



POURQUOI LA RÉGION SOUTIENT-ELLE LE PROJET DIKWE ?

Port de Boulogne-sur-Mer - Calais

Association française de génie civil – 18 novembre 2025

SOMMAIRE

1. **Le schéma directeur de l'énergie, l'ambition de décarboner**
2. La digue Carnot, l'ouvrage clé du site portuaire de Boulogne-sur-Mer
3. Préparer l'avenir, conjuguer adaptation et atténuation pour un port résilient et compétitif



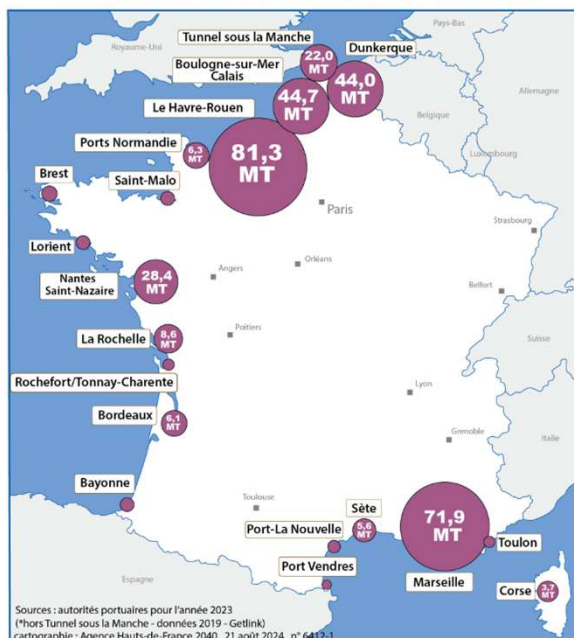
1. LE PORT DE BOULOGNE-SUR-MER - CALAIS



- **Région** : Autorité portuaire
- **SEPD** : Concessionnaire (DSP de 50 ans)



TRAFFIC DE MARCHANDISES EN 2023
EN MILLIONS DE TONNES (MT)
DANS LES PRINCIPAUX PORTS FRANÇAIS



2 sites distincts

Calais : 1^{er} port de passagers et 3^{ème} port de commerce

Boulogne/Mer : 1^{er} port de pêche et centre européen de transformation de produits de la mer

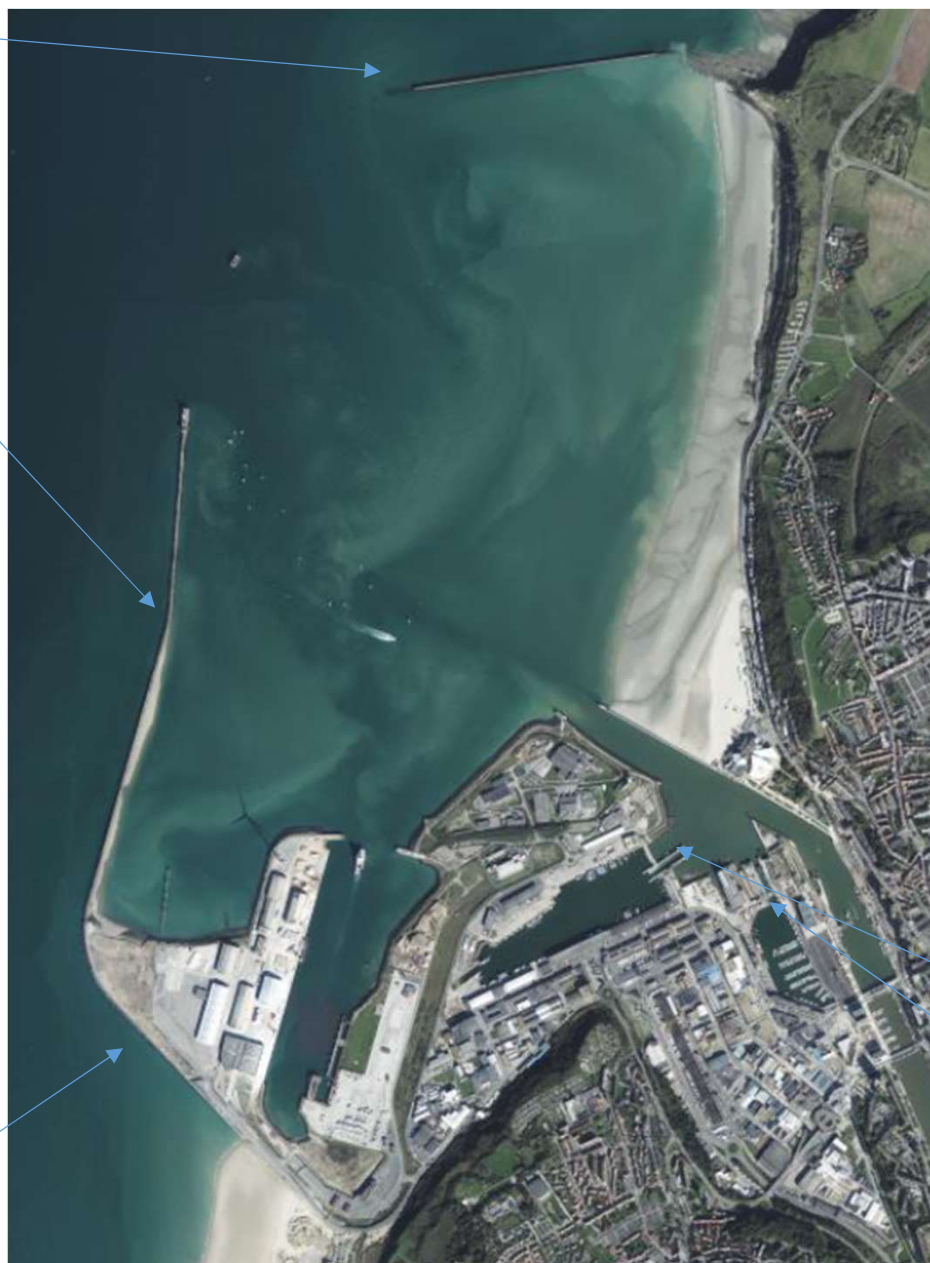
1. LE SITE PORTUAIRE DE BOULOGNE-SUR-MER



Digue Nord

Digue Carnot,
branche mer

Digue Carnot,
branche terre



Port de commerce,
pêche, plaisance et
construction navale

Écluse Loubet

Écluse Sanson

2. LE SCHÉMA DIRECTEUR DE L'ÉNERGIE



3 grands axes

- Sobriété et efficacité
- Énergies renouvelables et de récupération
- Carburants moins carbonés

Actions en cours hors d'EnRR :

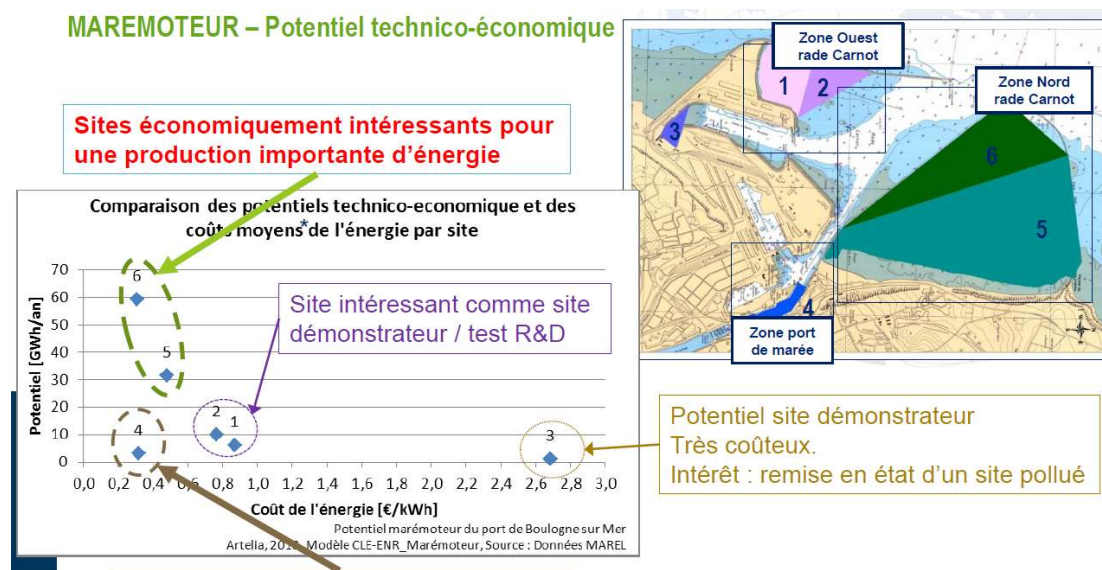
- R&D Efficacy : proposition d'un mix et d'une stratégie énergétiques
- Économies d'énergie
- Électrification des quais : le gros sujet de Calais
- Carburants alternatifs chalutiers - Boulogne



2. LES ENRR A BOULOGNE-SUR-MER

Étude sur les gisements d'EMR en 2013 – ARTELIA sous pilotage CAB

- Osmotique : pas de gisement
- Houlomoteur (système étudié OWC, colonne d'eau oscillante) : implantation très coûteuse en raison du marnage – pas d'étude d'un système de type Dikwe
- Thalassothermie : gisement intéressant → **Démonstrateur CAB**
- Marémoteur : gisement intéressant mais attention aux impacts sur l'environnement et sur les usages → **Étude des enjeux en cours**



IMAGINONS LES GISEMENTS D'ENR



LES GISEMENTS D'ENR



Consommation d'électricité estimée
106 GWh à Boulogne-sur-Mer / Capécure
60 GWh à Calais

*Données (Iris ENEDIS)
Sans tenir compte des besoins à venir*

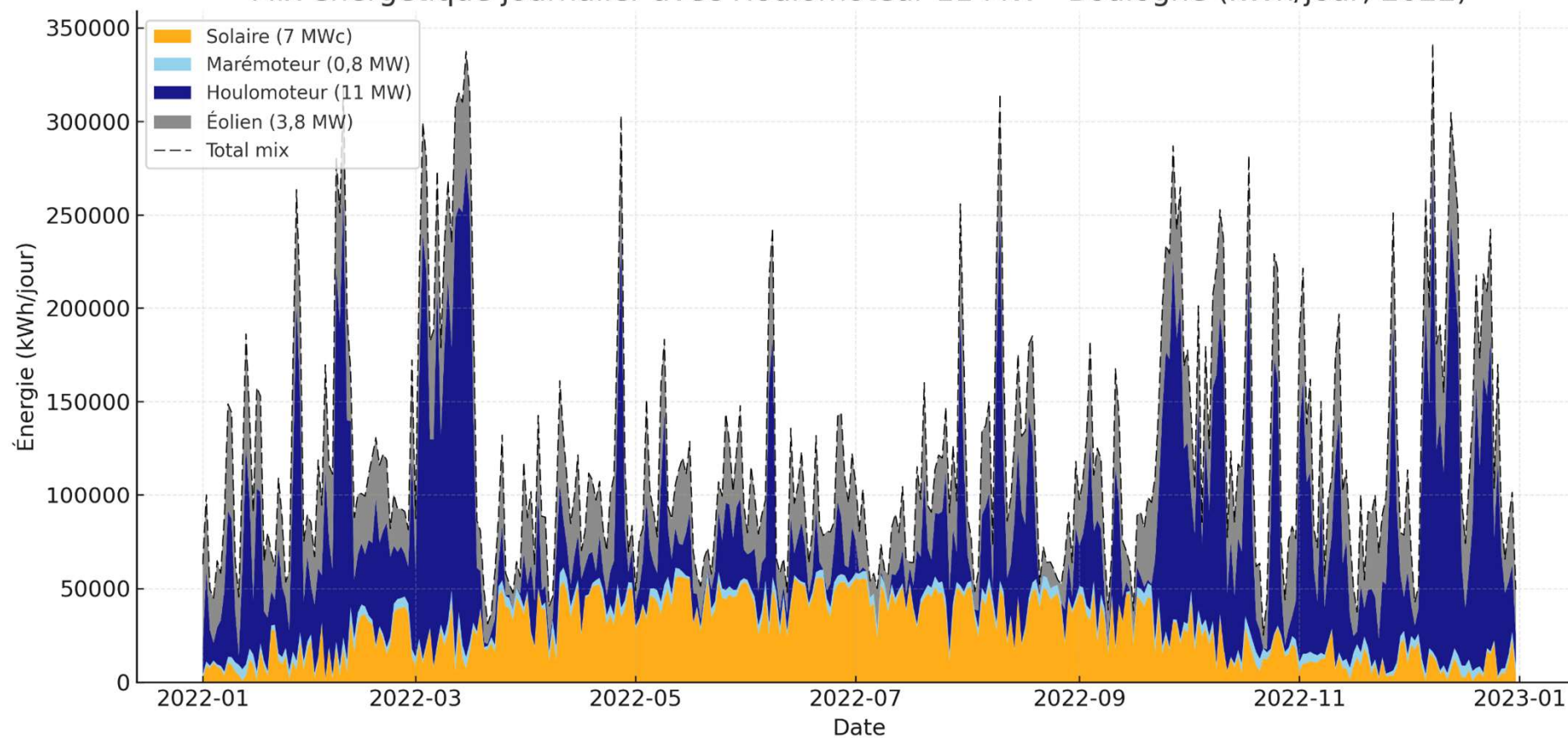
Potentiel brut de production estimé à Boulogne :

Éolien :	+/- 13 GWh/an (1 éolienne)
Houlomoteur :	+/- 11 GWh/an (digue entière)
Solaire sur toitures :	+/- 1,8 GWh/an
Solaire en ombrières :	+/- 1,8 GWh/an
Petit marémoteur :	+/- 1,8 GWh/an
Solaire flottant :	+/- 7 GWh/an
Grand marémoteur :	+/- 65 GWh/an
TOTAL	+/- 101,4 GWh/an

PRODUCTIBLE ANNUEL - ESTIMATION



Mix énergétique journalier avec Houlomoteur 11 MW - Boulogne (kWh/jour, 2022)



SOMMAIRE

1. Le schéma directeur de l'énergie, l'ambition de décarboner
2. **La digue Carnot, l'ouvrage clé du site portuaire de Boulogne-sur-Mer**
3. Préparer l'avenir, conjuguer adaptation et atténuation pour un port résilient et compétitif



LA DIGUE CARNOT UN OUVRAGE ESSENTIEL POUR LE PORT



Protection contre les
houles dominantes
Ouest et Sud-Ouest:

- Limitation de l'agitation
- Navigation et tenue à quai des navires
- Protection quais contre le franchissement

HISTORIQUE DE LA DIGUE

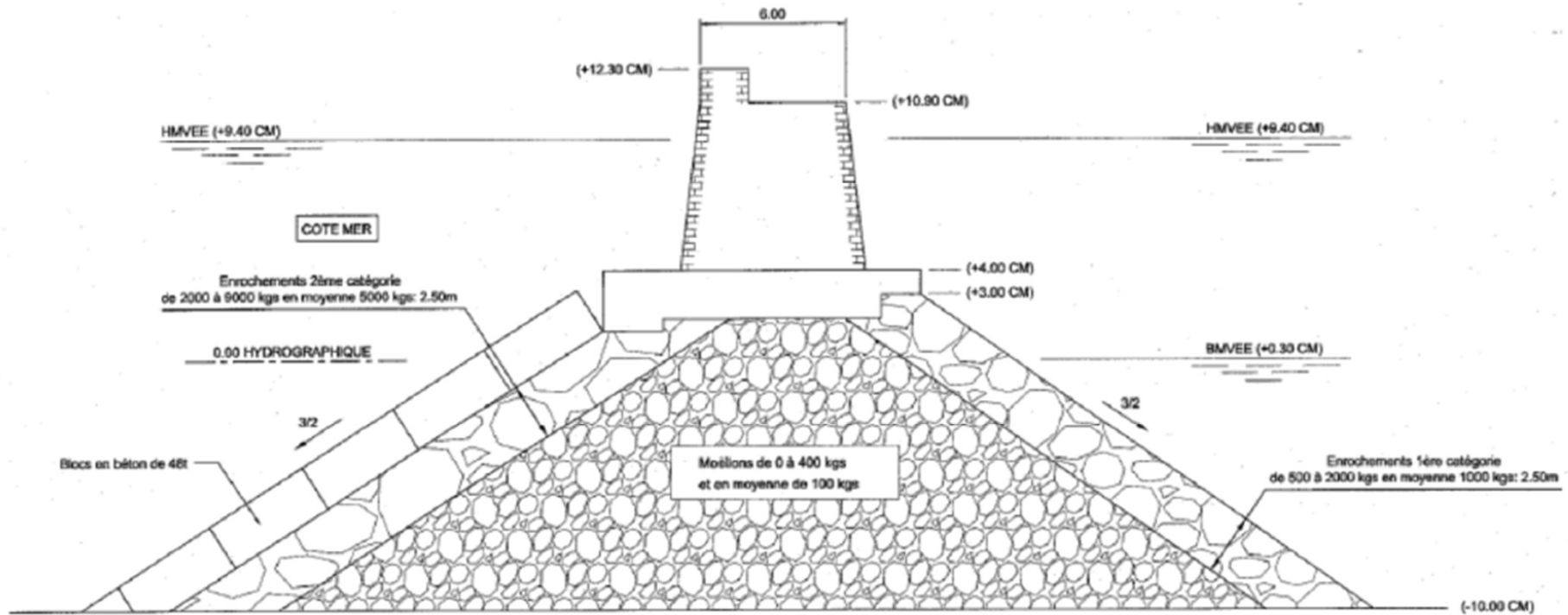


Ouvrage construit sur 80 ans le 1879 à 1958 essentiellement en régie

Dés 1900 et jusque 1960 : travaux d'entretien réguliers en régie (rechargement, rejointoiements et réparations) après tempêtes

A partir de 1960 travaux d'entretien plus irrégulier au rythme des opération d'investissement

STRUCTURE DE LA DIGUE MIXTE



Noyau en matériaux de carrière 40/200kg de -10 à +2 CM

Carapace en enrochement naturel 1 à 4 T côté terre, 4 à 8 T côté mer et blocs artificiels 33 et 55 T

Risberme d'assise et muraille en maçonnerie arasée à +10,9 CM avec parapet

RAJOUT MUR CHASSE-MER - 1976-1980



TRAVAUX D'ENTRETIEN



1997 à 1999 : campagne de rechargement de la carapace par moyen nautique par entreprise

Jusqu'en 2014 : maintenance de la muraille, de la risberme et du parapet en régie

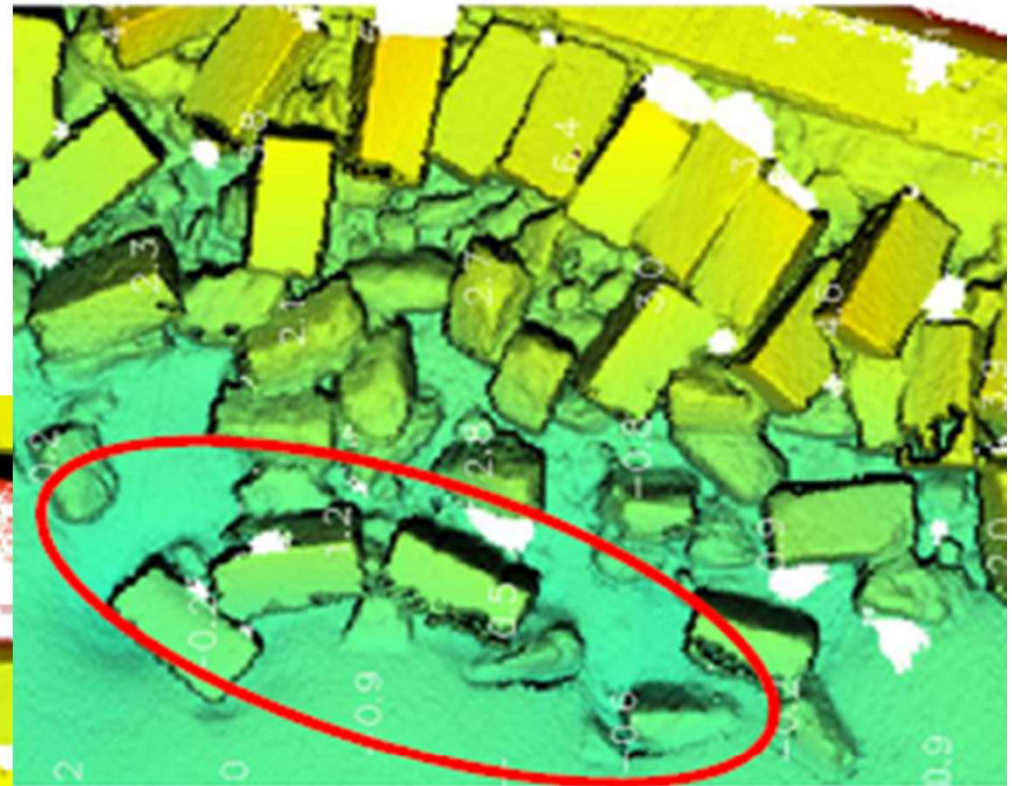
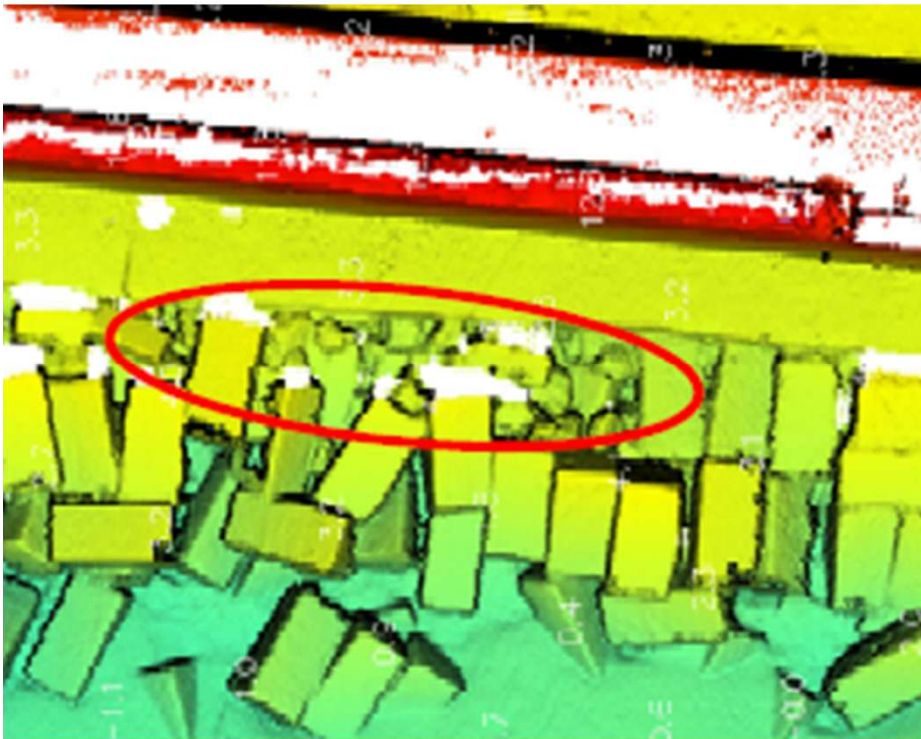
2017-2018 : campagne de rechargement de la carapace et réparation muraille et risberme par entreprise

Depuis : entretien muraille et risberme par entreprise, parapet en régie, annuellement

DÉSORDRES LIÉS AU DÉFAUT DE BUTÉE DE PIED

Fragilisation de la carapace

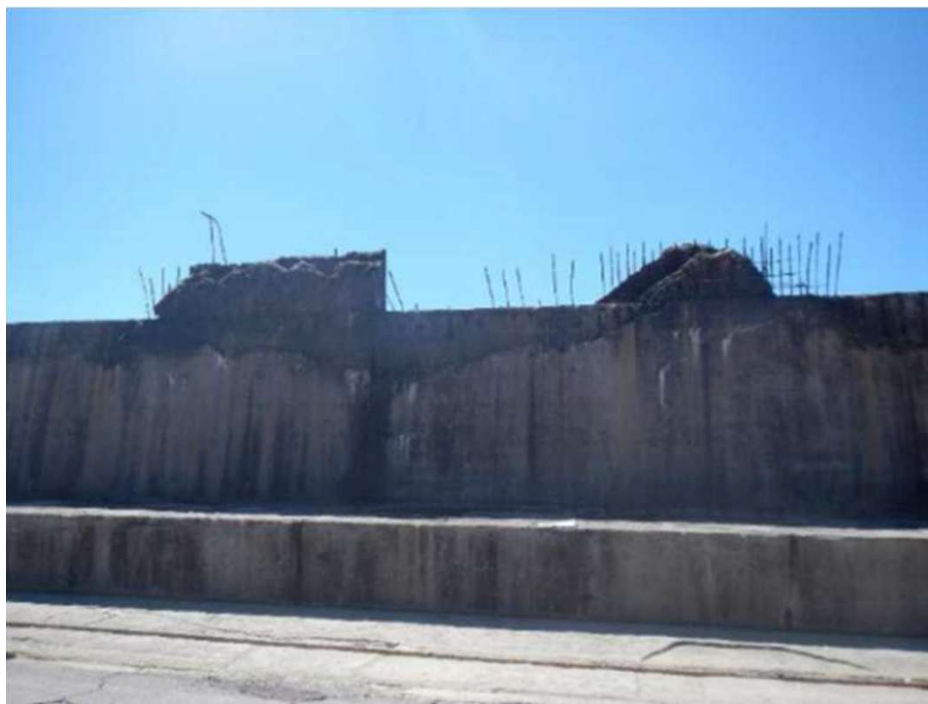
Défaillance de la protection du noyau



Défaut de protection de la risberme

Apparition de cavités = défaut dassise

DÉSORDRES SUR BÉTON ARMÉ



Corrosion des armatures (fissures, épaufrures, aciers apparents...)

Dégradations voire arrachement parapet et mur chasse mer sous l'assaut des vagues

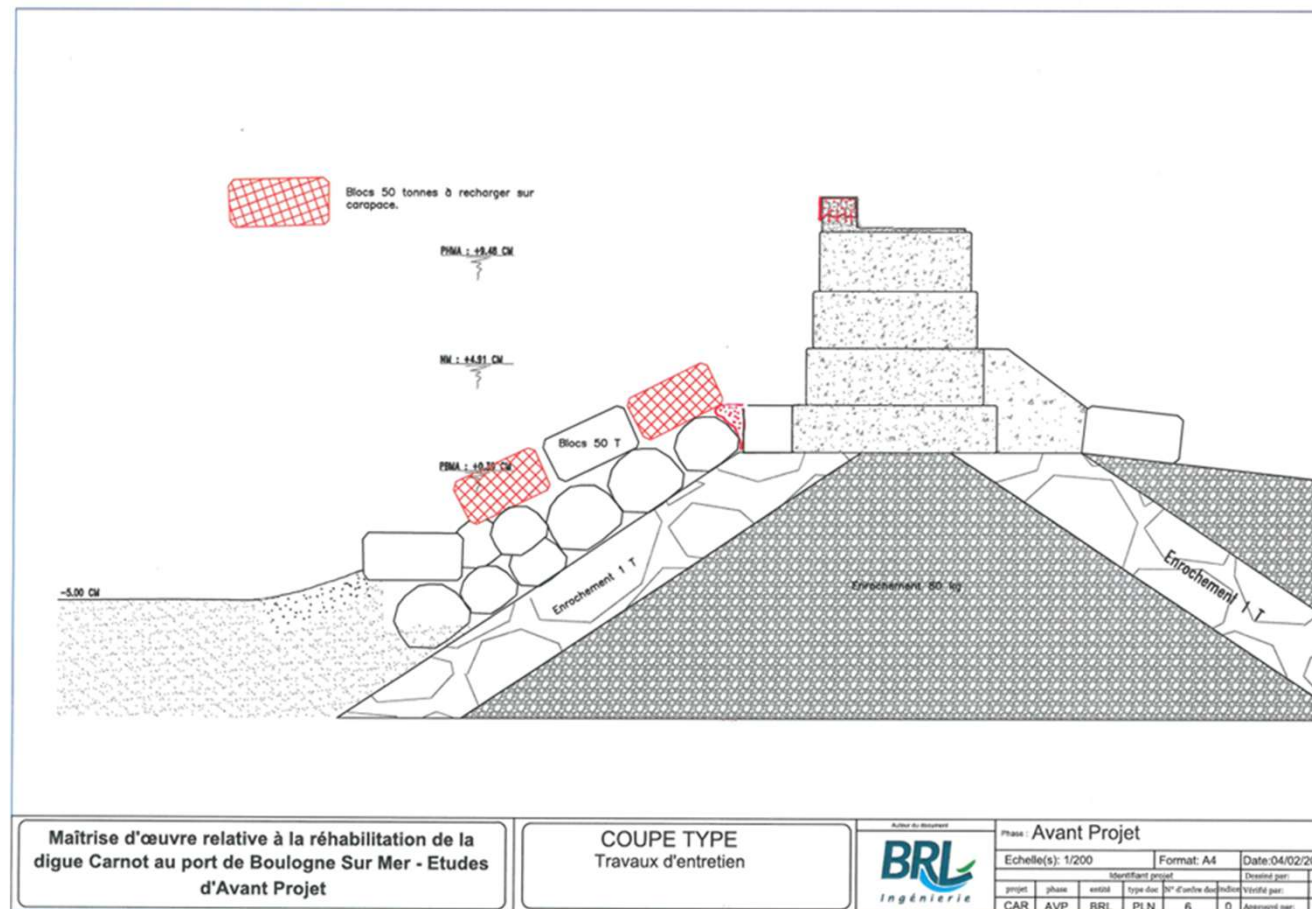
DÉSORDRES SUR MAÇONNERIE



Actions mécaniques et physico chimique de la mer
(abrasion/perte moellons, altération des joints, cavités, fissuration etc...)

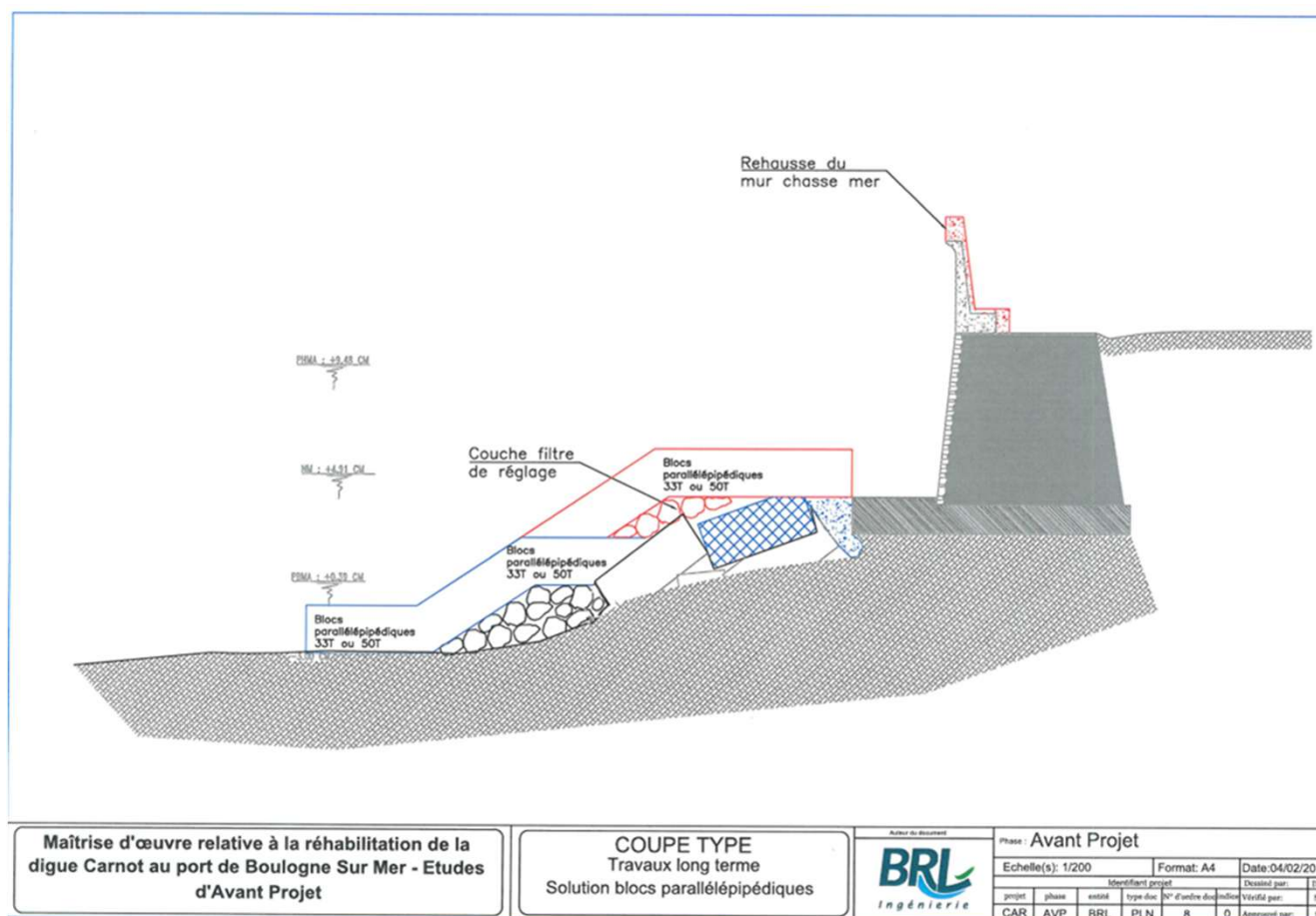
DIAGNOSTIC BRL 2014

Travaux de gros entretiens : rechargement de la carapace, confortement de la risberme, réhabilitation muraille et plate-forme



DIAGNOSTIC BRL 2014

A moyen et long terme (2100) : création d'une butée de pied, rechargement complet de la carapace et rehausse murs chasse-mer à +15,75CM



DIAGNOSTIC BRL 2014



■ Travaux de gros entretiens

- 2 ans de rechargement tous les 20 ans + réparations annuelles maçonnerie/BA
- Coût annualisé : 2 M€

■ Travaux à long terme

- 7 ans de travaux + réparations annuelles maçonnerie/BA
- Coût estimé à 100 M€ avec actualisation hors frais de réparations annuelles : étude Ingémarine de 2023.

SOMMAIRE

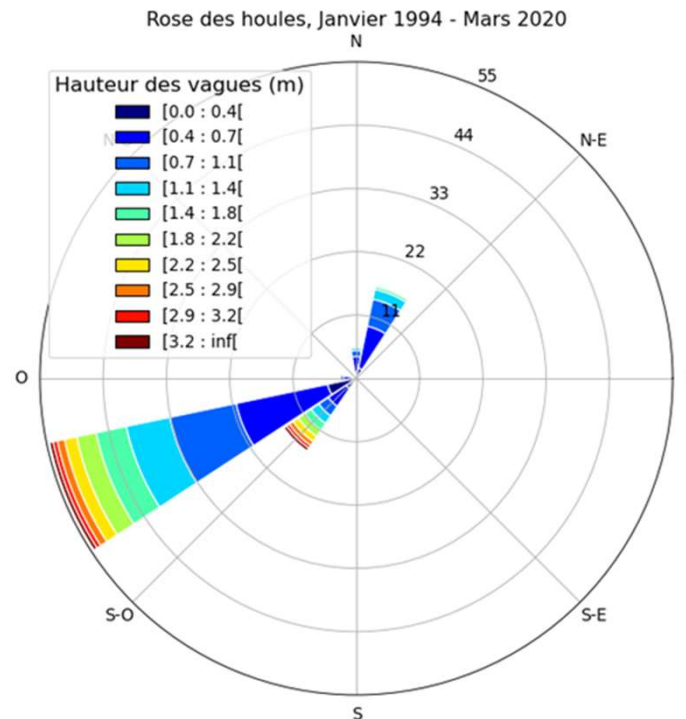
1. Le schéma directeur de l'énergie, l'ambition de décarboner
2. La digue Carnot, l'ouvrage clé du site portuaire de Boulogne-sur-Mer
3. **Préparer l'avenir, conjuguer adaptation et atténuation pour un port résilient et compétitif**



IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Étude Créocéan 2023 – 2024 : impact de l'élévation du niveau marin sur les ouvrages portuaires

- 2 scénario du GIEC : pessimiste (8.5) et intermédiaire (4.5)
- 3 horizons temporels : 2050, 2070 et 2100
- 3 occurrences de tempête : annuelle – centennale – bicentennale

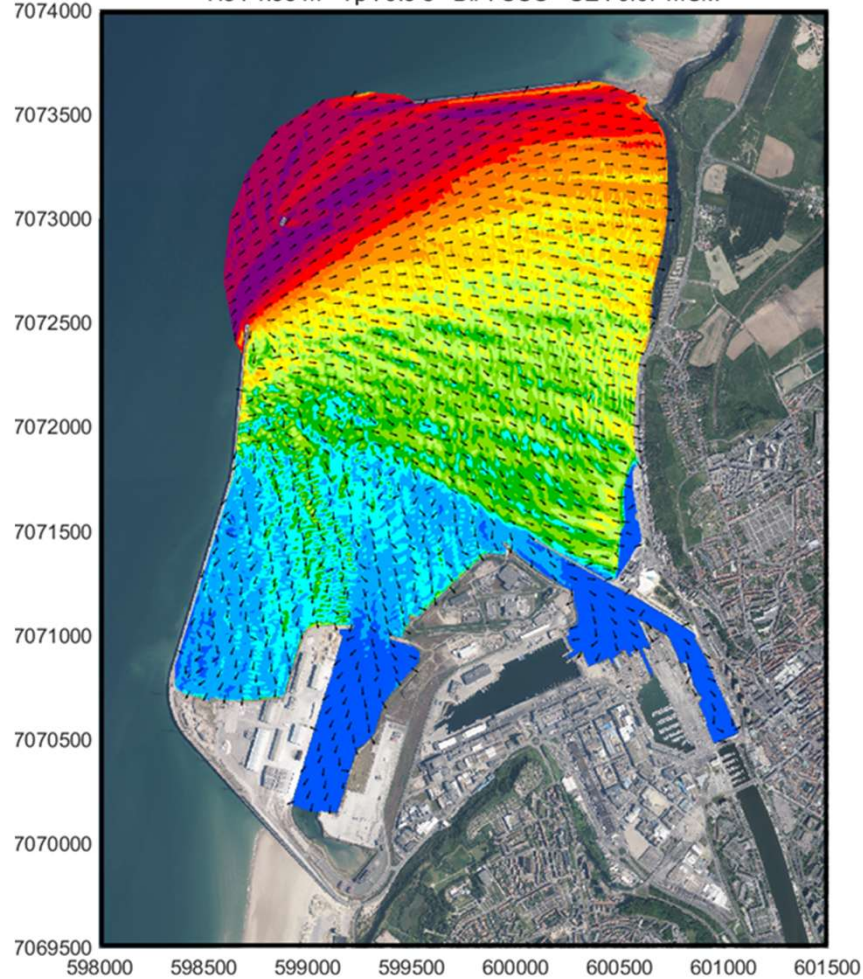


HOULE ET AGITATION



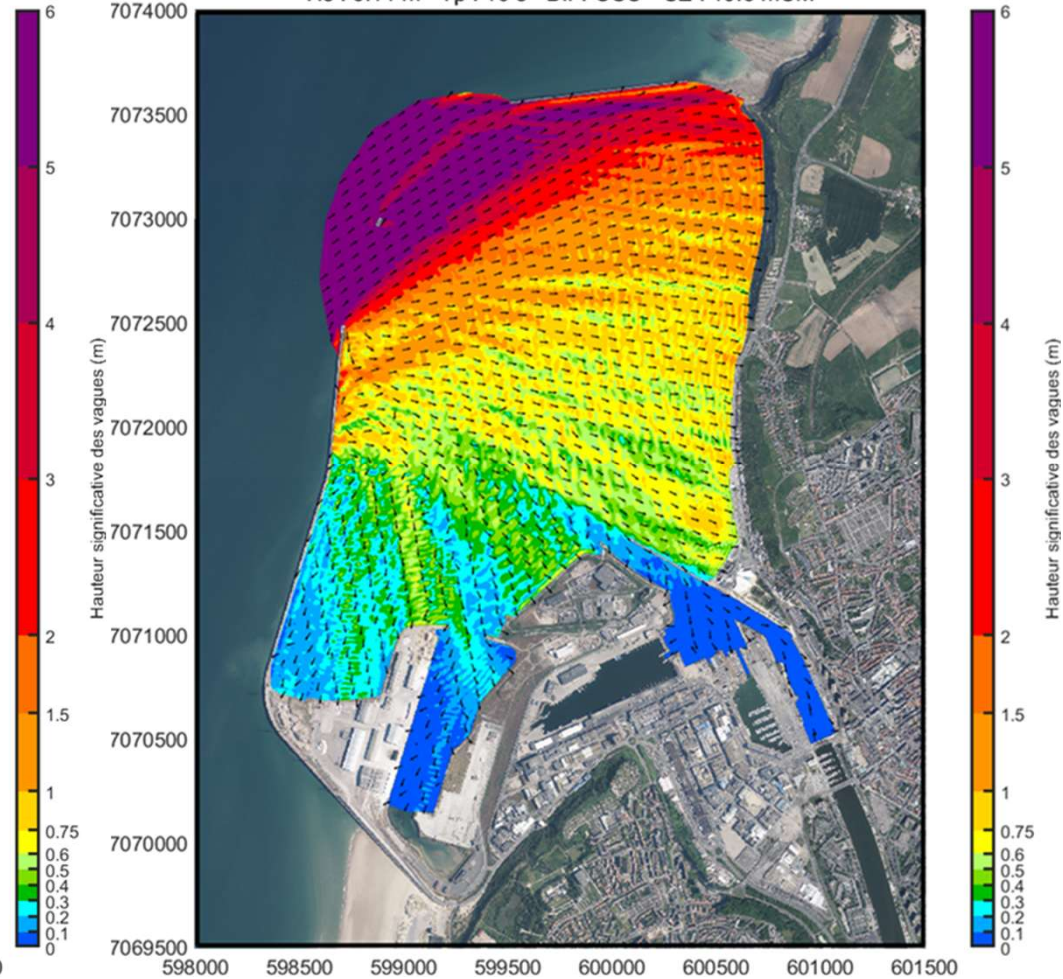
Agitation port de Boulogne - Cas 1

Hs : 4.38 m - Tp : 9.5 s - Dir : OSO - SE : 9.67 mCM



Agitation port de Boulogne - Cas 15

Hs : 6.11 m - Tp : 10 s - Dir : OSO - SE : 10.6 mCM



Faible influence du CC sur la houle dominante O-S-O et sur l'agitation portuaire

FRANCHISSEMENT HYDRAULIQUE

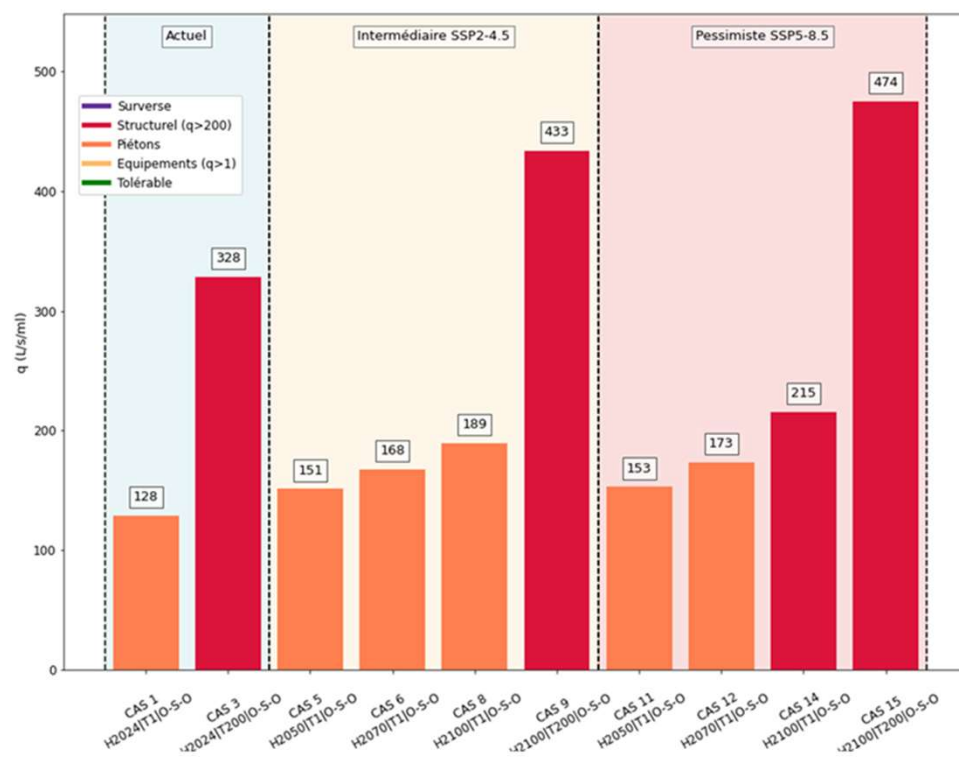


Surverse	Niveau d'eau supérieur à la cote d'arase de l'ouvrage	
Domages sur la structure	-	$q > 200 \text{ l.s}^{-1}.\text{ml}^{-1}$
Dangers pour les piétons	$0.5 \text{ m} \leq H_{m0} < 1 \text{ m}$	$q \geq 20 \text{ l.s}^{-1}.\text{ml}^{-1}$
	$1 \text{ m} \leq H_{m0} < 2 \text{ m}$	$q \geq 10 \text{ l.s}^{-1}.\text{ml}^{-1}$
	$2 \text{ m} \leq H_{m0} < 3 \text{ m}$	$q \geq 1 \text{ l.s}^{-1}.\text{ml}^{-1}$
	$H_{m0} \geq 3 \text{ m}$	$q \geq 0.3 \text{ l.s}^{-1}.\text{ml}^{-1}$
Domages sur les équipements	-	$q > 1 \text{ l.s}^{-1}.\text{ml}^{-1}$
Tolérable	Débit franchissant / Hauteur de houle faibles	

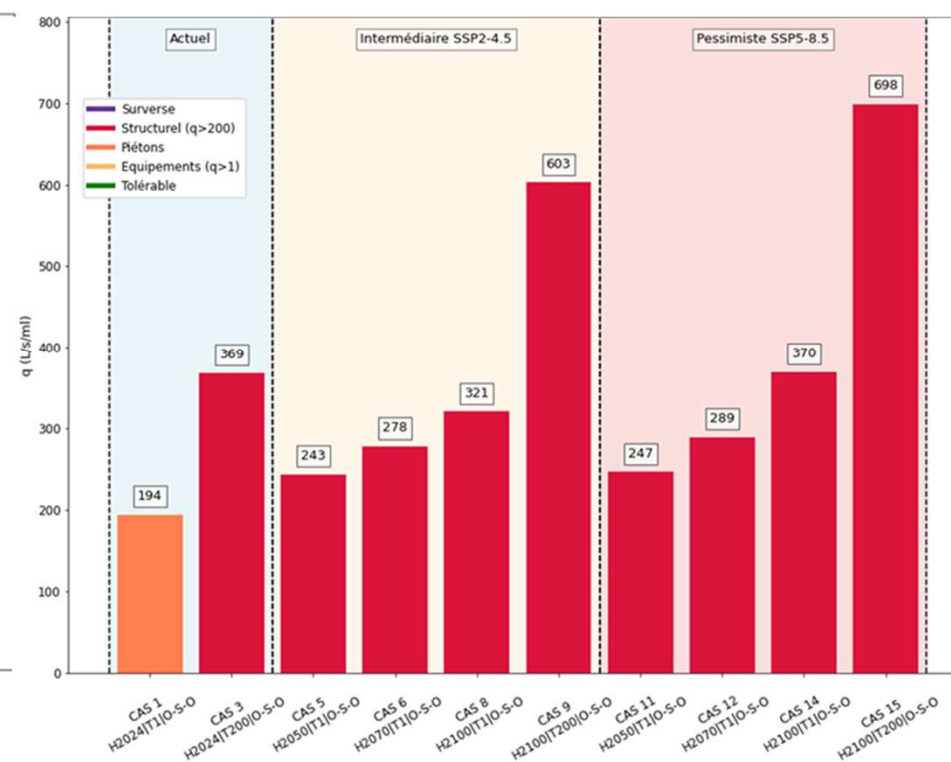
Code couleur retenu pour les seuils de dangerosité des débits franchissants (EurOtop)

FRANCHISSEMENT HYDRAULIQUE

- Digue Carnot S2 (branche mer)



- Cavalier Carnot S2 (extrémité)



STABILITÉ DES BLOCS



Blocs artificiels → Calcul de la masse de référence des blocs
(Hudson, 1959)

- **Stabilité** : $M_{réelle} > M_{calculée}$
- **Rupture** : $M_{réelle} < M_{calculée}$

Scénario pessimiste T100 et T200 horizon 2100

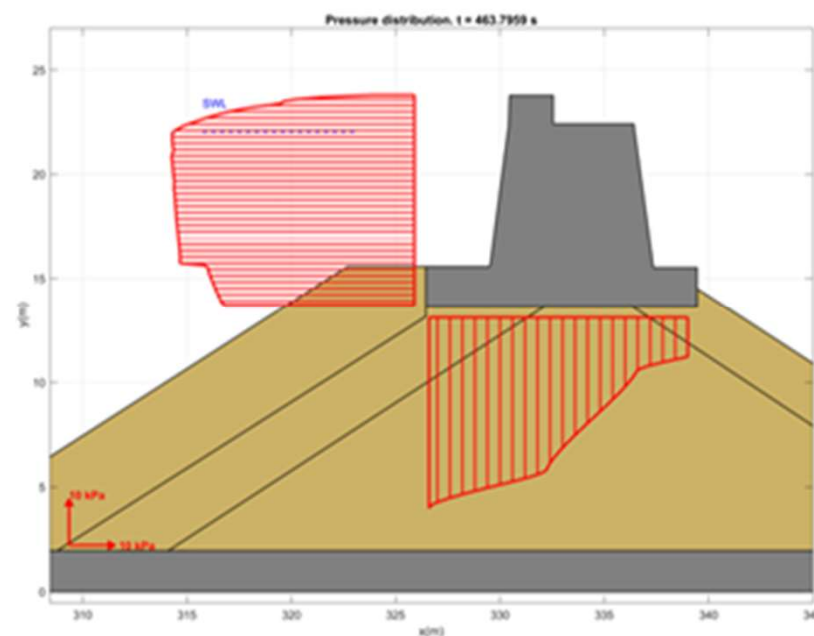
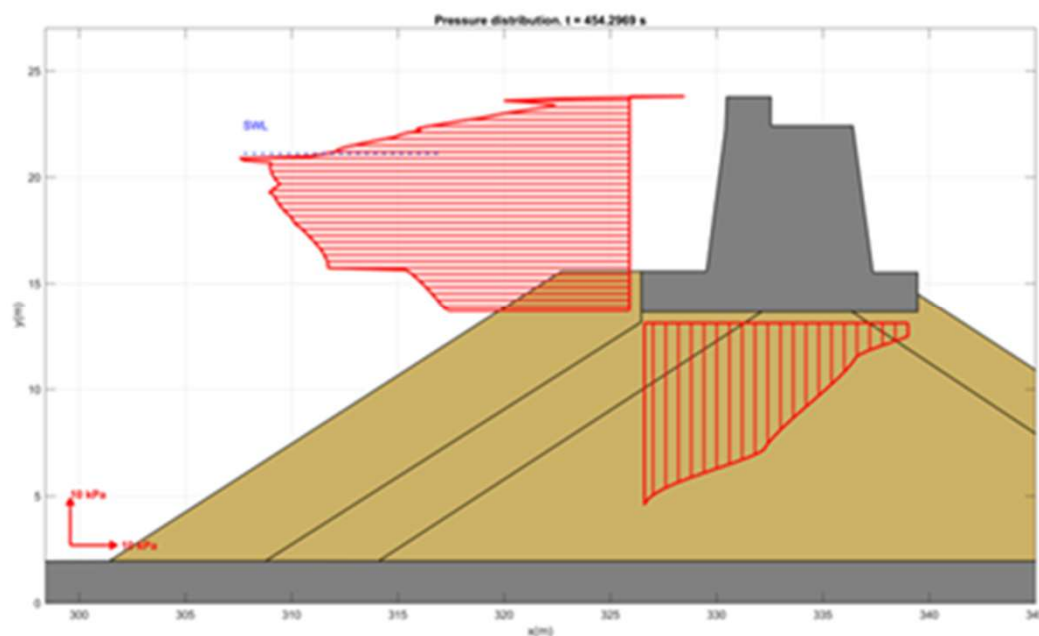
Digue Carnot : masse des blocs suffisante

(hors pb butée de pied)

EFFORTS HYDRODYNAMIQUES

Impact sur la durabilité des éléments béton ou maçonnerie

- Cavalier Carnot : + 12,9%
- Digue Carnot branche mer : + 19,5%
- Digue Carnot Extrémité : +3,7%

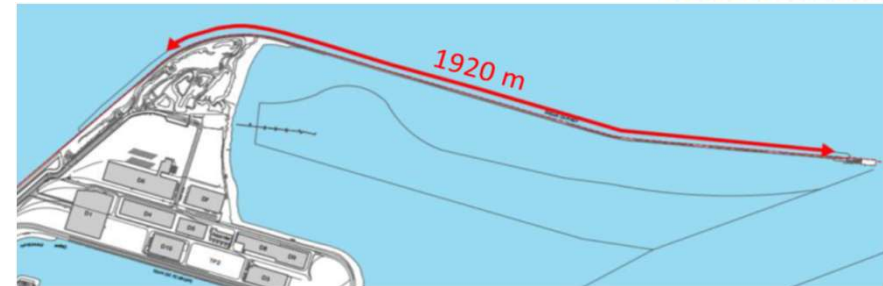


Les effets de l'élévation du niveau de la mer → un besoin accru de renforcement des ouvrages portuaires, en particulier de la digue Carnot

3. VERS UNE DIGUE HOULOMOTRICE ?

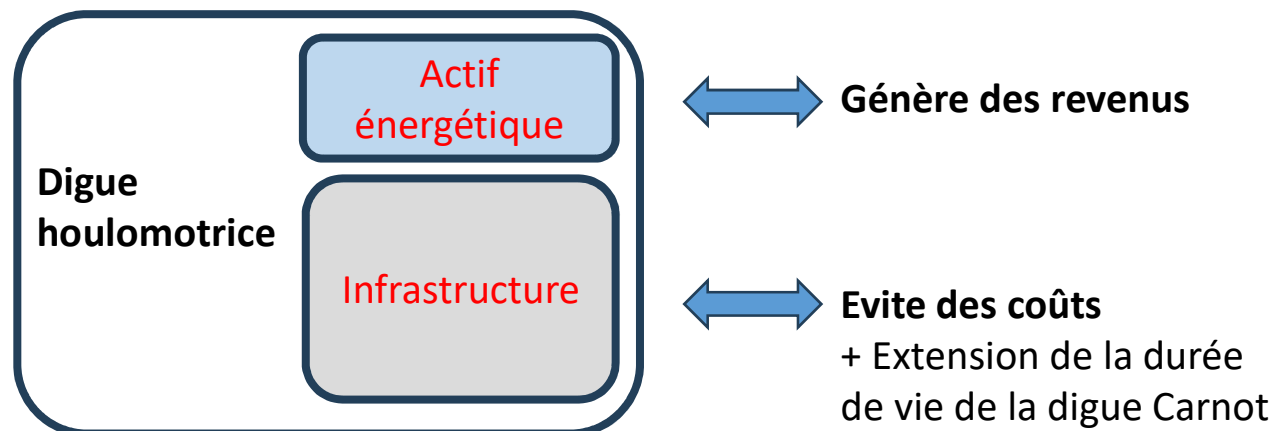
Un suivi du démonstrateur

Une reprise du démonstrateur



Une extension du projet sur tout le linéaire de la digue ?

- Une réflexion sur les modalités de portage et réalisation
- Un modèle économique à stabiliser
- Autoconsommation collective ?



CONCLUSION



DIKWE peut nous permettre de

- Résoudre les désordres actuels de la digue liés au défaut de butée de pieds
- Réduire les coûts d'entretien sur la maçonnerie et le béton armé
- Réduire les désordres à venir liés au changement climatique : efforts hydrodynamiques et franchissements

Tout en produisant de l'énergie renouvelable pour les acteurs portuaires : **résilience et compétitivité**