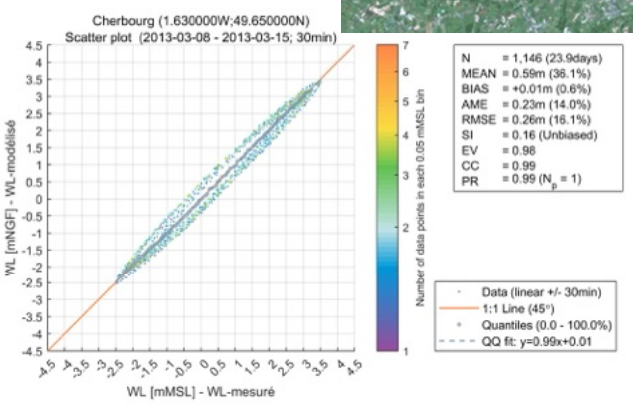
3. Modèles hydrodynamiques

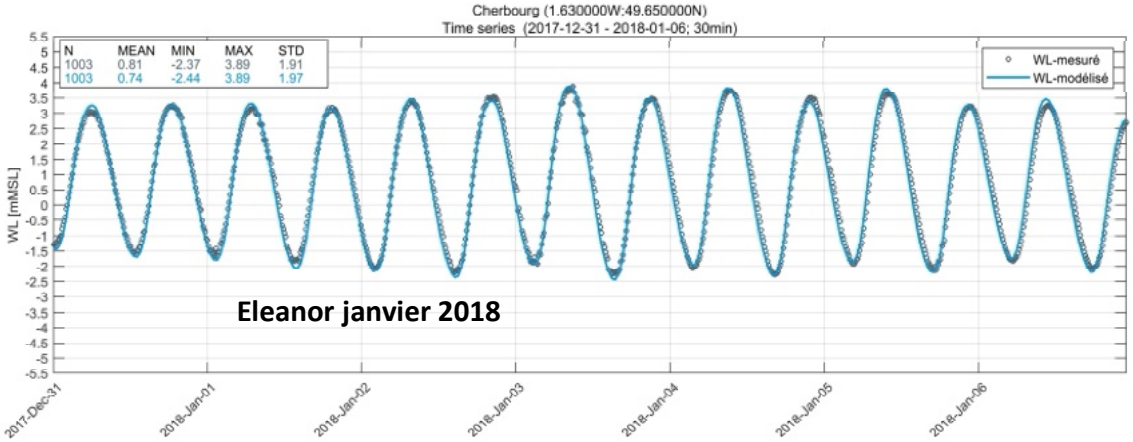
Validation du modèle de Saint Vaast à la bouée de Cherbourg Extérieur pour la représentation des niveaux d'eaux



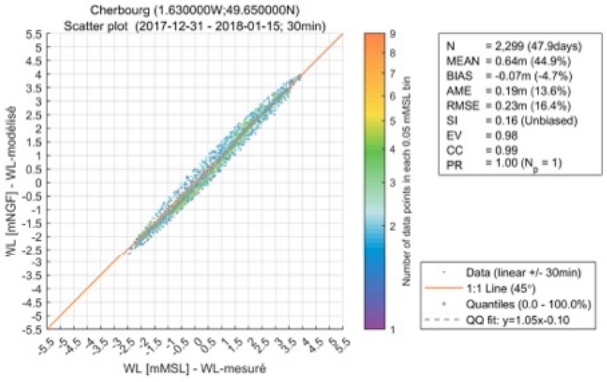


Tempête mars 2013





Eleanor janvier 2018



derstanding today.
proving tomorrow.

© BMTArs

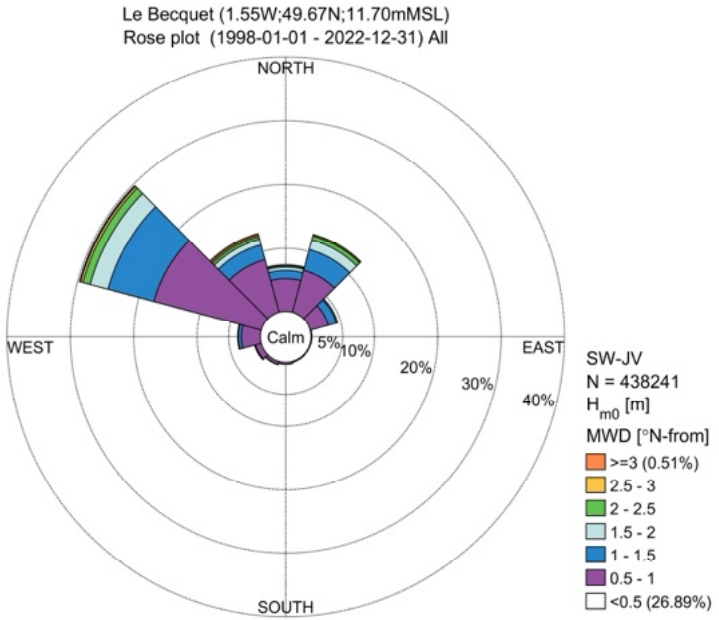
3. Modèles hydrodynamiques

Utilisation des modèles régionaux du Golf Normand Breton (GNB) et du Modèle de Saint Vaast de DHI



Analyse normale des vagues modélisées au point P1 au large du site de 1998 à 2022 :

- Hauteur significative Hs de **0,85 m** en moyenne et **4,50 m** au maximum le 17/12/2004.
- Direction prédominante de **NO-O** mais fortes houles possibles de **N-NO à N-NE**



Understanding today.
Improving tomorrow.

© DHI A/S

3. Modèles hydrodynamiques

Analyse des évènements modélisés au point P1 au large du site de 1998 à 2022

Dates	Hauteur de vague Hs	Dir vagues (°N)	Niveau marin correspondant (m IGN69)
17/12/2004 13:00	4,49	326	2,59
30/01/2003 18:00	4,39	1.6	2,10
Johana 10/03/2008 21:00	4,38	318	3,30
27/10/2002 10:00	4,21	315	2,59
03/01/1998 13:00	4,18	314	2,13

Plus forts évènements de vagues avec les niveaux correspondants

Dates	Niveau marin (m IGN69)	Hauteur de vagues Hs correspondante (m)	Dir. Vagues (°N)
03/03/2018 8:30	4,04	0,76	69
Inès 13/02/2020 10:30	4,03	2,15	304
11/03/2020 9:00	4,03	1,09	297
Xynthia 28/02/2010 7:30	3,95	2,82	342
30/09/2019 20:30	3,91	0,69	251
Ciara 10/02/2020 8:30	3,89	2,50	314
Eleanor 03/01/2018 8:30	3,89	3,83	316

Plus forts évènements de niveaux avec les vagues correspondantes

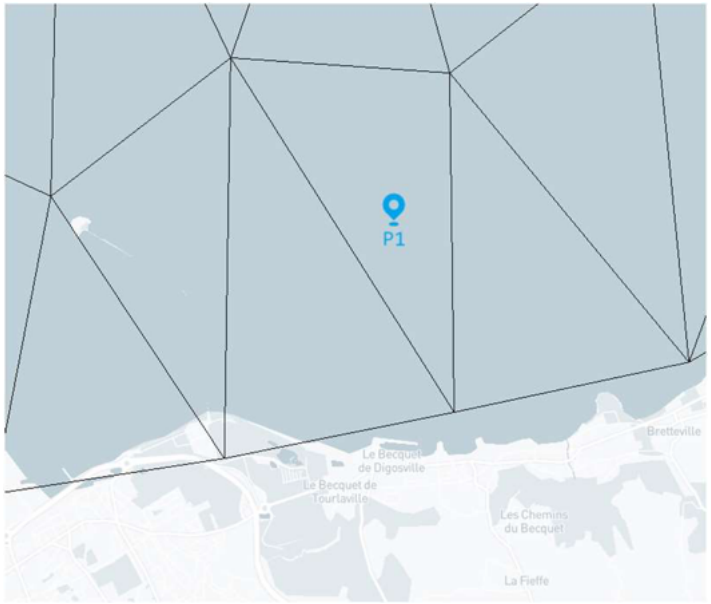
Understanding today.
Improving tomorrow.

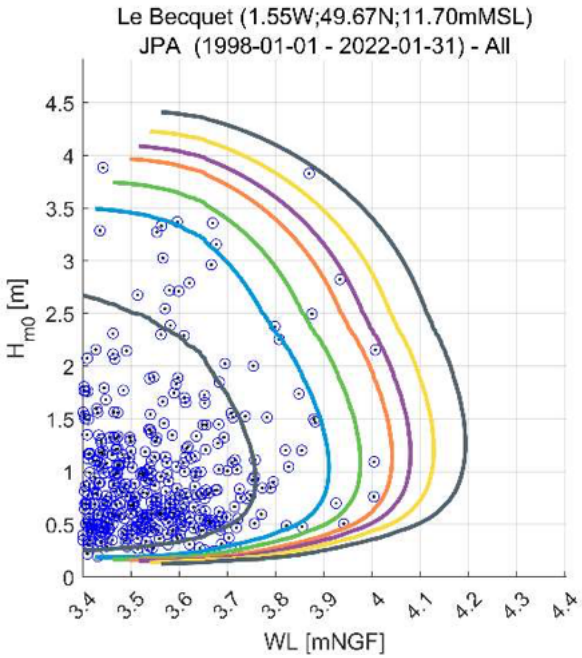
© DHI A/S

3. Modèles hydrodynamiques

Analyse des évènements extrêmes combinés (probabilité conjointes) modélisés au point P1 au large

- Etude des franchissements : **couple niveau d'eau/houle**
- Analyse des **probabilités conjointes** réalistes (un niveau T100 n'arrive pas avec une houle centennale => relation de dépendance).
- Analyse réalisée au large du Becquet sur la période **1998-2022**
- Seuil de niveau d'eau de 3,4 m IGN69 retenu





Périodes de retour des évènements conjoints Niveau/Houle*

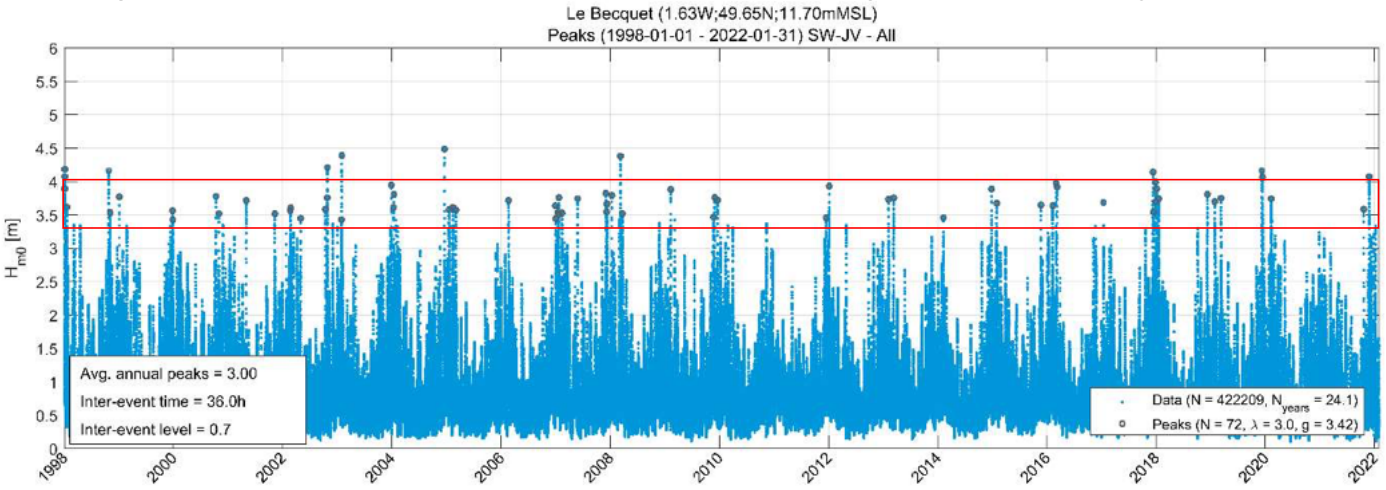
* Les évènements correspondent à des pics de Hs, auquel sont associés les valeurs de WL

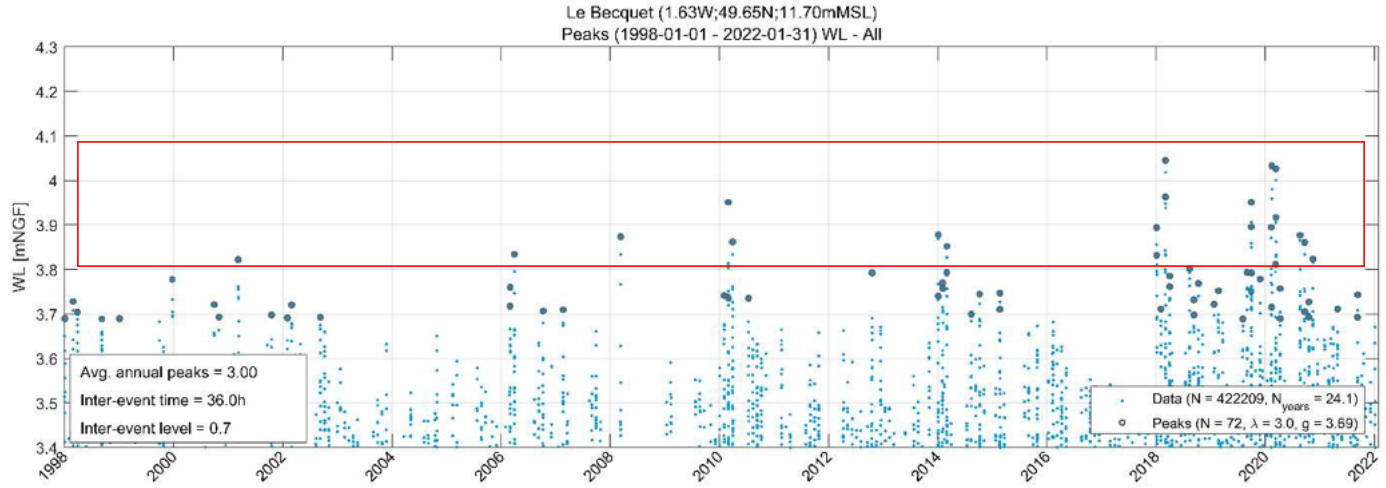
© DHI A/S

Understanding today.
Improving tomorrow.

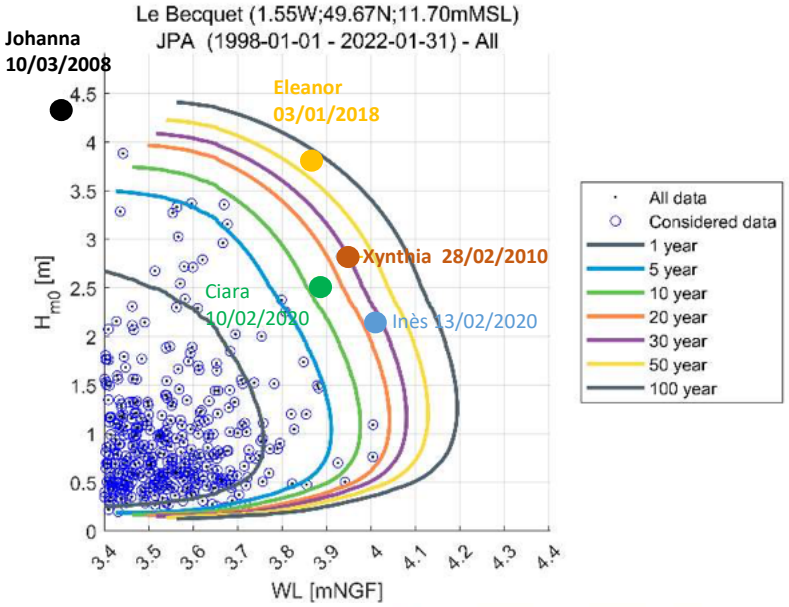
3. Modèles hydrodynamiques

Analyse des évènements extrêmes combinés (probabilité conjointes) modélisés au point P1 au large





Positionnement des tempêtes historiques (couples défavorables)



Understanding today.
Improving tomorrow.

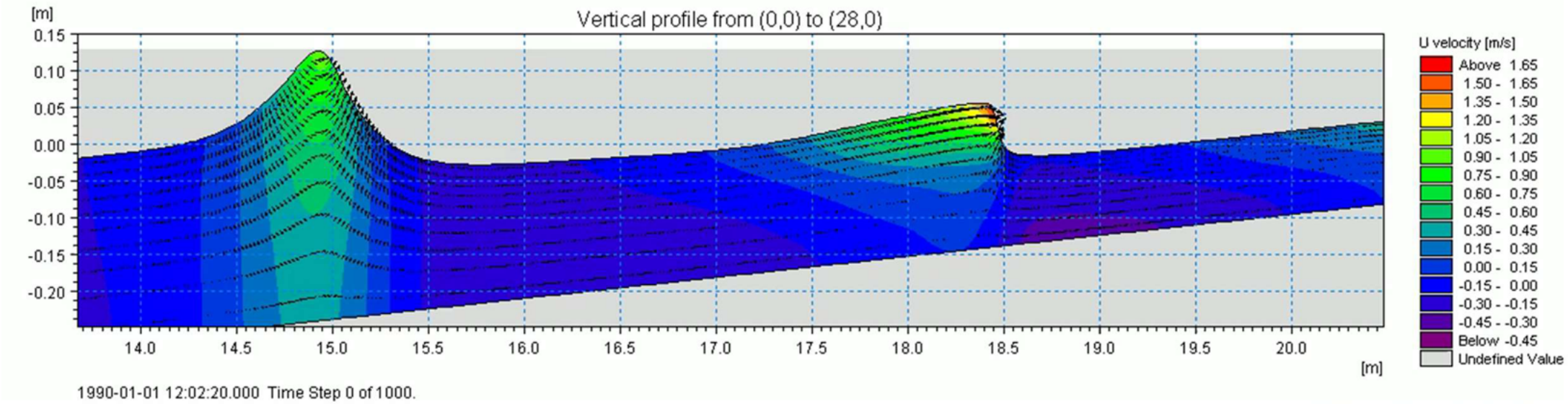
© DHI A/S

3. Modèles hydrodynamiques

Construction du modèle de M3W de franchissement

Modèle 3D vague à vague

- MIKE 3WaveFM (M3W) : modèle vague à vague non hydrostatique, résolvant equations de Navier-Stokes moyennées
- Permet la representation de la transmission des vagues au travers des milieux poreux
- Pas de limitation de hauteur ou de période de vague
- Modélisation du déferlement, du run up et du jet de rive (franchissement)



Improving tomorrow.

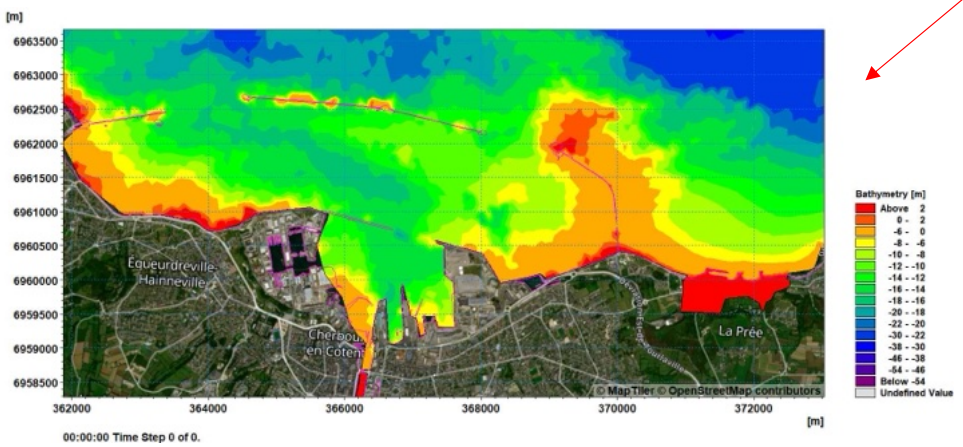
© DHI A/S

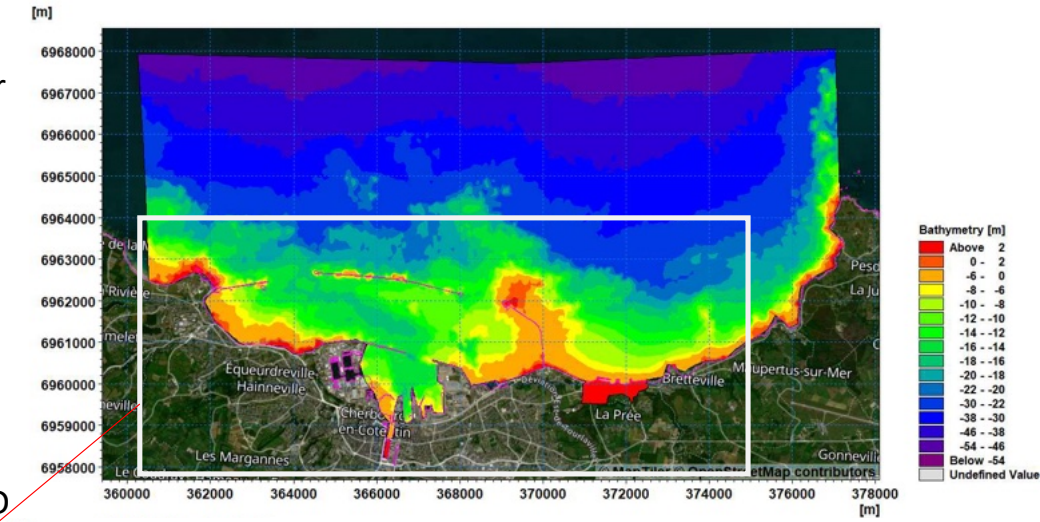
3. Modèles hydrodynamiques

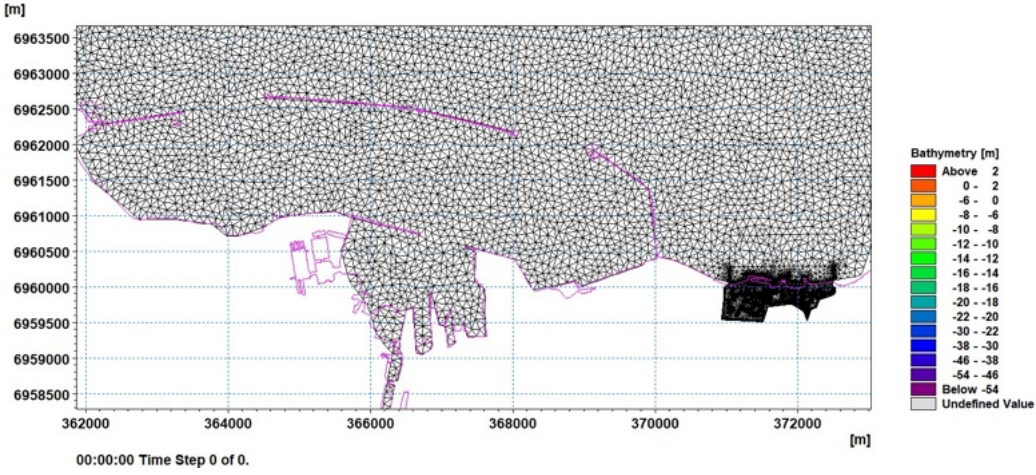
Construction du modèle de M3W de franchissement

- Construction d'un modèle de propagation MIKE SW grande emprise pour propager les vagues jusqu'à la frontière du modèle MIKE 3 Wave (M3W)
- Prise en compte des ouvrages du port de Cherbourg et de leurs effets
- Intégration du point P1 d'analyse des extrêmes dans l'emprise du modèle
- Caractéristiques du modèle
  - Largeur = 7.2 km
  - Longueur côte des mailles = 140 m
  - Longueur côte des mailles à la cote = 30 m

Les données bathymétriques utilisées sont : MNT Homonim (SHOM), Litto3D (SHOM), RGE ALTI (IGN), les mesures photogrammétriques (drone)







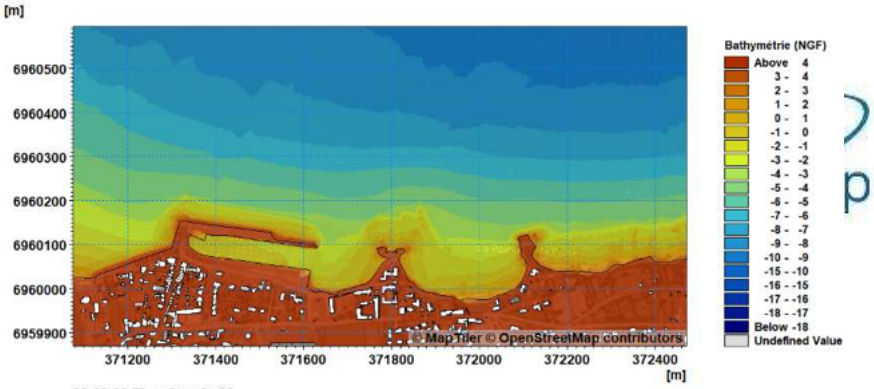
3. Modèles hydrodynamiques

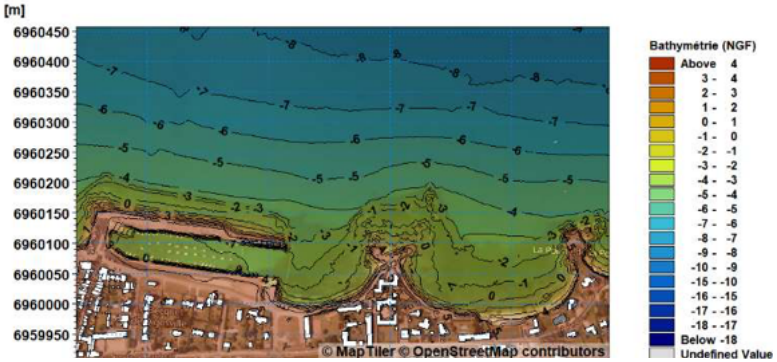
Construction du modèle de M3W de franchissement

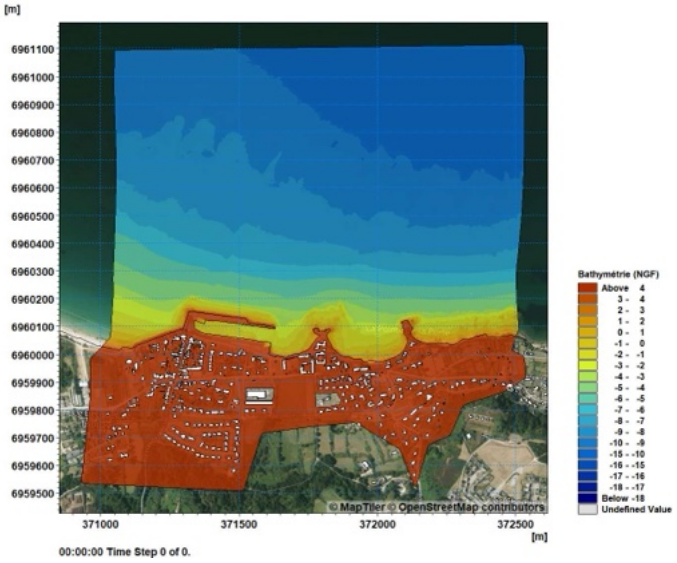
- Construction d'un modèle de franchissement **M3W** d'emprise plus restreinte de longueur 500 m de la côte à la mer

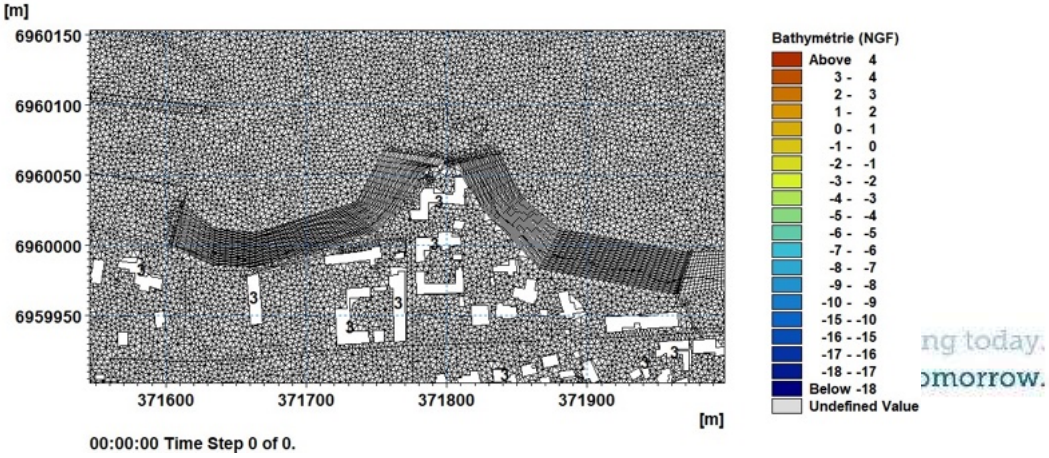
  - Dimension des mailles au large = 4 m
  - Longueur des mailles à la côte = ~ 5 m
  - Largeur des mailles à la côte = 1 m

Les données topo-bathymétriques utilisées sont celles présentées (priorité) : photogrammétrie ->Litto3D->RGE (terre)/Homonim (mer)





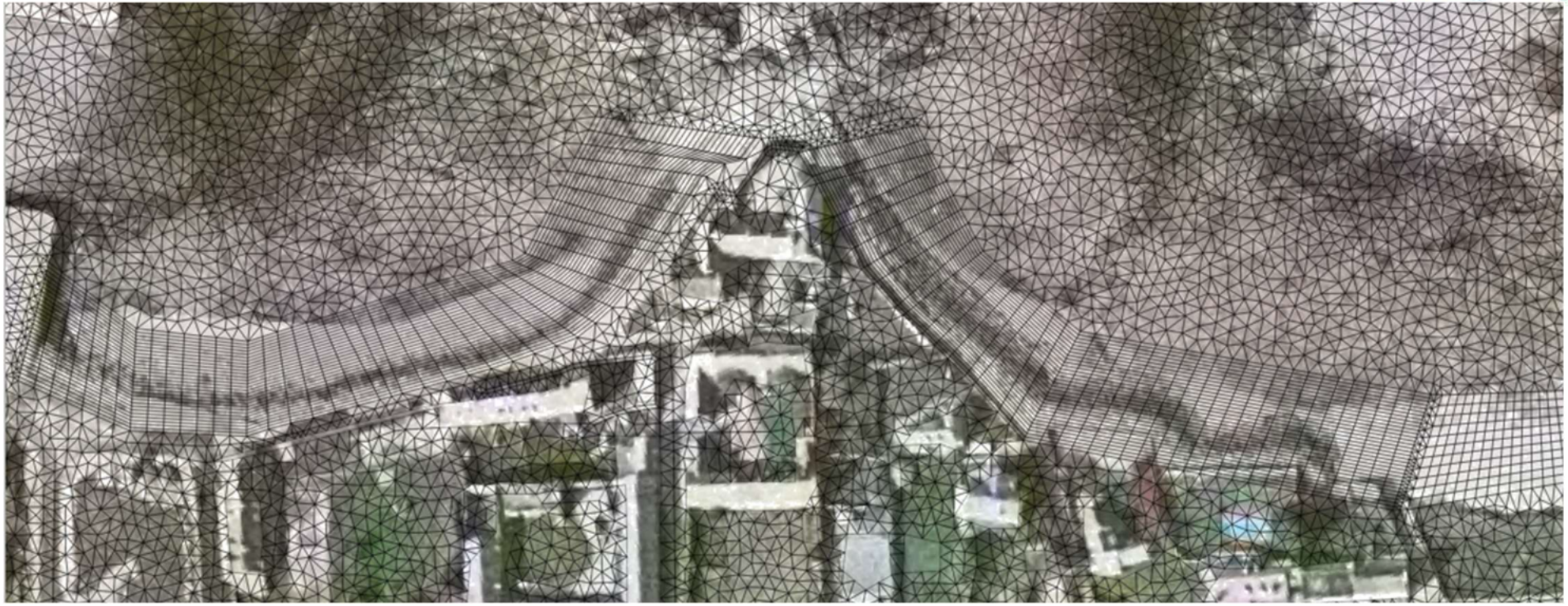




© DHI A/S

3. Modèles hydrodynamiques

Construction du modèle de M3W de franchissement



=> Mailles quadrangulaires de 1m de largeur pour mieux représenter les phénomènes dans la zone de déferlement et à la rencontre des ouvrages de protection

Understanding today.
Improving tomorrow.

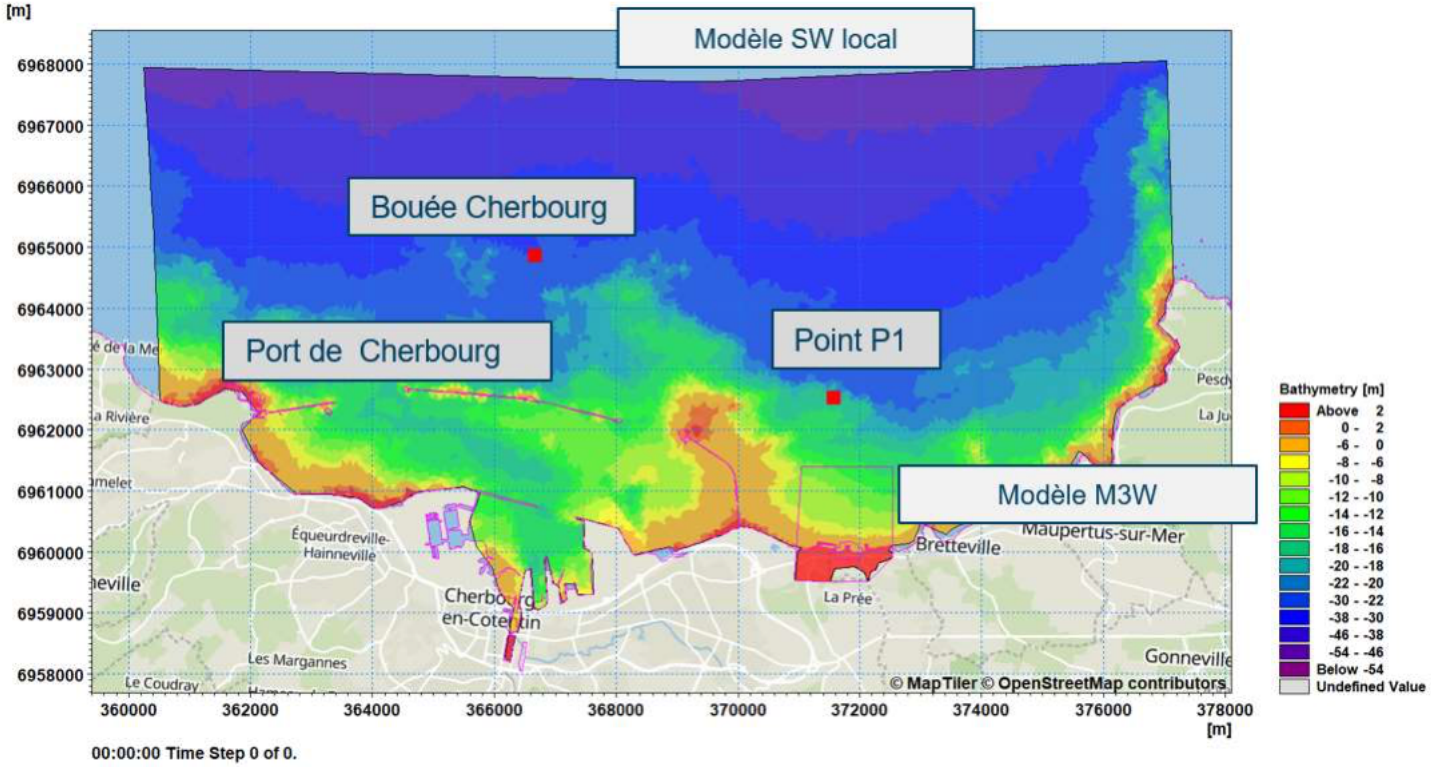
© DHI

3. Modèles hydrodynamiques

Synthèse des éléments importants de la modélisation

Sur cette figure apparaissent :

- Les emprises du modèle SW local et du modèle M3W de franchissement
- La bouée de Cherbourg, servant de validation des modèles de propagation de vagues
- Le point P1 d'extraction des données des modèles hindcast pour l'analyse des valeurs extrêmes (niveaux/vagues) et l'analyse et de probabilité conjointe



Understanding today.
Improving tomorrow.

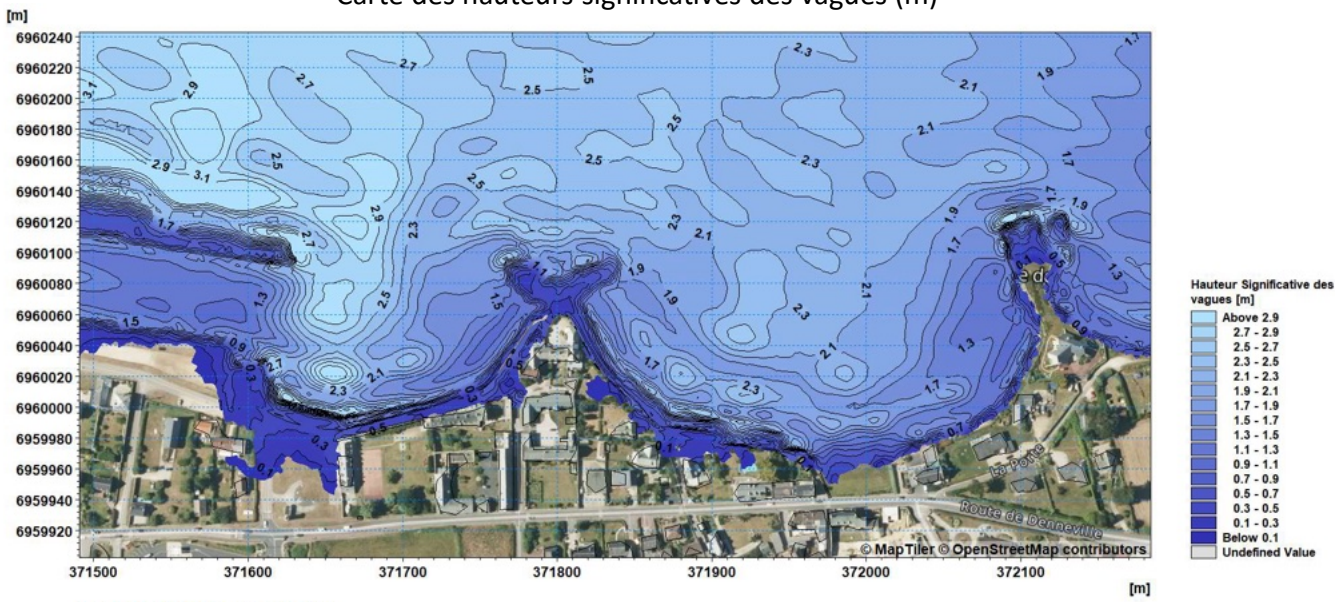
© DHI

3. Modèles hydrodynamiques

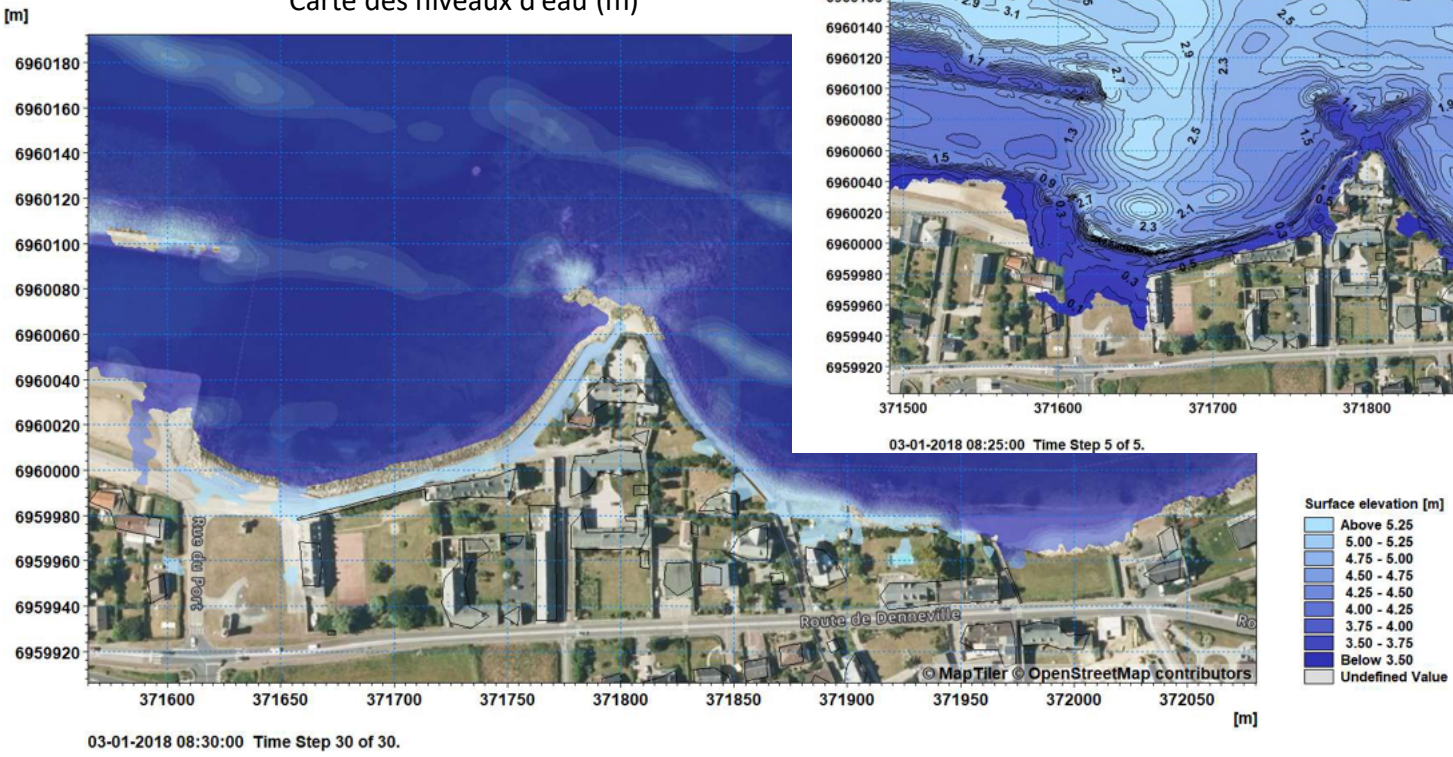
Calage du modèle M3W sur la tempête de mars 2013 : Tempête de NE

- **Niveau d'eau = 3,1mNGF**
- **Hauteurs vagues = 2,8 m**

Carte des hauteurs significatives des vagues (m)



Carte des niveaux d'eau (m)

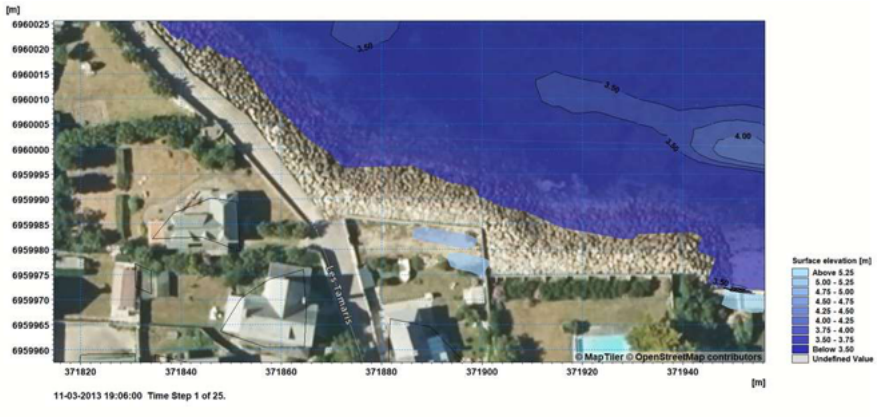


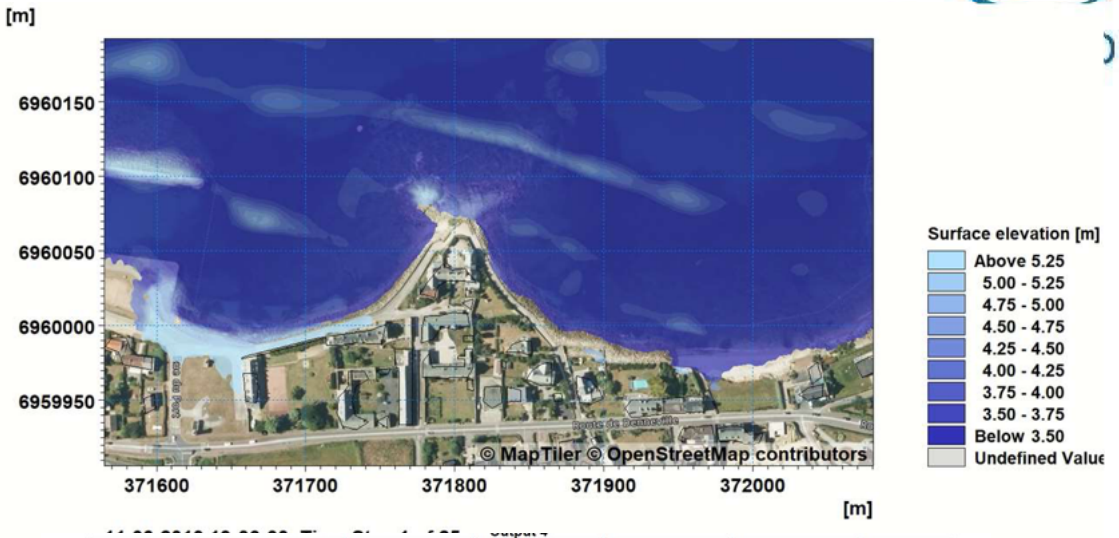
Understanding today.
Improving tomorrow.

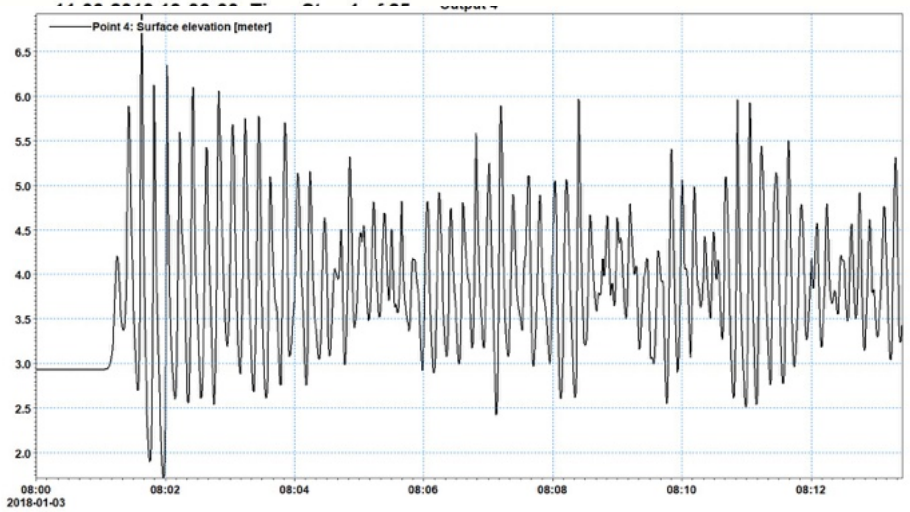
3. Modèles hydrodynamiques

Calage du modèle M3W sur la tempête de ma





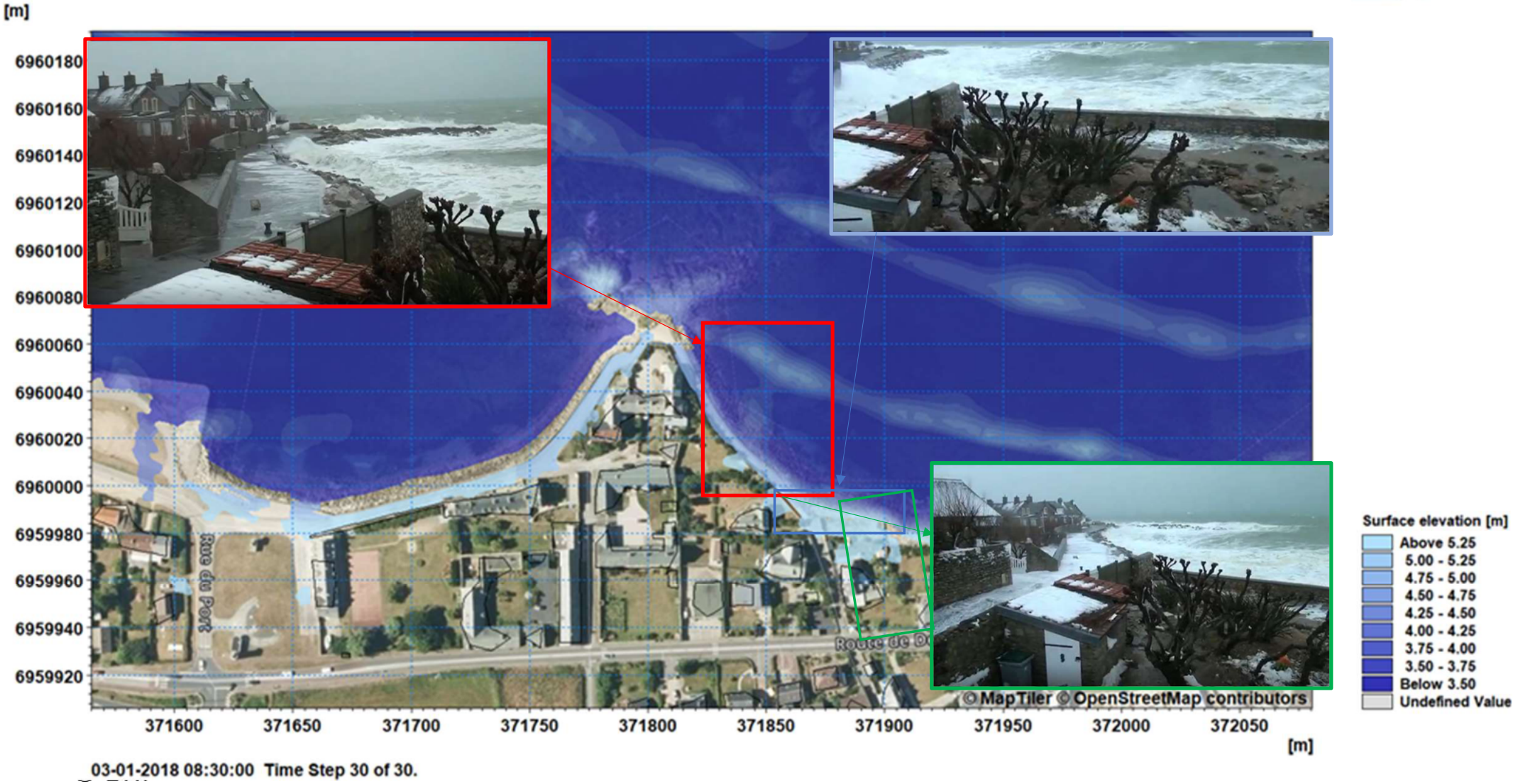




ng today.
omorrow.

© DHI

Résultats : comparaison modèle/réalité des emprises inondées

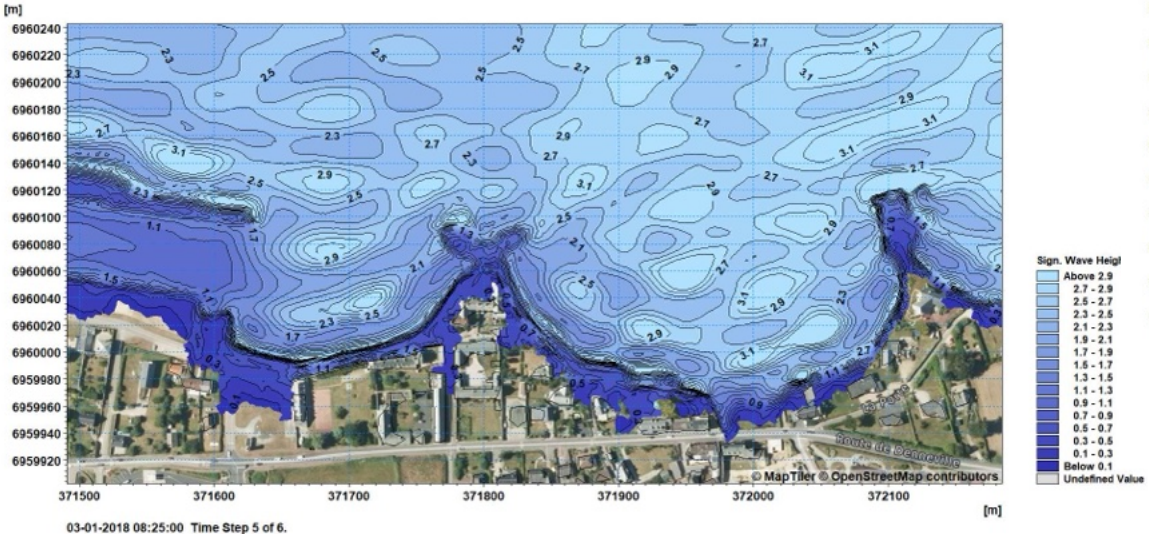


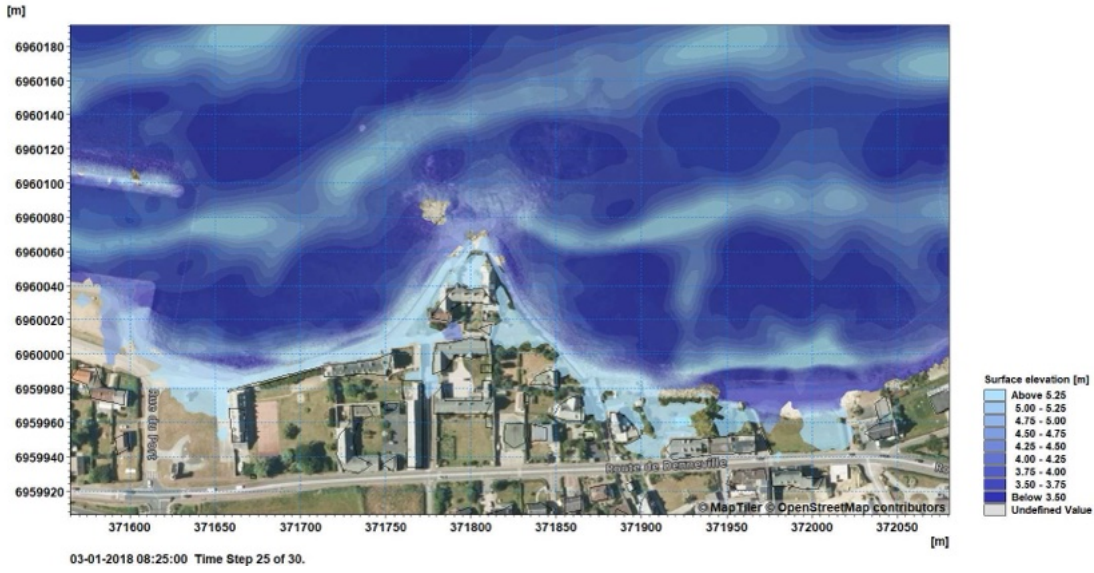
3. Modèles hydrodynamiques

Calage du modèle M3W sur la tempête Eleanor de janvier 2018 : Tempête de NO

Eleanor est un évènement T100 d'après les résultats de l'étude. Les caractéristiques de la tempête du 03/01/2018 à 08h30 à la frontière du modèle M3W sont les suivantes :

- **Niveau d'eau = 3.89mNGF**
- **Hauteurs vagues = 1.78m**





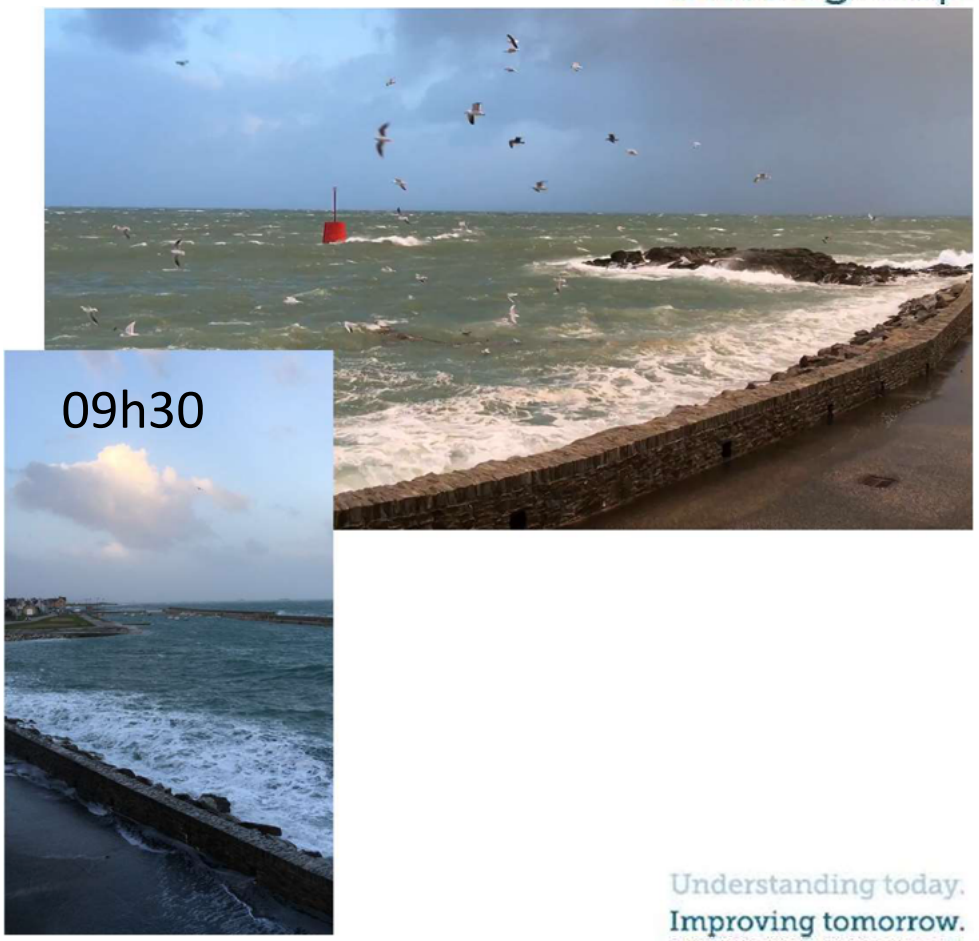
Understanding today.
Improving tomorrow.

© DHI

3. Modèles hydrodynamiques

Calage du modèle M3W sur la tempête Eleanor de janvier 2018 : Tempête de NO





Understanding today.
Improving tomorrow.

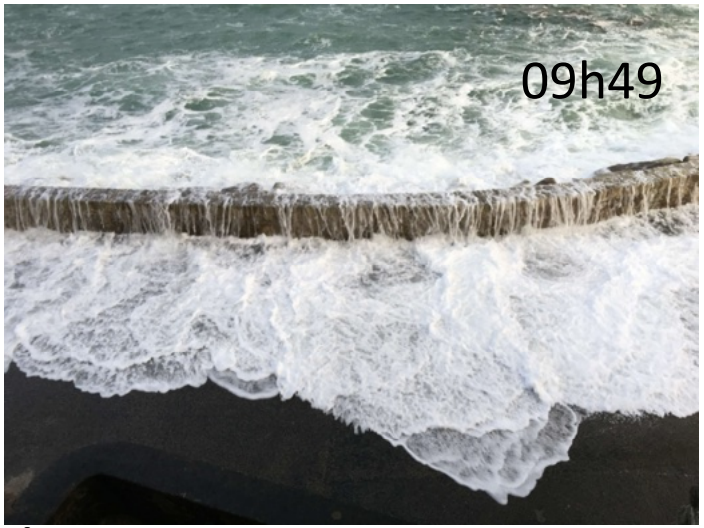
© DHI

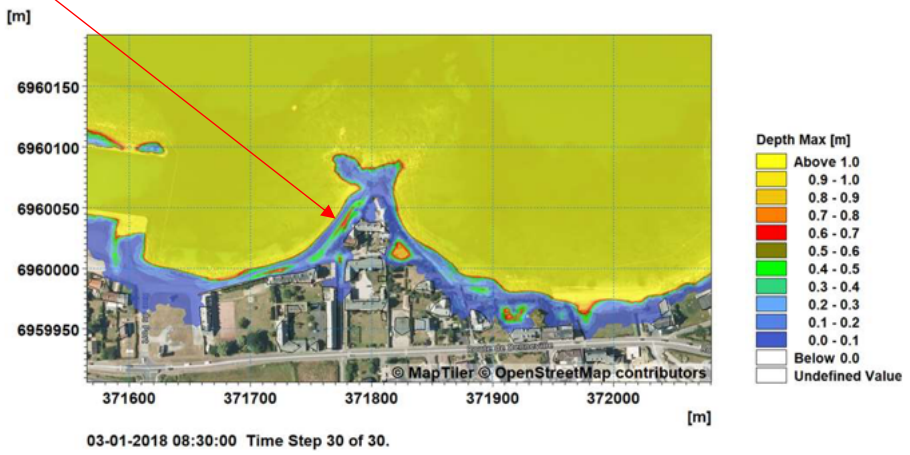
Calage du modèle M3W sur la tempête Eleanor de janvier 2018 : Tempête de NO











- 60/70 cm maximum (localement) → modèle
- 10/15 cm → observations sur images.

Mais deux biais : observations après le pic et retours à la mer par trous dans le muret non modélisés!

Understanding today.
Improving tomorrow.

© DHI

3. Modèles hydrodynamiques

Conclusions sur le calage du modèle M3W

- Bonne représentation de la tempête NE de mars 2013 : Emprise et de localisation des zones submergées

- Surestimation Eleanor (tempête de NO) par rapport aux observations disponibles et au « ressenti » local sur cette tempête

  - Manque d'observations au pic matinal de la tempête
  - Surestimation de la valeur de houle par le modèle (même si déjà réduite d'1 m)
  - Retour des eaux franchies à la mer sur la partie Ouest du site (ouvertures) non intégrés au modèle

Malgré tout, la cote (en m IGN69) atteinte au maximum par l'eau au droit du site dans la modélisation semble cohérente avec les observations plus à l'Est au droit du chemin des Moulins.

=> Le modèle est considéré satisfaisant au regard de l'ensemble des éléments présentés

Understanding today.
Improving tomorrow.

© DHI

4. Définition des couples de projets

Objectif des couples de projet

- **Caractériser les franchissements** au droit du site d'étude pour des tempêtes caractéristiques

- **Tester l'efficacité de solutions d'aménagement** sur la limitation des franchissements → **comparaison avant/après**



Proposition d'aménagements adaptés en fonction de vulnérabilité du secteur

Understanding today.
Improving tomorrow.

© DHI

4. Définition des couples de projets

Analyse de la configuration de la protection actuelle



Côté ouest de la roche Toinette : mur sub-vertical avec enrochement naturel surmonté d'un parapet



Côté est de la roche Toinette mur sub-vertical avec enrochement naturel **absence de parapet**

Le côté Est est le plus vulnérable

Understanding today.
Improving tomorrow.

© DHI

4. Définition des couples de projets

Choix des simulations

Paramètre	Cas 1.1 (Mars 2013)	Cas 1.2 (Mars 2013)	Cas 2.1 (Mars 2013+25cm)	Cas 2.2 (Mars 2013+25cm)
Niveau d'eau*	3.1 m IGN69	3.1 m IGN69	3.35 m IGN69	3.35 m IGN69
Hauteur Vagues*	2.8 m	2.8 m	2.8 m	2.8 m
Rehaussement protection	0,60 m	1 m	0,60 m	1 m

*Conditions marines à la frontière du modèle de franchissement

Choix de baser les simulations sur des conditions de tempête NE (type mars 2013) **car le secteur Est est le plus vulnérable**

→ **Test de 2 murets de hauteur différentes pour 2 conditions marines différentes**

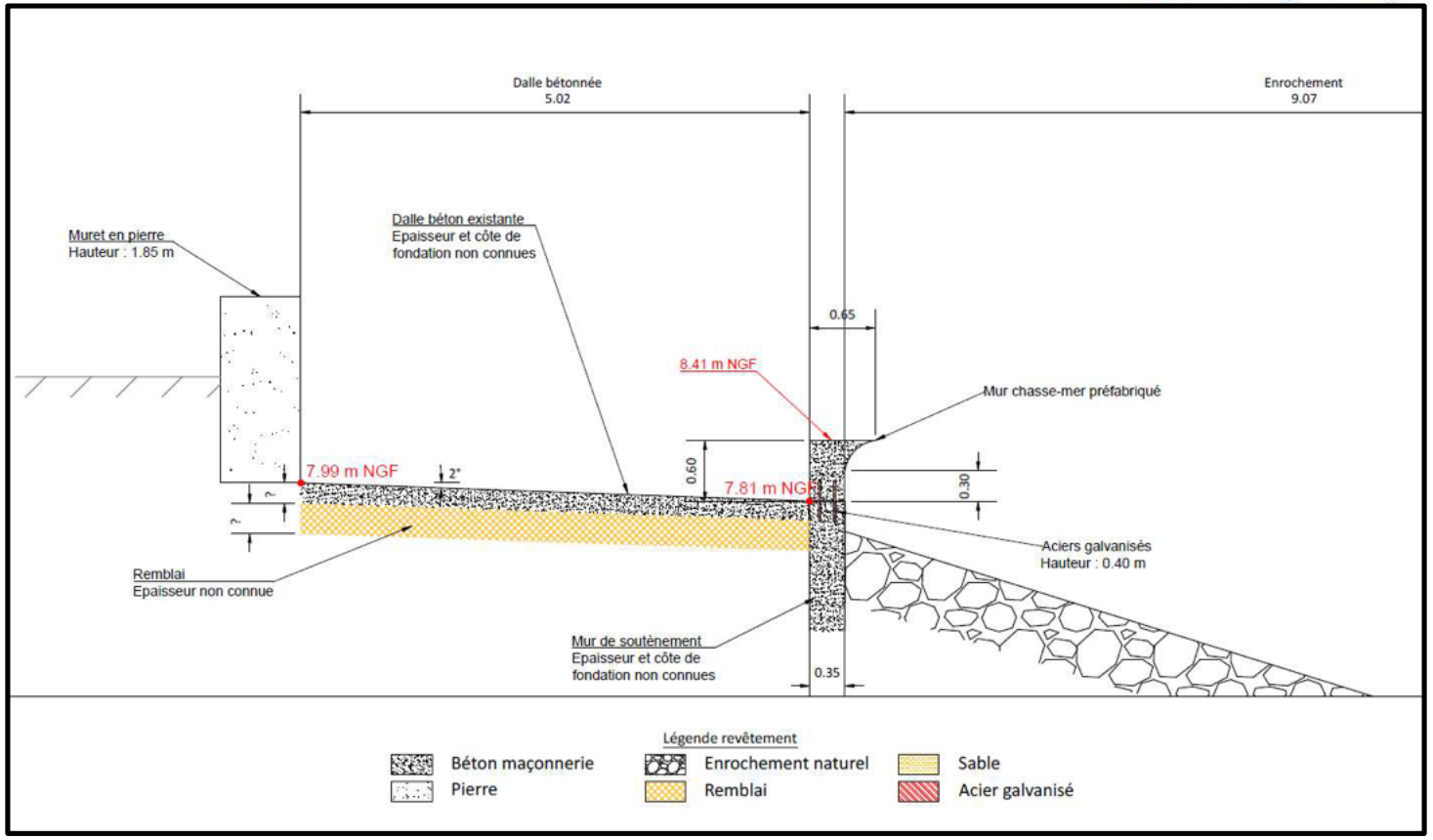
L'offre de base prévoyait 5 simulations. Finalement, 6 simulations ont été réalisées : Eleanor, Mars 2013, Mars 2013 + muret 60cm, Mars 2013 + muret 1m, Mars 2013 + 25cm + muret 60cm , Mars 2013 + 25cm + muret 1m.

Understanding today.
Improving tomorrow.

© DHI

5. Détail des aménagements proposés





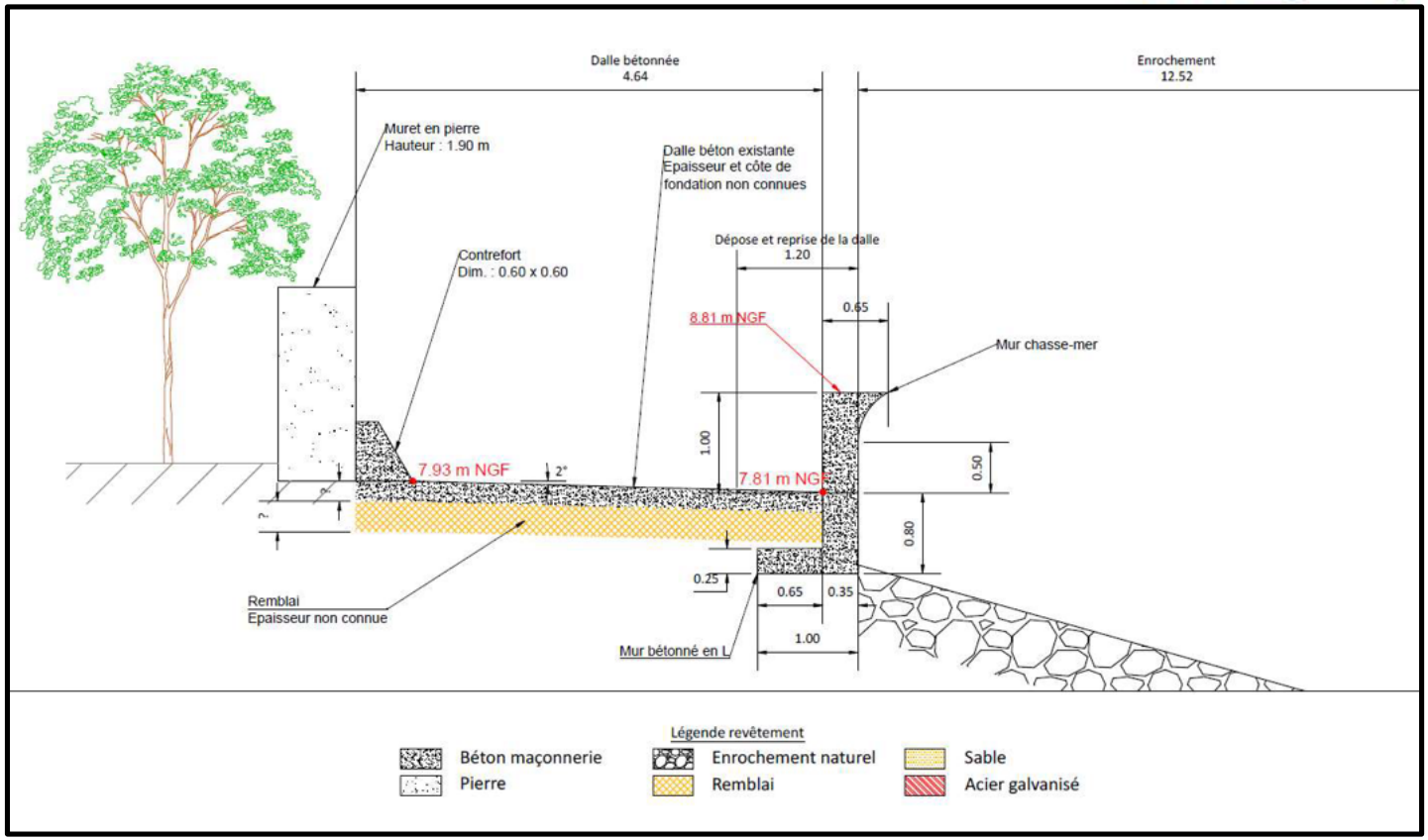
- Muret type chasse-mer de hauteur 60cm ou 1m
- Solution technique: ancrage du muret dans le mur existant
- Barbacanes

© DHI

Understanding today.
Improving tomorrow.

5. Détail des aménagements proposés





- Muret type chasse-mer de hauteur 60cm ou 1m
- Solution technique: fondation du muret dans les terrains sous la dalle
- Barbacanes

© DHI

Understanding today.
Improving tomorrow.

5. Détail des aménagements proposés

<u>En plus du muret chasse-mer</u>

- Mise en place d'un batardeau amovible
- Creusement d'un caniveau avec grille d'évacuation

Objectif : éviter les remontées d'eau par la rue Les Tamaris

Exemple d'un batardeau amovible







Exemple de caniveau d'évacuation



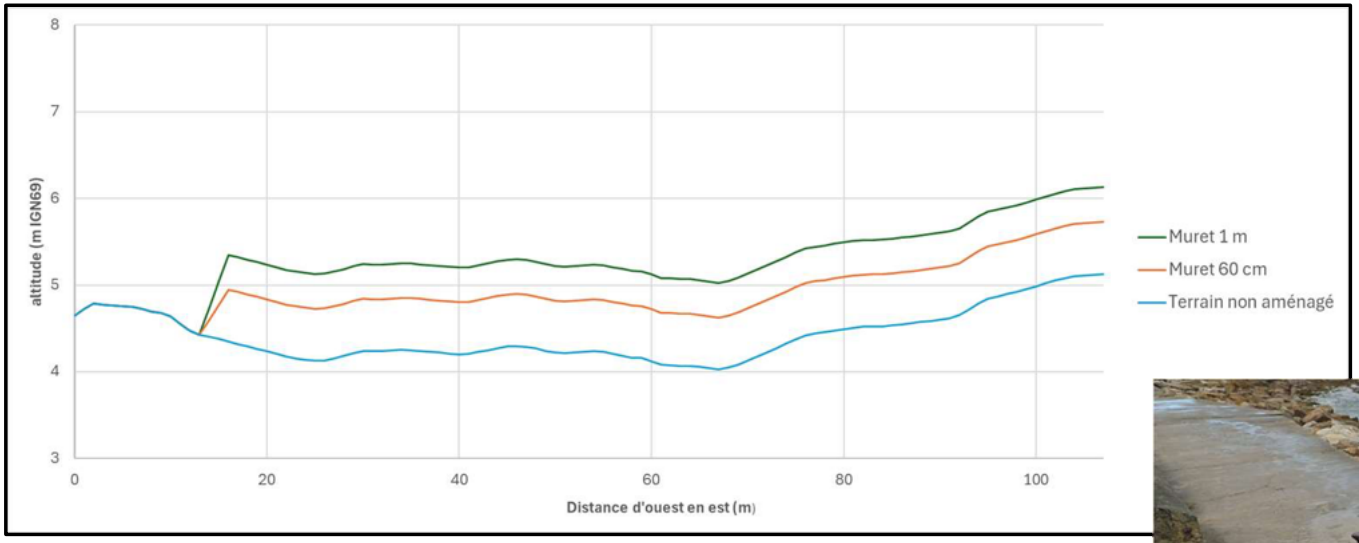
© DHI

Improving tomorrow.

6. Résultats des simulations des aménagements

Rehausse de la protection

- Création d'une une altimétrie augmentée (muret) de +60 cm ou de +1m selon le cas considéré
- Le muret rejoint ainsi celui existant à l'extrémité Est du tronçon



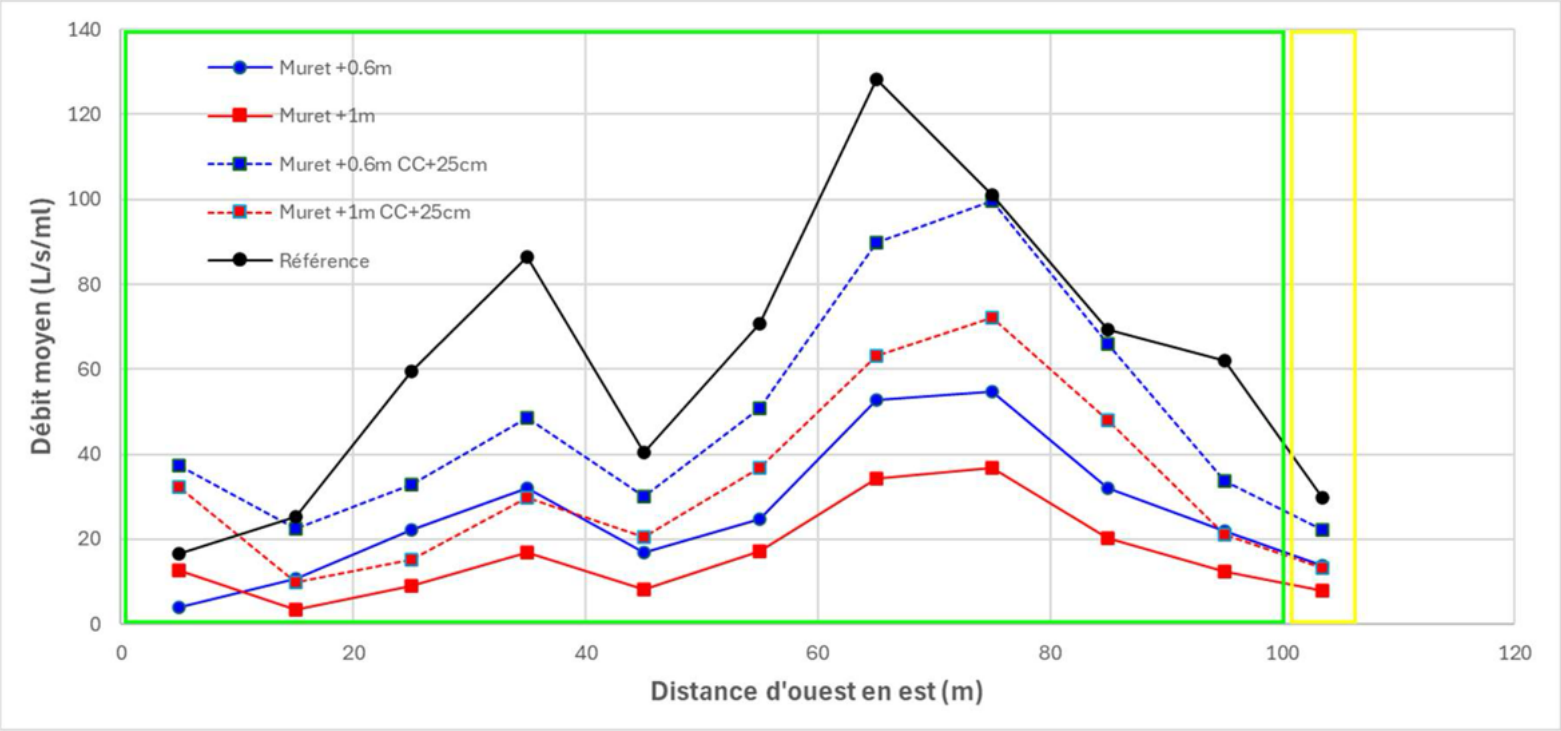


© DHI

6. Résultats des simulations des aménagements

Débits de franchissement

- Les débits moyens franchissant, en L/s/ml, pour des sous-tronçons de 10 m pour chaque cas simulé (secteur vert);
- Débits franchissant moyen pour le sous-tronçon de 7m final à l'Est pour les cas simulés (secteur jaune)





Understanding today.
Improving tomorrow.

© DHI

6. Résultats des simulations des aménagements

Volumes franchis

- Volumes franchissant, en m3, pour chaque cas simulé ;
- Indication de la performance de la solution par la diminution du volume franchi en %.

Scénario	Secteur vert	Secteur jaune
Cas non aménagé	11 090 m3	500 m3
Cas 1.1 (muret +0,6 m)	4 580 m3 **(-59%)**	230 m3 **(-54%)**
Cas 1.2 (muret +1m)	2 870 m3 **(-74%)**	130 m3 **(-74%)**
Cas 2.1 (muret +0,6 m/CC+25cm)	8 590 m3 **(-22%)**	375 m3 **(-25%)**
Cas 2.2 (muret +1 mCC+25 cm)	5 865 m3 **(-47%)**	220 m3 **(-56%)**



Understanding today.
Improving tomorrow.

© DHI

7. Coûts des aménagements proposés

Désignation	Coûts (€ HT)
Etudes géotechniques G5 et G2 AVP/PRO	25 000
Dossier loi sur l'eau	10 000
Maîtrise d'œuvre complète	40 000
Rehausse muret **0,6m** avec ancrage sur 100 ml	170 000
Rehausse muret **1m** avec ancrage 100 ml	205 000
Rehausse muret **0,6m** avec fondation 100 ml	220 000
Rehausse muret **1m** avec fondation 100 ml	235 000

Total coûts études (€ HT)	Total coûts travaux (€HT)
75 000	**Entre 170 000 et 235 000**

Coût total estimé en cas de projet de travaux: 245 000 – 310 000 €HT

Understanding today.
Improving tomorrow.

© DHI

8. Conclusion et synthèse

- Etude de la configuration du site
- Construction d'un modèle local de propagation de vagues
- Construction d'un modèle de franchissements
- Test de 4 situations aménagées (murets de 0,6m et 1m) avec tempêtes de NE

Coût total estimé en cas de projet de travaux: 245 000 – 310 000 €HT

Understanding today.
Improving tomorrow.

© DHI

Merci pour votre attention

Antea Group

Understanding today.
Improving tomorrow.

www.anteagroup.fr