

# Volet aménagements maritimes

## Note de dimensionnement des ouvrages en enrochements Phase PROJET

### PORNICHET - 44

Marché de conception réalisation  
pour le réaménagement des ports de  
plaisance de Pornichet



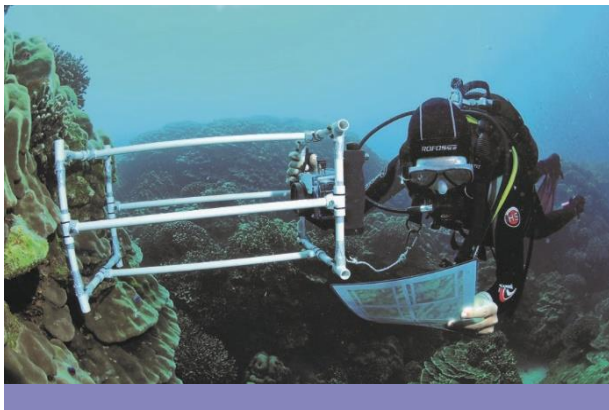
SEM CEPP

SOUS-TRAITANCE



Modifications	Indice	Date	Établi	Vérfié	Validé	Suivi des modifications	État
	A	27/06/2025	GDU	GDU	MC		

ÉMETTEUR	ENTITÉ		NUMÉRO INTERNE	DOCUMENT	PHASE ÉTUDE	THÈME	N° DOCUMENT	INDICE	STATUT
CHA	NA	C	24009	NDC	PRO	EXP	006	A	PVI



RAPPORT

# Conception et réalisation du programme d'aménagement des ports de plaisance de Pornichet

Note de dimensionnement des ouvrages en enrochements

Juin 2025

CHARIER GENIE CIVIL





## CLIENT : Charier Génie Civil

COORDONNÉES	2 Rue des Meuniers 44220 Couëron
INTERLOCUTEUR	<b>Monsieur Milig Collobert</b> mcollobert@charier.fr

---

## CREOCEAN

COORDONNÉES	<b>Siège social</b> Zone Technocéan – Rue Charles Tellier 17000 LA ROCHELLE Tél. : 05 46 41 13 13 E-mail : <a href="mailto:commercial@creocean.fr">commercial@creocean.fr</a>
INTERLOCUTEUR	<b>Monsieur Gaëtan Dufour</b> gaetan.dufour@creocean.fr

---

## RAPPORT

TITRE	<b>Conception et réalisation du programme d'aménagement des ports de plaisance de Pornichet</b> <b>Note de dimensionnement des ouvrages en enrochements</b>
NOMBRE DE PAGES TOTAL	19

---

## VERSION

RÉFÉRENCE	VERSION	DATE	REDACTEUR	CONTRÔLE QUALITE
241208_Dimensionnement_Enrochements	Version 1	27/06/2025	GDU	GDU

---



## Sommaire

<b>1. Hypothèses de dimensionnement .....</b>	<b>10</b>
<b>1.1. Durée de vie et période de retour.....</b>	<b>10</b>
<b>1.2. Principes de dimensionnement.....</b>	<b>10</b>
<b>1.3. Conditions hydrodynamiques .....</b>	<b>11</b>
<b>1.4. Vérification du dimensionnement des ouvrages .....</b>	<b>11</b>
1.4.1. Carapace en enrochements.....	11
1.4.2. Sous-couche.....	12
1.4.3. Masses volumiques .....	13
<b>2. Résultats du dimensionnement .....</b>	<b>14</b>
<b>2.1. Ouvrages extérieurs – Digue Nord et Excroissance du terre-plein.....</b>	<b>14</b>
<b>2.2. Ouvrages intérieurs – Terre-plein .....</b>	<b>15</b>
<b>Annexes.....</b>	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>



## Liste des Figures

**Figure 2.2 : Définition des différents diamètres de couche de base et de couche filtre ..... 13**



## Liste des tableaux

<b>Tableau 1.1 : Evénements principaux à considérer pour l'évaluation de l'ouvrage et de sa performance.....</b>	<b>10</b>
<b>Tableau 1.2 : Récapitulatif des conditions hydrodynamiques dimensionnantes.....</b>	<b>11</b>
<b>Tableau 2.1 : Résultats du dimensionnement des enrochements de carapace de la digue nord et du terre-plein.....</b>	<b>14</b>
<b>Tableau 2.2 : Vérification des règles de filtres entre carapace et sous-couche pour les profils étudiés.....</b>	<b>14</b>

## 1. Hypothèses de dimensionnement

### 1.1. Durée de vie et période de retour

La durée de vie de la digue nord est fixée à 50 ans, il s'agit de la durée de vie généralement adoptée pour ce type d'ouvrage. Elle pourra être prolongée moyennant des opérations de surveillance et d'entretien régulières.

Une digue construite pour une durée de vie de 50 ans a 39% de chance d'être exposée à une houle de période de retour 100 ans : il est alors d'usage de dimensionner une digue pour une tempête de période de retour de 100 ans. Par ailleurs, le concepteur doit calculer les réponses pour une gamme d'événements incluant des conditions au-dessus et au-dessous du niveau nominal de dimensionnement. Le Tableau 1.1 ci-dessous présente les événements principaux à considérer pour l'évaluation de l'ouvrage et de sa performance.

Tableau 1.1 : Evénements principaux à considérer pour l'évaluation de l'ouvrage et de sa performance

Sujet de l'évaluation	Fréquence de l'événement et période de retour [années]				
	Fréquent	Probable	Occasionnel	Peu probable	Improbable
Dimensionnement d'un ouvrage permanent (durée de vie $\approx$ 50 ans)	0.1	1	10	100	1000
Dimensionnement d'une phase temporaire pendant la construction	0.01	0.1	1	10	100

### 1.2. Principes de dimensionnement

Les conditions suivantes devront être vérifiées dans le cadre de cette étude :

- ▶ Conditions d'exploitation :
  - Les sollicitations considérées pour cette condition sont les houles de période de retour annuelle et décennale susceptibles d'arriver sur l'ouvrage ;
  - Cette condition a pour objectif d'apprécier le fonctionnement des ouvrages vis-à-vis du fonctionnement normal du port : franchissements par paquets de mer limités et stabilité des enrochements entièrement assurée.
- ▶ Condition de dimensionnement de base :
  - Les sollicitations considérées pour cette condition sont les houles de période de retour centennale susceptibles d'arriver sur l'ouvrage ;
  - Pour cette condition de dimensionnement l'ouvrage ne devra pas subir de dommages majeurs.

### 1.3. Conditions hydrodynamiques

Pour l'étude de stabilité des enrochements, les conditions de houles et niveaux d'eau associés en pied d'ouvrage sont issues du rapport de modélisation des houles et sont récapitulées dans le tableau suivant.

*Tableau 1.2 : Récapitulatif des conditions hydrodynamiques dimensionnantes*

Scénario	Digue Nord			Excroissance du Terre-Plein		
	Hm0	Tp	Niveau	Hm0	Tp	Niveau
1 an niveau haut	2.00 m	12.5 s	6.41 m CM	1.38 m	12.5 s	6.41 m CM
1 an niveau bas	0.99 m	12.5 s	3.41 m CM	1.02 m	12.5 s	3.41 m CM
10 ans niveau haut	2.09 m	13.5 s	6.61 m CM	1.55 m	13.5 s	6.61 m CM
10 ans niveau bas	1.02 m	13.5 s	3.41 m CM	1.06 m	13.5 s	3.41 m CM
100 ans niveau haut	2.13 m	14.5 s	6.91 m CM	1.68 m	14.5 s	6.91 m CM
100 ans niveau bas	1.05 m	14.5 s	3.41 m CM	1.11 m	14.5 s	3.41 m CM

Par ailleurs, les modélisations d'agitation portuaire montrent une valeur maximale de  $Hm0 = 0.5$  à  $0.6$  m le long du talus du terre-plein à l'intérieur du port. C'est cette valeur qui sera prise en compte pour le dimensionnement des enrochements côté terre-plein intérieur.

### 1.4. Vérification du dimensionnement des ouvrages

#### 1.4.1. Carapace en enrochements

En ingénierie côtière, le dimensionnement d'une structure en enrochements est basé sur le poids unitaire des blocs qui devront être définis pour résister aux sollicitations hydrodynamiques générées par la houle, afin d'assurer la stabilité de l'ouvrage. Dans le cadre de cette étude, le poids unitaire de ces éléments sera déterminé à partir de la formule de Van der Meer en eau peu profonde, largement utilisée et reconnue par la communauté internationale. **A noter que ces formules sont valides pour une section courante de digue, pour un musoir ou une courbe il est recommandé d'augmenter la masse de 40%.**

Eau peu profonde - Déferlement plongeant :

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = c_{pl} P^{0.18} \left( \frac{S_d}{\sqrt{N}} \right)^{0.2} \xi_m^{-0.5}$$

Eau profonde - Déferlement plongeant :

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = c_{pl} P^{0.18} \left( \frac{S_d}{\sqrt{N}} \right)^{0.2} \left( \frac{H_s}{H_{2\%}} \right) \xi_{s-1,0}^{-0.5}$$

Eau peu profonde - Déferlement gonflant :

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = c_s P^{-0.13} \left( \frac{S_d}{\sqrt{N}} \right)^{0.2} \sqrt{\cot \alpha} \xi_m^P$$

Eau profonde - Déferlement gonflant :

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = c_s P^{-0.13} \left( \frac{S_d}{\sqrt{N}} \right)^{0.2} \left( \frac{H_s}{H_{2\%}} \right) \sqrt{\cot \alpha} \xi_{s-1,0}^P$$

Avec :

- ▶ N [-] : nombre de vagues incidentes, fonction de la durée de l'état de mer ;
- ▶ Hs [m] : hauteur significative de la houle incidente en pied d'ouvrage (H1/3) ;
- ▶ H2% [m] : hauteur de la houle dépassée par 2% des vagues ;
- ▶  $\xi_m$  [-] : paramètre de déferlement calculé à partir de la période moyenne de la houle, Tm [s], en accord avec une analyse dans le domaine temporel ;
- ▶  $\xi_{s-1,0}$  [-] : paramètre de déferlement calculé à partir de la période moyenne de la houle, Tm-1,0 [s], en accord avec une analyse dans le domaine spectral ;
- ▶ Dn50 [m] : diamètre nominal médian de l'enrochement ;
- ▶  $\Delta$  [-] : densité relative déjaugée de l'enrochement ;
- ▶ P [-] : paramètre de perméabilité nominale de l'ouvrage. Cette valeur est égale à 0.4 pour les ouvrages de protection extérieurs ;
- ▶ Sd [-] : paramètre de dommage adimensionnel. Les valeurs de Sd caractéristiques pour une pente de talus de 3H/2V sont les suivantes :
  - Sd = 2.0 début de dommage ;
  - Sd = 3.0 – 5.0 dommage intermédiaire ;
  - Sd = 8.0 rupture.
- ▶ Les critères suivants seront considérés pour le dimensionnement des enrochements :
  - **Conditions probables à occasionnelles** (période de retour 1 an et 10 ans) : **Sd ≤ 2.0** ;
  - **Condition de dimensionnement peu probable** (période de retour 100 ans) : **Sd ≤ 4.0**.
- ▶ **Le talus des ouvrages en enrochements aura une pente de 3H/2V.**

### 1.4.2. Sous-couche

La sous-couche sert de support aux blocs de carapace, les enrochements qui la composent ne doivent pas pouvoir migrer à travers la carapace. La sous-couche permet d'empêcher la migration des éléments composant le noyau vers l'extérieur de l'ouvrage.

Vis-à-vis du passage à différentes couches d'enrochements de granulométries différentes, il faut s'assurer du respect des règles de stabilité d'interface du filtre ainsi que des exigences relatives à la perméabilité d'un filtre granulaire.

La stabilité interne du matériau de sous-couche est vérifiée par  $D_{60}/D_{10} < 10$  cette règle est généralement respectée pour toute couche d'enrochement dont la granulométrie respecte les fuseaux standards.

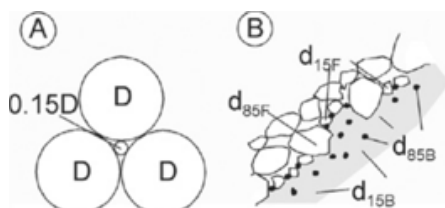
La stabilité d'interface peut être appréciée en considérant la règle suivante :  $D_{15f}/D_{85b} < 4$  à 5.

L'exigence relative à la perméabilité est appréciée en considérant la règle suivante :  $D_{15f}/D_{15b} > 4$  à 5. Ce critère est très sécuritaire pour tous types de filtres, tels que ceux utilisés dans les conduites d'assainissement. Lorsque le matériau utilisé comme filtre dans une digue à talus présente une granulométrie, alors ce critère peut être assoupli et prendre la forme suivante :  $D_{15f}/D_{15b} > 1$ .

Avec :

- ▶ D15 le diamètre correspondant à l'ordonnée 15% de la courbe granulométrique ;
- ▶ D85 le diamètre correspondant à l'ordonnée 85% de la courbe granulométrique.

Les indices f et b correspondent respectivement aux matériaux de la couche de base et de la couche filtre.



**Figure 1.1 : Définition des différents diamètres de couche de base et de couche filtre**

### 1.4.3. Masses volumiques

Les poids volumiques suivants seront considérés pour les enrochements :

- ▶ Carapace et butée de pied : 2650 kg/m<sup>3</sup> ;
- ▶ Autres enrochements : 2550 kg/m<sup>3</sup>.

## 2. Résultats du dimensionnement

### 2.1. Ouvrages extérieurs – Digue Nord et Excroissance du terre-plein

Les résultats du dimensionnement hydraulique, sur la base des formules, hypothèses et critères présentés en §1 sont présentés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 2.1 : Résultats du dimensionnement des enrochements de carapace de la digue nord et du terre-plein**

	1 an	10 ans	100 ans
Digue Nord	$M_{50} = 1605 \text{ kg}$	$M_{50} = 1703 \text{ kg}$	$M_{50} = 1063 \text{ kg}$
Excroissance Terre-Plein	$M_{50} = 915 \text{ kg}$	$M_{50} = 1240 \text{ kg}$	$M_{50} = 980 \text{ kg}$

L'analyse de ce tableau met en évidence une masse  $M_{50}$  plus faible pour les conditions centennales. Ceci est dû au taux de dommage admissible plus important, comme présenté dans les hypothèses. En appliquant un taux de dommage  $S_d=2$  pour la condition centennale, la masse  $M_{50}$  nécessaire est alors de  $M_{50}=1750\text{kg}$  pour la digue Nord et  $M_{50}=1480\text{kg}$  pour le terre-plein.

**Au final, pour résister aux événements de tempêtes extrêmes de période de retour 1 an à 100 ans, il est nécessaire de mettre en place les classes d'enrochements suivantes :**

- ▶ **Digue Nord** : Carapace double couche en enrochements de blocométrie 1/3T ;
- ▶ **Terre-plein** : Carapace double couche en enrochements de blocométrie 1/3T.

**Cette catégorie d'enrochements permettra de résister sans dommages à des tempêtes de période de retour 1an à 100ans jusqu'à l'horizon 2075.**

Afin de respecter les règles de filtre, présentées précédemment, les couches filtres suivantes seront nécessaires pour éviter la migration d'éléments fins entre le matériau de noyau et la carapace :

- ▶ **Digue Nord** : Couche filtre en enrochements de 60/300kg ;
- ▶ **Terre-plein** : Couche filtre en enrochements de 60/300kg.

**Tableau 2.2 : Vérification des règles de filtres entre carapace et sous-couche pour les profils étudiés**

Profils	Carapace -> Sous-couche	
	$d_{15f}/d_{85b}$	$d_{15f}/d_{15b}$
Digue Nord	$1.7 < 4$ (ok)	$2.4 > 1$ (ok)
Terre-plein	$1.7 < 4$ (ok)	$2.4 > 1$ (ok)

## 2.2. Ouvrages intérieurs – Terre-plein

Au final, pour résister aux événements de tempêtes extrêmes de période de retour 1 an à 100 ans, sur la base des formules, hypothèses et critères présentés en §1, il est nécessaire de mettre en place une classe d'enrochements de blocométrie minimale 60/300kg. Cette catégorie d'enrochements permettra de résister sans dommages à des tempêtes de période de retour 1an à 100ans jusqu'à l'horizon 2075.



**CHARIER GENIE CIVIL**

**CONCEPTION ET REALISATION DU PROGRAMME D'AMENAGEMENT DES PORTS DE PLAISANCE DE PORNICHET**

---







[www.creocean.fr](http://www.creocean.fr)



[GROUPE KERAN](#)