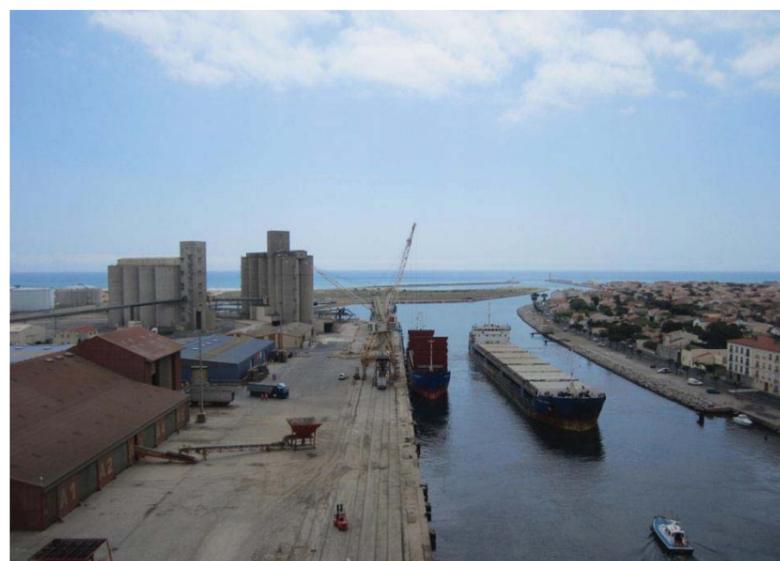


REGION LANGUEDOC ROUSSILLON



PORT-LA NOUVELLE

MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT

MISSION MOD (MODELES PHYSIQUES)

MODELE PHYSIQUE EN CANAL A HOULE – RAPPORT D'ESSAIS

RAPPORT°8713239-MOD-2D-R002 – VERSION 2



DATE : SEPTEMBRE 2014 REF : 8713239-MOD-2D-R2-V2

N°8 713239-MOD-2D-R2, Mission de maitrise d'œuvre pour l'agrandissement du port de Port-La Nouvelle Modèle physique en canal à houle – Rapport d'essais					
Version	Description	Rédaction	Vérfié	Approuvé	Date
02	Pour approbation	L. Guisier	O. Meurant	O. Meurant	11/09/2014
01	Pour commentaires	L. Guisier	O. Meurant	O. Meurant	28/08/2014

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION	3
1.1. CONTEXTE	3
1.2. OBJET DU PRESENT RAPPORT	4
2. SYNTHESE ET CONCLUSIONS	5
3. DESCRIPTION DU MODELE 2D	7
3.1. DESCRIPTION DU CANAL A HOULE	7
3.2. INSTRUMENTATION	7
3.2.1. MESURE DU NIVEAU D'EAU AU REPOS	7
3.2.2. MESURE DES VAGUES	7
3.2.3. MESURE DE FRANCHISSEMENTS	8
3.2.4. PRISE D'IMAGES ET DE VIDEOS	8
3.3. ECHELLE	8
3.4. CONSTRUCTION DU MODELE	9
3.4.1. DEFINITION DE LA SECTION A TESTER	9
3.4.2. LES FONDS MARINS	9
3.4.3. L'OUVRAGE	9
3.4.3.1. Modélisation des couches d'enrochements non soumises à l'action directe de la houle	10
3.4.3.2. Modélisation des éléments soumis à l'action de la houle	10
4. METHODOLOGIE DES ESSAIS	12
4.1. PROGRAMME D'ESSAIS	12
4.2. GENERATION DE LA HOULE CIBLE ET CALIBRATION	13
4.3. PROGRAMME SPECIFIQUE POUR LA SECTION OPTIMISEE	14
4.4. CRITERES DE STABILITE DE L'OUVRAGE	14
4.4.1. LA CARAPACE EN BLOCS ARTIFICIELS	14
4.4.2. LES ENROCHEMENTS DE LA BUTEE	15
4.4.3. LES ENROCHEMENTS DU TALUS ARRIERE	15
4.4.4. LES ENROCHEMENTS DE LA PROTECTION ANTI-AFFOUILLEMENT	15
4.5. LES FRANCHISSEMENTS	16
5. LES RESULTATS POUR LA SECTION INITIALE	17
5.1. LES CONDITIONS DE HOULE	17
5.2. STABILITE DES DIFFERENTS ELEMENTS	19
5.2.1. LA CARAPACE	19
5.2.2. LA BUTEE DE PIED	20

5.2.3. LA PARTIE EN ENROCHEMENTS DU TALUS ARRIERE	21
5.2.4. PROTECTION ANTI-AFFOUILLEMENT	21
5.2.5. LES FRANCHISSEMENTS	22
6. LES RESULTATS POUR LA SECTION OPTIMISEE	24
6.1. LES CONDITIONS DE HOULE	24
6.2. STABILITE DES DIFFERENTS ELEMENTS	26
6.2.1. LA CARAPACE	26
6.2.2. LA BUTEE DE PIED	26
6.2.3. LA PARTIE EN ENROCHEMENTS DU TALUS ARRIERE	27
6.2.4. PROTECTION ANTI-AFFOUILLEMENT	27
6.2.5. LES FRANCHISSEMENTS	28
7. REFERENCES	30
FIGURES	31
ANNEXES	32

1. INTRODUCTION

1.1. CONTEXTE

La Région Languedoc-Roussillon (le Maître d'ouvrage – MOA) est devenue propriétaire des ports de Sète et de Port-La Nouvelle en janvier 2007, suite à la loi « Libertés et responsabilités locales » du 13 août 2004. Elle s'est engagée depuis dans une politique volontariste de développement des trafics et de recherche de nouveaux opérateurs économiques permettant l'accroissement des activités portuaires de ses ports régionaux.

Le projet d'agrandissement du port de Port-La Nouvelle dans lequel s'engage la Région consiste donc à répondre aux attentes des futurs opérateurs portuaires et à construire de nouvelles installations, à terre comme en mer, répondant aux standards actuels des ports modernes.

Cet agrandissement passe par la création d'un nouvel avant-port au Nord de la passe d'entrée actuelle, nécessaire au développement de l'activité portuaire de Port-La Nouvelle.

Dans ce cadre, la région a lancé une consultation ayant pour objet de désigner un maître d'œuvre dont les missions sont de réaliser les études préliminaires, de concevoir l'avant-projet, d'élaborer le ou les dossier(s) de consultation des entreprises, d'analyser les offres, de viser les études d'exécution, de réaliser la direction de l'exécution des travaux en ordonnant, pilotant et coordonnant les divers prestataires et d'apporter l'assistance au maître d'ouvrage lors des opérations de réception et pendant la garantie de parfait achèvement des travaux.

Le maître d'œuvre (MOE) a également en charge, en missions complémentaires :

- Les études environnementales (ENV), pour déterminer l'impact de tels travaux sur le milieu naturel (étude d'impact, d'incidence au titre de NATURA 2000 ou au titre de la loi sur l'eau et l'évaluation des impacts socio-économiques du projet)
- L'établissement des dossiers réglementaires (REG) d'instructions préalables aux autorisations administratives des travaux (dossiers d'enquête publique, d'instruction au titre du code des ports maritimes, de mise en compatibilité des PLU,....)
- La réalisation d'études de modélisations numériques hydro sédimentaires (HYDRO)
- Si nécessaire, l'établissement du dossier de demande de dérogation à la destruction d'espèces protégées (CNP)
- La réalisation de modélisations physiques en canal à houle et cuve à houle sur la solution d'aménagement retenue suite aux études préliminaires (MOD).

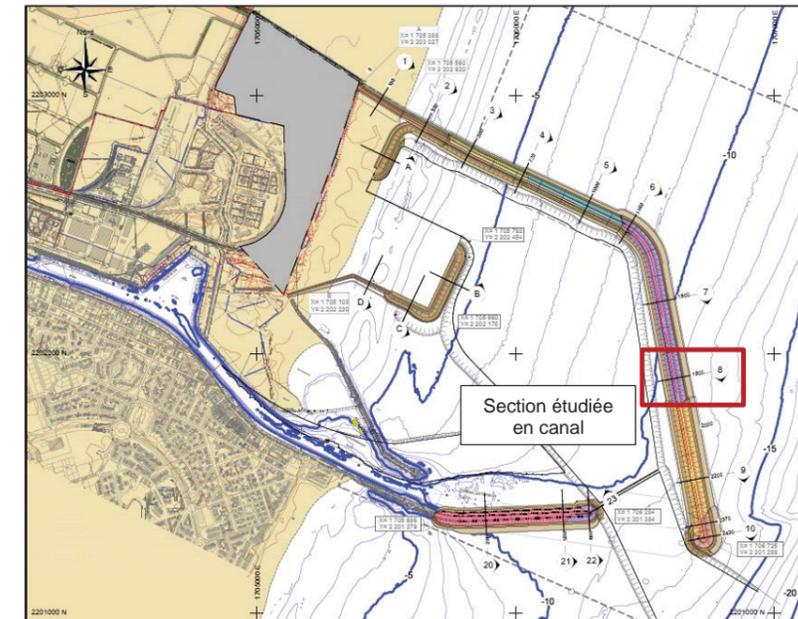
Le groupement ARTELIA, CREOCEAN et Cabinet GAXIEU, dont ARTELIA est le mandataire, est titulaire de ce marché de maîtrise d'œuvre pour l'agrandissement du port de Port-La Nouvelle (PLN 2015).

1.2. OBJET DU PRESENT RAPPORT

Le présent rapport s'inscrit dans le cadre de la mission « MOD » qui concerne la réalisation de modèles physiques en canal et cuves à houles des digues de protection de l'extension portuaire à créer.

Cette mission MOD prévoit la réalisation des modèles physiques suivants :

- ✓ Une modélisation bidimensionnelle en canal à houle, afin d'étudier une section de la digue nord entre le coude et le musoir (section S8 – voir figure ci-dessous) soumise à une houle frontale (le présent rapport).
- ✓ Deux modèles tridimensionnelles en cuve à houle, qui porteront sur :
 - D'une part l'ensemble des ouvrages des parties terminales des deux digues y compris les deux musoirs.
 - D'autre part l'enracinement de la digue nord, qui sera soumise à des houles obliques.



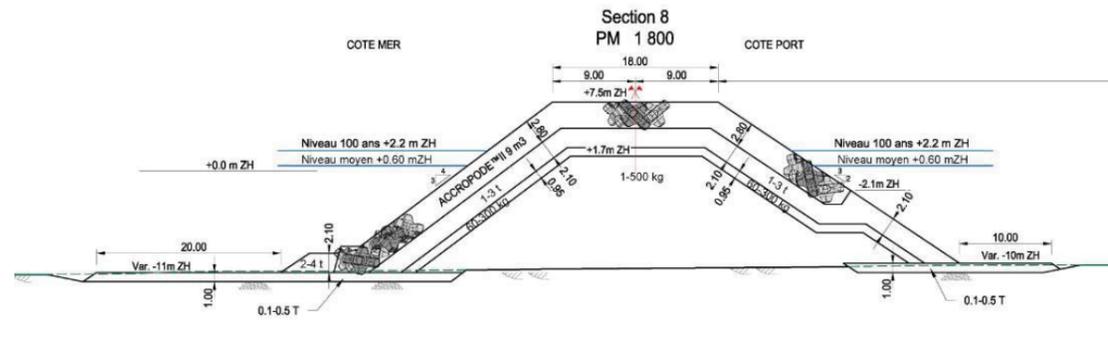
Le présent rapport présente les résultats des essais en canal à houle sur la section S8, essais qui se sont déroulés au sein du laboratoire d'hydraulique d'Artelia en Août et Septembre 2014.

Les objectifs de ces essais sont :

- (a) De vérifier la stabilité hydraulique des différentes parties de l'ouvrage (carapace, butée de pied, talus arrière soumis aux franchissements), ce pour des conditions de houles de dimensionnement centennale.
- (b) D'évaluer les franchissements, ce pour des conditions de houle annuelles et pour des conditions centennales.

2. SYNTHÈSE ET CONCLUSIONS

Les essais en canal à houles ont été réalisés sur la section S8 de la digue Nord, section localisée sur le linéaire allant du coude au musoir.



Les principales conclusions pouvant être tirées de ces essais sont exposées ci-dessous :

Stabilité de l'ouvrage

Les différents essais ont montré une stabilité de l'ouvrage satisfaisante et répondant aux critères.

La carapace en blocs artificiels de type Accropodes™ II de 9m³ n'a subi que quelques oscillations et aérations très ponctuelles qui sont jugées acceptables. Aucune chute de blocs n'a été observée, ce même pour des conditions dépassant les conditions de houle centennale.

Concernant la butée en enrochements de blocométrie [2t - 4t], celle-ci n'a subi que des dommages limités (quelques blocs déplacés). Ces déplacements sont tout à fait acceptables au regard du critère de stabilité hydraulique de la butée de pied.

De même, la partie basse du talus arrière en enrochements de blocométrie [1t - 3t] n'a elle aussi subi que des dommages très limités (peu d'enrochements déplacés). La stabilité de cette partie de la carapace aux franchissements a été validée par les essais.

La protection anti-affouillement en enrochements de blocométrie [0.1t - 0.5t] située en avant de la butée s'est révélée également stable durant les différents essais réalisés.

Franchissements

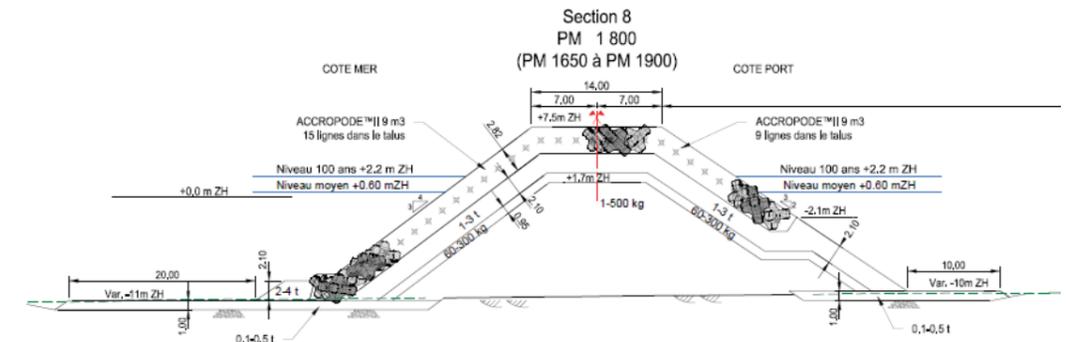
Pour ce qui concerne les franchissements, en condition de houles annuelles, ils sont très limités et inférieurs à la valeur limite définie (critère sur le débit moyen < 1 l/m/s).

En conditions centennales, les débits franchissant observés sont également bien en-deça de la valeur limite définie (critère sur le débit moyen < 100 l/m/s) et ne génèrent pas de dommages sur la crête ni sur le talus arrière de l'ouvrage.

Optimisation de la section

Au regard des résultats satisfaisants obtenus lors de la première série d'essais effectués sur la section S8 illustrée à la page précédente (en particulier au regard des franchissements limités observés lors des essais en houle annuelle), une section dite « optimisée » a été construite dans le canal à houle et re-testée.

Cette section modifiée est présentée ci-dessous :



L'optimisation a consisté à réduire de 4m la largeur de la crête (passée de 18m pour la section initiale à 14m pour la section optimisée).

Les résultats obtenus lors des essais réalisés sur cette section modifiée sont les suivants :

- Concernant la stabilité de la carapace en Accropodes™ II de 9m³ et de la butée en enrochements [1t - 3t], les observations faites sont similaires à celles réalisées pour la section initiale, confirmant la bonne stabilité de la carapace et de la butée.
- La partie basse du talus arrière en enrochements a subi quant à elle davantage de dommages en comparaison des essais réalisés sur la section initiale (1.1% d'enrochements déplacés pour la section optimisée contre 0.1% pour la section initiale en conditions centennales). Néanmoins, ces dommages restent acceptables au regard du critère de stabilité hydraulique (nombre de déplacements devant être limité à 5%).
- Ces dommages plus importants sur le talus arrière ont été générés par un nombre de franchissements observés sensiblement plus importants. En effet, en conditions de houles centennales, les volumes mesurés ont sensiblement augmentés (de 5 l/ml/s pour la section initiale à 15 l/ml/s pour la section optimisée pour une période de 13s et de 30 l/ml/s pour la section initiale à 56 l/ml/s pour la section optimisée pour une période de 15s). Ces franchissements restent toutefois en-deça du critère fixé (100l/ml/s).
- Pour ce qui concerne les franchissements en condition de houles annuelles, ils restent faibles et inférieurs au critère fixé (critère sur le débit moyen < 1 l/m/s).

Ces observations permettent de valider la configuration de la section 8 optimisée et d'envisager de réduire de 4m la largeur de crête sur l'ouvrage pour le linéaire correspondant (cette réduction sera répercutée sur les sections qui seront testées en bassin 3D).

3. DESCRIPTION DU MODELE 2D

3.1. DESCRIPTION DU CANAL A HOULE

Les essais ont été réalisés dans le canal à houle de 1m de large dont est équipé le laboratoire d'hydraulique d'ARTELIA, basé à Pont-de Claix (agglomération grenobloise).

Les dimensions du canal sont :

- Longueur : 41,0 m ;
- Largeur : 1,0 m ;
- Profondeur : 2,0 m (profondeur d'eau maximale au batteur).

Le canal est équipé d'un batteur à houle à débattement angulaire à axe enterré (de type « flap »), actionné par un vérin hydraulique, et permettant de générer des houles régulières ou irrégulières selon un spectre prédéfini.

Le canal est équipé du système intégré GEDAP (Generalized Experiment Control and Data Acquisition Package), développé par le CHC-NRC (Canadian Hydraulics Centre – National Research Council). Le système GEDAP permet à la fois le pilotage du batteur à houle, l'acquisition de l'ensemble des mesures et le traitement des données dans les domaines temporel et fréquentiel.

Le canal est par ailleurs équipé du système AWA (« Active Wave Absorption »), développé également par le CHC-NRC, qui permet l'absorption en temps réel des houles réfléchies par le modèle vers le batteur. Ce système permet ainsi d'éviter les réflexions parasites au batteur, et donc le contrôle tout le long de l'essai du champ de houle incident.

Une plage amortisseuse est placée à l'extrémité du canal, derrière l'ouvrage modélisé, dans le but de minimiser la réflexion des vagues transmises.

Le canal ainsi que l'implantation du modèle sont décrits sur la [Figure 1.3](#).

3.2. INSTRUMENTATION

3.2.1. Mesure du niveau d'eau au repos

Les niveaux d'eau dans le canal sont mesurés et calés à l'aide d'un limnimètre à pointe et d'une règle graduée (voir [Figure 3.2](#)).

3.2.2. Mesure des vagues

La houle dans le canal est mesurée à l'aide de sondes omnidirectionnelles dites capacitives.

Les sondes installées pour ces essais sont les suivantes :

- Un jeu de 3 sondes (nommées S1, S2 et S3), placées à la profondeur d'environ -13mZH nature, utilisées comme sondes de « référence » pour caler la houle « cible » de consigne.

- Une sonde S4, positionnée au large en un point où la profondeur est de -20mZH environ. Cette sonde a été utilisée spécifiquement pour certains essais de calibration afin de contrôler la houle générée au large.
- Un jeu de 3 sondes spécifiquement dédiées au système d'absorption active (AWA) au niveau du batteur.

La position des différentes sondes est donnée sur la [Figure 3.4](#).

Les sondes S1, S2 et S3, utilisées en jeux de trois sondes, permettent, par la mesure simultanée en trois points séparés par des distances bien établies, d'appliquer une méthodologie de séparation des spectres de houle incident et réfléchi à partir du spectre total mesuré en ces 3 points.

Les mesures sont réalisées simultanément pour l'ensemble des sondes et pour toute la durée des essais. Les séries temporelles mesurées de déplacement de la surface libre sont stockées et analysées à l'aide du système GEDAP décrit plus haut. Une analyse des signaux dans le domaine temporel (analyse statistique) et dans le domaine fréquentiel (analyse spectrale) est réalisée pour déterminer les principaux paramètres utiles que sont en particulier la hauteur significative de la houle (Hm0) et la période de pic (Tp).

3.2.3. Mesure de franchissements

Les débits moyens de franchissements sont mesurés, lors d'un certain nombre d'essais spécifiques, à l'aide d'un bac collecteur et d'une goulotte en PVC posée derrière la crête de l'ouvrage. Le volume d'eau dans le bac après l'essai est mesuré par pesée, et le débit moyen de franchissements est calculé en rapportant ce volume à la durée de la mesure. Cette approche quantitative est complétée d'une approche qualitative basée sur l'observation pendant les essais du comportement des lames franchissantes et de leur effet sur l'ouvrage.

La [Figure 3.1](#) permet de visualiser le dispositif.

3.2.4. Prise d'images et de vidéos

En complément des mesures décrites ci-dessus et des observations menées directement au cours des essais, des photos numériques sont prises avant, pendant et après les essais pour illustrer les principaux phénomènes observés (notamment, les franchissements de l'ouvrage par la houle) et en support des analyses réalisées (notamment sur l'évolution des dommages).

De même, des séquences vidéo (1 minute par essai environ) sont réalisées, permettant de visualiser l'attaque de la houle sur l'ouvrage.

Pour ce qui concerne l'ouvrage côté mer, l'évolution des dommages subis par la carapace et la butée peut être visualisée à l'aide de photographies réalisées à partir d'un support fixe (le point de vue est donc figé durant l'intégralité des essais).

3.3. ECHELLE

Compte tenu des phénomènes en jeu et des phénomènes à étudier, le modèle est conçu en similitude dite de Froude, basée sur l'invariance du nombre de Froude qui caractérise l'importance relative des forces de gravité et d'inertie.

Les rapports de réduction des principales grandeurs (longueurs, surfaces, volumes, temps, vitesses, débits...) se déduisent principalement de la relation d'invariance du nombre de Froude.

En particulier les longueurs entre la nature et le modèle réduit sont en rapport 1/E (1/E désignant ainsi l'échelle de réduction géométrique) et les temps sont en rapport $1/E^{1/2}$.

L'échelle E est choisie de manière à satisfaire au mieux les différentes contraintes de réalisation du modèle tout en garantissant une précision de mesure suffisante. Ce choix tient compte en particulier :

- Des dimensions utiles du canal à houle ;
- Des caractéristiques de l'ouvrage à représenter ;
- De la capacité de génération du batteur à houle ;
- De la disponibilité des maquettes représentant les blocs artificiels de carapace
- Des houles et niveaux à modéliser

Compte tenu de ces contraintes, l'échelle de réduction retenue pour le modèle est 1/55ème.

3.4. CONSTRUCTION DU MODELE

3.4.1. Définition de la section à tester

Sur la *Figure 1.1*, le plan de masse des digues Nord et Sud est rappelé.

La section S8 étudiée est comprise entre le coude et le musoir de la digue nord. Cette section est détaillée sur la *Figure 1.2*.

Cette section, dont la carapace est en blocs Accropodes™ II de 9m³ est située à proximité de la zone de transition entre les Accropodes™ II de 9m³ et ceux de 14m³. Le profil des fonds qui sur le modèle en canal sont représentés devant la section est repéré sur la *Figure 1.1* et est orienté selon une direction N90.

Le pré-dimensionnement de la section est présenté dans le rapport de phase AVP dédié (ref [3]).

3.4.2. Les fonds marins

Les fonds marins sont modélisés en dur (fonds fixes non-érodables) à l'aide d'éléments en contre-plaqué en suivant les isobathes du site.

Du côté du batteur, le raccordement entre les fonds marins et le fond du canal est réalisé à l'aide d'une « doucine » présentant une pente évolutive et permettant de limiter les réflexions parasites.

3.4.3. L'ouvrage

Les dimensions de l'ouvrage (à l'échelle nature et à l'échelle modèle) ainsi que son implantation dans le canal sont présentées en *Figures 1.3 et 1.4*.

Pour ce qui concerne le modèle de la section optimisée, son implantation est présentée dans la *Figure 1.5*.

La modélisation des différents constituants (enrochements, blocs artificiels) est présentée dans les sections suivantes :

3.4.3.1. Modélisation des couches d'enrochements non soumises à l'action directe de la houle

Les éléments du noyau et des couches intermédiaires sont modélisés en considérant la loi de similitude de Froude et en retirant la fraction de grains la plus fine de manière à éviter un comportement cohésif de ces matériaux sur le modèle.

La courbe granulométrique des enrochements utilisés pour la sous-couche en [1t-3t] est présentée en *Figure 4.1*.

3.4.3.2. Modélisation des éléments soumis à l'action de la houle

Les blocs artificiels de carapace, les enrochements formant la butée de pied, ainsi que les enrochements formant la protection anti-affouillement, soumis à l'action directe de la houle, sont modélisés selon les principes de la similitude de Froude, en tenant compte des différences éventuelles de densité de l'eau, des enrochements et du béton entre le modèle et la réalité.

Le tableau suivant récapitule les densités des différents constituants à l'échelle nature et à l'échelle modèle

	nature	modèle
Béton pour bloc artificiel	2400 kg/m ³	2409 kg/m ³
Enrochements	2650 kg/m ³	2650 kg/m ³
Eau de mer	1025 kg/m ³	1000 kg/m ³

3.4.3.2.1. Les blocs artificiels

Sur la base de la méthode décrite précédemment, les blocs de carapace ACCROPODE™ II de 9m³ échelle nature sont modélisés par des maquettes en béton ayant les caractéristiques suivantes :

Modèle			
Volume	Hauteur caractéristique	Poids (saturé)	Masse volumique
cm ³	cm	g	g/cm ³
47,11	5,4	113,49	2,409

Les maquettes ont été posées à la main une à une par un technicien expérimenté et selon la méthodologie de pose en vigueur. Un conseiller technique de CLI, réalisant régulièrement de l'assistance technique sur les chantiers de pose d'Accropode™ II a validé la pose des maquettes.

La maille de pose considérée pour les maquettes en laboratoire a les caractéristiques suivantes :

- $D_H = 6,41$ cm ;

- $D_U = 3,20$ cm ;
- $\Phi = 0,635$.

Avec

- D_H (cm) Distance horizontale entre deux centres de gravité de blocs de la même ligne ;
- D_U (cm) Distance dans le talus entre deux lignes consécutives ;

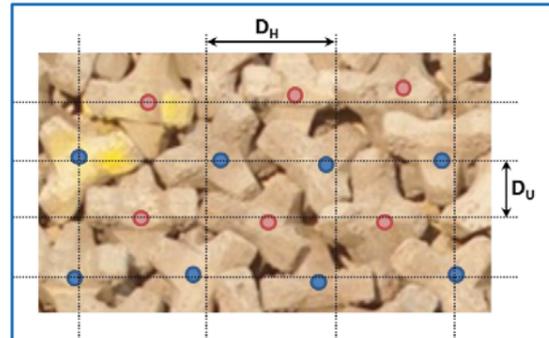


Illustration de la maille théorique de pose sur la photo d'une carapace

- F: Densité de pose, paramètre adimensionnel ;
- $\Phi = \frac{N}{V_m^{\frac{2}{3}}}$
- $N = \frac{1}{D_H \times D_U}$
- N (u/m^2) : Nombre de blocs par unité de surface ;
- V_m (m^3) : Volume de la maquette.

3.4.3.2.2. Les enrochements

Les enrochements de butée de pied et de la protection anti-affouillement sont modélisés sur la base de la méthodologie décrite au §3.4.3.2 ci-dessus.

La courbe granulométrique des enrochements modélisant la butée en pied de carapace est présentée en [Figure 4.2](#).

4. METHODOLOGIE DES ESSAIS

4.1. PROGRAMME D'ESSAIS

Les essais sont conduits en houle irrégulière, par paliers de hauteurs de houle croissante, depuis des houles dites « de tassement » jusqu'à des conditions de houles dépassant les conditions centennales.

La durée des essais est de 3h ou 6h nature (correspondant à environ 25 et 50 minutes respectivement au laboratoire).

Les différents essais ont été définis au préalable, dans l'objectif de tester les conditions de houle et de niveaux permettant de vérifier les critères de dimensionnement des digues présentés dans la note dédiée (ref [2]).

Le programme des essais réalisés est présenté dans le tableau ci-dessous.

n° d'essai	Houles au point P6			niveau (mZH)	période de retour	cas étudié - objectif du test	durée de l'essai (échelle prototype)
	Hm0 (m)	Tp (s)	gamma				
1	1.2m	5s	1.5	0.6	10% du temps environ	houle de tassement	3h
2	2.6m	7s	1.5	0.6	2% du temps environ	houle de tassement	3h
3	4.9m	8s	1.5	1.8	1 an	franchissements en conditions annuelles	3h
4	4.9m	10s	1.5	1.8	1 an	franchissements en conditions annuelles - sensibilité sur la période	3h
5	6.4m	11s	1.5	2	10ans	houle extrême intermédiaire	3h
6	7.9m	13s	1.5	2.2	100 ans	stabilité en conditions extrêmes 100 ans -niveau haut - mesure de franchissement	3h
7	7.9m	15s	1.5	2.2	100 ans	stabilité en conditions extrêmes 100 ans - niveau haut - sensibilité sur la période	3h
7-bis	7.9m	15s	1.5	2.2	100 ans	stabilité en conditions extrêmes 100 ans - niveau haut - sensibilité sur la période - mesure de franchissement	1h
8	7.9m	13s	1.5	0	100 ans	stabilité en conditions extrêmes 100 ans -niveau bas (test sur la butée)	2 x 3h
9	9.5m (si réalisable)	13s	1.5	2.2	supérieure à 100 ans	120% de le houle centennale (sous réserve que la houle ne soit pas limitée par les fonds) -niveau haut - pour évaluer la réserve de stabilité des Accropodes	2 x 3h

Les conditions de houles données ci-dessus (valeurs de Hm0 et Tp respectives) sont issues du rapport en référence Ref. [1] (Rapport 8713239-EP-R1-V4 – mission EP - rapport relatif aux conditions oceano-météorologiques du site).

Ces valeurs ont été obtenues à partir d'un modèle de propagation numérique (SWAN) depuis le large vers la côte. Elles correspondent aux valeurs obtenues au large immédiat de la digue nord, par environ -13mZH de profondeur, en un point référencé P6 (voir ref. [1]).

La numérotation des essais correspond à l'ordre dans lequel ils ont été effectués (les essais sont réalisés par paliers de hauteurs de houle croissante).

Note : Les essais n°8 et n°9 de 6h de durée ont été scindés en deux parties (8-a, 8-b et 9-a, 9-b) afin de pouvoir réaliser des observations au bout de 3h.

4.2. GENERATION DE LA HOULE CIBLE ET CALIBRATION

La conduite d'un essai type est la suivante :

- Essai court (essai permettant de calibrer la houle, d'une durée de 1h)

Par une profondeur de -13mZH (correspondant au point P6 du modèle de propagation numérique) : mesure du spectre de houle total, à l'aide du jeu de trois sondes placées à proximité de l'ouvrage (S1, S2 et S3). L'analyse de ces mesures comprend :

- Détermination de la hauteur de houle significative (Hm0) totale et de la période de pic (Tp);
- Détermination du coefficient de réflexion de l'ouvrage (Cr);
- Calcul de la hauteur de houle significative (Hm0) incidente, donnée par la relation $Hm0_{incident} = Hm0_{totale} / (1+Cr^2)^{1/2}$

La valeur de la houle incidente ainsi déduite est comparée à la valeur cible.

- Essai long (essai de stabilité d'une durée de 3h nature)

Procédure similaire à l'essai court. L'essai long est lancé en ayant éventuellement corrigé la consigne au batteur sur la base de la hauteur de houle Hm0 mesurée lors de l'essai court et de l'écart observé par rapport à la consigne,

Pour certains essais, afin de valider les conditions de houles atteignant la structure (en terme de Hm0 et de Tp), il a été nécessaire de recourir à l'analyse d'une sonde supplémentaire (S4) localisée plus au large de l'ouvrage (par -20mZH de profondeur), en un point correspondant au point P15 de l'étude des conditions océano-météorologiques (ref [1]).

En effet, pour ces essais (principalement pour les essais en houles centennales qui concernent les houles les plus fortes), la houle cible par -13mZH de fond a été difficile à atteindre, même en poussant le batteur à la limite de son mode de fonctionnement normal. Pour ces essais, il a été observé de nombreux déferlements entre la profondeur -20mZH et -13mZH, montrant clairement un phénomène de limitation de la houle par les fonds. Ces déferlements se sont traduits à la sonde S1 de référence (par -13mZH de fond) par une limitation de la hauteur (Hm0) des houles observées et une période de pic supérieure à la période de consigne, là aussi du fait du déferlement. Nous nous sommes ainsi assuré, pour ces essais, que la valeur de la houle incidente à la sonde S4 était au moins égale à la valeur évaluée par la propagation numérique en P15.

Note : Cette difficulté à générer en canal les houles évaluées avec le modèle de propagation numérique SWAN est induite par la présence de l'ouvrage dans le canal. En effet, le modèle de propagation développé avec le logiciel SWAN (ref [1]) est mis en oeuvre sans prise en compte de

la houle réfléchi par les ouvrages. Les houles calculées avec SWAN et présentées dans le rapport des conditions océano-météorologiques sont donc des houles incidentes. En revanche, les houles mesurées en canal intègrent à la fois la houle incidente, mais également la houle réfléchi par l'ouvrage. Ainsi, pour certains essais, une houle incidente donnée par -13mZH, qui sous SWAN est compatible avec les fonds, ne peut être atteinte en canal car la hauteur de houle totale (prenant en compte la réflexion) n'est plus compatible avec la profondeur d'eau de -13mZH et donc déferle. En un point plus au large (par -20mZH), les houles sont moins affectées par le fond donc moins susceptibles de déferler. Spécifiquement pour ces essais, la validation des houles incidentes a donc été réalisée sur la base de la houle observée à la sonde S4 placée par -20mZH et en comparaison des valeurs cibles correspondantes établis dans le rapport relatifs aux conditions océano-météorologiques (ref.[1]).

4.3. PROGRAMME SPECIFIQUE POUR LA SECTION OPTIMISEE

Comme indiqué en préambule, au regard des résultats satisfaisant obtenus lors de la première série d'essais effectués sur la section S8 (en particulier au regard des franchissements limités observés lors des essais en houle annuelle), une section dite « optimisée » (largeur en crête réduite de 4m) a été construite dans le canal à houle et re-testée.

Sur la base du programme d'essais défini pour la section initiale, la section optimisée a été testée sur la sélection suivante de conditions d'essais :

n° d'essai	Houles au point P6			niveau (mZH)	période de retour	cas étudié - objectif du test	durée de l'essai (échelle prototype)
	Hm0 (m)	Tp (s)	gamma				
2	2.6m	7s	1.5	0.6	2% du temps environ	houle de tassement	3h
4	4.9m	10s	1.5	1.8	1 an	franchissements en conditions annuelles	3h
6	7.9m	13s	1.5	2.2	100 ans	stabilité en conditions extrêmes 100 ans - niveau haut - mesure de franchissement	3h
7	7.9m	15s	1.5	2.2	100 ans	stabilité en conditions extrêmes 100 ans - niveau haut - sensibilité sur la période	3h
7-bis	7.9m	15s	1.5	2.2	100 ans	stabilité en conditions extrêmes 100 ans - niveau haut - sensibilité sur la période - mesure de franchissement	3h
9	9.5m (si réalisable)	13s	1.5	2.2	supérieure à 100 ans	120% de la houle centennale (sous réserve que la houle ne soit pas limitée par les fonds) - niveau haut - pour évaluer la réserve de stabilité des Accropodes	3h

Ces essais ont été choisis dans l'objectif d'analyser l'impact de la réduction de la largeur de crête sur les franchissements (et donc afin d'analyser également les dommages potentiels sur le talus arrière). Dans cet objectif, les essais relatifs à la section optimisée ont été réalisés pour des conditions associées à des niveaux hauts et à des périodes de pic élevées qui sont naturellement plus propices aux franchissements.

4.4. CRITERES DE STABILITE DE L'OUVRAGE

4.4.1. La carapace en blocs artificiels

Pour les essais, l'appréciation de la stabilité des blocs AccropodesTMII est faite sur la base des critères suivants, en conditions de houle centennale:

- pas d'extraction (chute),
- tassements limités,

(c) oscillations limitées.

En condition de houle représentant 120% de la houle centennale :

(d) Pas d'extractions (chutes) de blocs

L'ampleur des tassements de la carapace est appréciée visuellement. Un ordre de grandeur du nombre d'oscillations sur le modèle est estimé en comptabilisant l'ensemble des mouvements répétitifs observés lors des essais. Les extractions quant à elles sont comptabilisées à partir du moment où un bloc est extrait de la couche composant la carapace.

4.4.2. Les enrochements de la butée

Le critère suivant est considéré pour les enrochements de la butée de pied :

$$N_{od} \leq 1,0 \text{ pour des conditions centennales}$$

avec :

- Nod : Correspond à un paramètre de dommage qui représente le nombre d'enrochements déplacés dans une bande de largeur D_{n50} ;
- D_{n50} (m) : Diamètre nominal médian : $D_{n50} = \sqrt[3]{\frac{M_{50}}{\rho_s}}$;
- M_{50} (kg) : Masse médiane d'une catégorie d'enrochement ;
- ρ_s (kg/m^3) : Masse volumique de la roche.

Un décompte des enrochements déplacés (d'un diamètre nominal médian ou plus) après chaque essai a été réalisé afin de permettre d'évaluer le critère sur les dommages présenté ci-dessus.

4.4.3. Les enrochements du talus arrière

Le critère pour le talus arrière est le suivant :

Moins de 5% d'enrochements déplacés en conditions centennales;

Un décompte des enrochements déplacés (d'un diamètre nominal médian ou plus) après chaque essai a été réalisé afin de permettre d'évaluer le critère sur les dommages présenté ci-dessus.

4.4.4. Les enrochements de la protection anti-affouillement

Aucun critère quantitatif n'est vérifié pour les enrochements de protection anti-affouillement représentés sur le modèle côté mer. En effet, ces enrochements sont modélisés sous forme de gravette dont les petits constituants sont difficilement dénombrables. L'appréciation de la tenue du tapis anti-affouillement est donc basée sur une approche qualitative des dommages afin de s'assurer le tapis d'enrochements continue de jouer son rôle de protection.

4.5. LES FRANCHISSEMENTS

En référence à la note d'hypothèses relative au dimensionnement des digues de la mission AVP (ref [2]), pour la section étudiée qui ne comporte pas de voie circulaire, les critères suivants ont été évalués lors des essais :

Tronçon de digue concerné	Période de retour	Débit moyen (L/s/mètre de linéaire)	Description des conséquences
Digue non accessible	Annuelle	1.0	Limitation de l'agitation induite
	centennale	100.0	Pas de dégâts sur crête et arrière bien protégés

Ces critères (basés sur des débits moyens) ont été évalués sur la base des volumes d'eau récupérés après chaque essai selon la méthodologie décrite au paragraphe §3.2.3.

5. LES RESULTATS POUR LA SECTION INITIALE

5.1. LES CONDITIONS DE HOULE

Le tableau en page suivante présente les conditions de houle mesurées lors des différents essais, validées au regard des conditions « cibles » attendues. Cette comparaison et cette validation sont menées au regard de la méthodologie exposée au paragraphe §4.2.

n° d'essai	date	condition	Niveau (mZH)	Consigne en P6 (-13m ZH) selon le rapport océano-météo (ref [1]) – note (*)			Houles associées en P15 (-20m ZH) selon le rapport océano-météo (ref [1]) – note (*)				Houles mesurées à la sonde S1 par -13mZh				Houles mesurées à la sonde S4 par -20mZH			Observations particulières concernant la houle
				Hm0 (m)	Tp (s)	gamma	Hm0 (m)	Tp (s)	Hm0tot (m)	Cr (%)	Hm0inc(m)	Tp(s)	Hm0tot (m)	Hm0inc (m)	Tp(s)			
1	20/08	tassement	0.60	1.2	5	1.5					1.3	20	1.3	5.0				
2	20/08	tassement	0.6	2.6	7	1.5					2.6	22.5	2.6	6.7				
3	21/08	annuelle	1.8	4.9	8	1.5					5.0	30.3	4.8	8.6				
4	21/08	annuelle	1.8	4.9	10	1.5					5.2	34	5.0	10.0				
5	21/08	décennale	2	6.4	11	1.5					6.7	42.9	6.1	11.4				
6	21/08	centennale	2.2	7.9	13	1.5	8.6	13			8.1	49.6	7.2	14.9	9.6	8.6	13.5	Nombreux déferlements observés, particulièrement après la sonde S4
7	21/08	Centennale	2.2	7.9	15	1.5	8.6	15			8.3	51.9	7.4	15.3	10.3	9.2	15.2	Nombreux déferlements observés, particulièrement après la sonde S4
7-bis	21/08	Centennale	2.2	7.9	15	1.5	8.6	15			8.3	49.6	7.4	15.8	10.1	9.1	15.3	Nombreux déferlements observés, particulièrement après la sonde S4
8-a	22/08	Centennale-niveau bas	0	7.9	13	1.5	8.6	13			7.6	50.8	6.8	15.3	9.5	8.5	13.7	Nombreux déferlements observés, y compris en amont de S4
8-b	22/08	Centennale-niveau bas	0	7.9	13	1.5	8.6	13			7.6	50.7	6.8	15.4	9.5	8.5	13.7	Nombreux déferlements observés, y compris en amont de S4
9-a	22/08	supérieure à la centennale	2.2	9.5	13	1.5	10.32	13			8.8	51.4	7.8	15.0	10.9	9.7	13.8	Très nombreux déferlements observés, partout le long du canal
9-b (**)	22/08	supérieure à la centennale	2.2	9.5	13	1.5	10.32	13			8.9	52	7.9	15.2	11.2	9.9	13.8	Très nombreux déferlements observés, partout le long du canal

Notes:

- (*) Dans le rapport relatif aux conditions océano-météorologiques, les Hm0 sont des hauteurs de houle incidente (issues des modélisations SWAN)
- (**) Pour l'essai 9-b, les houles ont été légèrement augmentées au regard des résultats des 3 premières heures testées (essai 9-a).
- L'annexe 5 présente pour certains essais le spectre des houles générées en superposition du spectre théorique de consigne

5.2. STABILITE DES DIFFERENTS ELEMENTS

5.2.1. La carapace

Le tableau suivant rassemble les observations concernant la carapace réalisées lors des différents essais :

n° d'essai	date	condition	oscillations	extractions
1	20/08	tassement	--	0
2	20/08	tassement	--	0
3	21/08	annuelle	--	0
4	21/08	annuelle	--	0
5	21/08	décennale	1 oscillation	0
6	21/08	centennale	2 oscillations	0
7	21/08	Centennale	2 oscillations	0
7-bis	21/08	Centennale	--	0
8-a	22/08	Centennale-niveau bas	2 oscillations (portant sur 2 autres blocs que précédemment). Les deux blocs qui oscillaient ne bougent plus	0
8-b	22/08	Centennale-niveau bas	2 oscillations concernant les 2 mêmes blocs que pour l'essai 8-a	0
9-a	22/08	supérieure à la centennale	1 oscillation légère (portant sur un autre bloc que précédemment). Les autres blocs qui oscillaient ne bougent plus	0
9-b	22/08	supérieure à la centennale	---	0

Lors des essais, des tassements de la carapace, des aérations très localisées et des oscillations de blocs se sont produits mais ces phénomènes sont restés faibles et acceptables.

Aucune extraction de blocs de carapace ne s'est produite pendant les essais.

Les résultats montrent que la bonne stabilité des blocs ACCROPODE™ II de 9,0 m3 est obtenue pour la configuration de la section testée. Les tassements et les oscillations en conditions de projet sont limités. La présence de ces oscillations montrent qu'il est toutefois difficilement envisageable de réduire d'une taille les blocs ACCROPODE™ II.

Lors des essais en conditions de houle extrême « supérieure à la centennale », la carapace est restée en bon état et la ruine n'a pas été atteinte.

Les *annexes 1 et 2* présentent des photographies de la carapace côté mer et côté port pour les différents essais réalisés. Plus spécifiquement, *l'annexe 2* permet de visualiser, à partir d'un point de vue fixe, l'évolution de la carapace du côté mer lors des différents essais.

5.2.2. La butée de pied

La butée de la section étudiée est composée d'enrochements de [2t–4t]. Le nombre de déplacements observés lors de chaque essai est donné dans le tableau suivant, accompagné du Nod correspondant :

n° d'essai	date	condition	Nombre d'enrochements déplacés (cumulés)	Nod	Critère
1	20/08	tassement	0	0	
2	20/08	tassement	0	0	
3	21/08	annuelle	1	0.02	
4	21/08	annuelle	2	0.04	
5	21/08	décennale	5	0.09	
6	21/08	centennale	6	0.11	Nod<1
7	21/08	Centennale	9	0.17	Nod<1
7-bis	21/08	Centennale	9	0.17	Nod<1
8-a	22/08	Centennale-niveau bas	10	0.18	Nod<1
8-b	22/08	Centennale-niveau bas	10	0.18	Nod<1
9-a	22/08	supérieure à la centennale	11	0.20	
9-b	22/08	supérieure à la centennale	12	0.22	

La butée en enrochements n'a pas subi de dommage significatif et les critères sont respectés. Les enrochements positionnés au niveau de la butée de la section testée sont donc considérés stables.

5.2.3. La partie en enrochements du talus arrière

Le talus arrière sur sa partie basse est constitué d'enrochements [1t - 3t]. Le nombre de déplacements observés lors de chaque essai est donné dans le tableau suivant, accompagné du pourcentage correspondant (pourcentage d'enrochements déplacés sur l'ensemble des enrochements) :

n° d'essai	date	condition	Nombre d'enrochements déplacés (cumulés)	% d'enrochement déplacés sur le total d'enrochements	Critère
1	20/08	tassement	0	0	
2	20/08	tassement	0	0	
3	21/08	annuelle	0	0	
4	21/08	annuelle	0	0	
5	21/08	décennale	0	0	
6	21/08	centennale	0	0	<5%
7	21/08	Centennale	2	0.13%	<5%
7-bis	21/08	Centennale	2	0.13%	<5%
8-a	22/08	Centennale-niveau bas	2	0.13%	<5%
8-b	22/08	Centennale-niveau bas	2	0.13%	<5%
9-a	22/08	supérieure à la centennale	3	0.20%	
9-b	22/08	supérieure à la centennale	4	0.27%	

Les dommages observés sont très limités. Le nombre d'enrochements déplacés est acceptable vis-à-vis des critères. Les enrochements de [1t – 3t] sont suffisants pour assurer la stabilité de la partie basse du talus arrière vis-à-vis des franchissements.

5.2.4. Protection anti-affouillement

Les quelques mouvements d'enrochements ont débuté pour la condition décennale puis les dommages se sont accentués légèrement au fur et à mesure des essais.

Les dommages observés sous l'action de la houle sont toutefois faibles et limités. La stabilité du tapis en enrochements [0.1t – 0.5t] est validée.

5.2.5. Les franchissements

Le tableau suivant indique, pour les différents essais, si des franchissements ont été observés. Pour les essais où l'ouvrage a été franchi, il est précisé le type de franchissement ainsi que le débit franchissant quand il a été mesuré.

n° d'essai	date	condition	observations	Débit mesuré (L/ml/s)	Critère
1	20/08	tassement	Pas de franchissements	Non mesuré	---
2	20/08	tassement	Pas de franchissements	Non mesuré	---
3	21/08	annuelle	Quelques franchissements minimes par embruns	0 (volume trop faible pour être mesuré)	<1L/ml/s
4	21/08	annuelle	Quelques franchissements minimes par embruns	0 (volume trop faible pour être mesuré)	<1L/ml/s <
5	21/08	décennale	Quelques franchissements par embruns	Non mesuré	---
6	21/08	centennale	Nombreux franchissements-quelques fines lames blanches	5.5	100L/ml /s <
7	21/08	Centennale	Nombreux franchissements par lames blanches	Non mesuré	<100L/ml/s
7-bis	21/08	Centennale	Nombreux franchissements par lames blanches	30.1	100L/ml /s <
8-a	22/08	Centennale-niveau bas	Quelques franchissements par lames blanches	Non mesuré	100L/ml/s <
8-b	22/08	Centennale-niveau bas	Quelques franchissements par lames blanches	0.14	100L/ml /s <
9-a	22/08	supérieure à la centennale	Nombreux franchissements – lames blanches – quelques lames vertes	Non mesuré	---
9-b	22/08	supérieure à la centennale	Nombreux franchissements – lames blanches – quelques lames vertes	Non mesuré	---

Les franchissements observés correspondent à des embruns ou à des franchissements de type « lame blanche » principalement. Ce type de franchissement se produit quand les vagues déferlent avant ou sur la structure. Généralement la lame d'eau passant au-dessus de l'ouvrage inclut de l'air ce qui explique le nom de « lame blanche ».

Les débits de franchissements mesurés pour la houle annuelle ainsi que pour la houle centennale sont au-dessous des critères à respecter.

L'annexe 1 présente des photographies des franchissements observés lors des essais.

6. LES RESULTATS POUR LA SECTION OPTIMISEE

6.1. LES CONDITIONS DE HOULE

Le tableau en page suivante présente les conditions de houle mesurées lors des différents essais.

Pour chaque essai, les houles de consigne générées au batteur ont été strictement identiques à celles validées lors des essais dédiés à l'étude de la section initiale. Aucune calibration n'a donc été réalisée pour ces essais complémentaires relatifs à la section optimisée.

6.2. STABILITE DES DIFFERENTS ELEMENTS

6.2.1. La carapace

Le tableau suivant rassemble les observations concernant la carapace réalisées lors des différents essais :

n° d'essai	date	condition	oscillations	extractions
2	04/09	tassement	--	0
4	04/09	annuelle	--	0
6	05/09	centennale	--	0
7	05/09	Centennale	1 oscillation ponctuelle (qui s'est stoppée en cours d'essai)	0
7-bis	05/09	Centennale	2 oscillations (portant sur un autre bloc que précédemment)	0
9-a	05/09	supérieure à la centennale	4 oscillations	0
9-b	05/09	supérieure à la centennale	4 oscillations	0

Les observations sont très proches de celles réalisées lors des essais relatifs à la section initiale.

Lors des essais, des tassements de la carapace, des aérations très localisées et des oscillations de blocs se sont produits mais ces phénomènes sont restés faibles et acceptables.

Aucune extraction de blocs de carapace ne s'est produite pendant les essais.

Ces résultats confirment que la bonne stabilité des blocs ACCROPODE™ II de 9,0 m3 est obtenue pour la configuration de la section testée. Les tassements et les oscillations en conditions de projet sont limités. La présence de ces oscillations confirme qu'il est toutefois difficilement envisageable de réduire d'une taille les blocs ACCROPODE™ II.

Lors des essais en conditions de houle extrême « supérieure à la centennale », la carapace est restée en bon état et la ruine n'a pas été atteinte.

Les *annexes 3 et 4* présentent des photographies de la carapace côté mer et côté port pour les différents essais réalisés. Plus spécifiquement, *l'annexe 4* permet de visualiser, à partir d'un point de vue fixe, l'évolution de la carapace du côté mer lors des différents essais.

6.2.2. La butée de pied

Les essais avec un niveau d'eau bas n'ont pas été refaits pour la section « optimisée » (la butée n'a pas été modifiée et les observations faites pour la section initiale sont donc valides aussi pour la section « optimisée »).

n° d'essai	date	condition	Niveau (mZH)	Consigne en P6 (-13m ZH) selon le rapport océano-météo (ref [1]) – note (*)			Houles associées en P15 (-20m ZH) selon le rapport océano-météo (ref [1]) – note (*)			Houles mesurées à la sondes S1 par -13mZH				Houles mesurées à la sonde S4 par -20mZH			Observations particulières concernant la houle		
				Hm0 (m)	TP (s)	gamma	Hm0 (m)	TP (s)	Cr (%)	Hm0inc(m)	TP(s)	Hm0tot (m)	Hm0inc (m)	TP(s)	Hm0tot (m)	Hm0inc (m)		TP(s)	
2	04/09	tassement	0.6	2.6	7	1.5				2.6	22.8	2.6	6.9						
4	04/09	annuelle	1.8	4.9	10	1.5				5.3	37	5.0	10.1						
6	05/09	centennale	2.2	7.9	13	1.5	8.6	13	8.2	50.7	7.3	15.2	9.6	8.6	13.6			Nombreux déferlements observés, particulièrement après la sonde S4	
7	05/09	Centennale	2.2	7.9	15	1.5	8.6	15	8.4	52.5	7.4	15.0	10.5	9.3	15.2			Nombreux déferlements observés, particulièrement après la sonde S4	
7-bis	05/09	Centennale	2.2	7.9	15	1.5	8.6	15	8.4	52.5	7.5	15.3	10.4	9.2	15.2			Nombreux déferlements observés, particulièrement après la sonde S4	
9-a	05/09	supérieure à la centennale	2.2	9.5	13	1.5	10.3	13	9.0	51.1	8.0	15.2	11.2	10	13.9			Très nombreux déferlements observés, partout le long du canal	
9-b	05/09	supérieure à la centennale	2.2	9.5	13	1.5	10.3	13	9.0	51.0	8.0	15.2	11.2	10	13.9			Très nombreux déferlements observés, partout le long du canal	

Notes:

- (*) Dans le rapport relatif aux conditions océano-météorologiques, les Hm0 sont des hauteurs de houle incidente (issues des modélisations SWAN)

6.2.3. La partie en enrochements du talus arrière

Le talus arrière sur sa partie basse est constitué d'enrochements [1t - 3t]. Le nombre de déplacements observés lors de chaque essai est donné dans le tableau suivant, accompagné du pourcentage correspondant (pourcentage d'enrochements déplacés sur l'ensemble des enrochements) :

n° d'essai	date	condition	Nombre d'enrochements déplacés (cumulés)	% d'enrochement déplacés sur le total d'enrochements	Critère
2	04/09	tassement	0	0	
4	04/09	annuelle	0	0	
6	05/09	centennale	0	0	<5%
7	05/09	Centennale	16	1.1%	<5%
7-bis	05/09	Centennale	16	1.1%	<5%
9-a	05/09	supérieure à la centennale	28	1.9%	
9-b	05/09	supérieure à la centennale	32	2.1%	

Les dommages observés lors de ces essais sont limités, bien que supérieurs à ceux observés pour la section initiale. Le nombre d'enrochements déplacés est acceptable vis-à-vis des critères. Les enrochements de [1t – 3t] sont suffisants pour assurer la stabilité de la partie basse du talus arrière vis-à-vis des franchissements.

6.2.4. Protection anti-affouillement

Voir observations faites pour la section initiale.

6.2.5. Les franchissements

Le tableau suivant indique, pour les différents essais, si des franchissements ont été observés. Pour les essais où l'ouvrage a été franchi, il est précisé le type de franchissement ainsi que le débit franchissant quand il a été mesuré. En outre, le nombre approximatif de franchissements ayant dépassé la partie arrière de la crête de l'ouvrage est mentionné. A titre indicatif, le nombre approximatif de vagues enregistrées à la sonde S1 sur la durée de l'essai est également donné.

n° d'essai	date	condition	observations	Nombre de vagues franchissantes / nombre de vagues enregistrées en S1	Débit mesuré (L/ml/s)	Critère
2	04/09	tassement	Pas de franchissements	0 / 1750	Non mesuré	---
4	04/09	annuelle	Quelques franchissements minimes par embruns	20 / 1240	< 0.1	1L/ml/s <
6	05/09	centennale	Nombreux franchissements - quelques lames blanches	80 / 970	15.8	100L/ml/s <
7	05/09	Centennale	Nombreux franchissements par lames blanches - quelques lames vertes	210 / 910	Non mesuré	---
7-bis	05/09	Centennale	Nombreux franchissements par lames blanches - quelques lames vertes	210 / 910	56.2	100L/ml/s <
9-a	05/09	supérieure à la centennale	Nombreux franchissements – lames vertes	330 / 930	Non mesuré	---
9-b	05/09	supérieure à la centennale	Nombreux franchissements – lames vertes	270 / 930	Non mesuré	---

Les franchissements observés correspondent à des embruns ou à des franchissements de type « lame blanche » principalement. Pour les conditions les plus fortes pénalisantes (tests 7 et 9), des lames vertes (correspondant à des submersions massives) ont également été observées.

Les débits de franchissements mesurés pour la houle annuelle ainsi que pour la houle centennale restent au-dessous des critères à respecter.

Toutefois, en comparaison des observations faites lors des essais relatifs à la section initiale, ces essais complémentaires ont montré que cette section optimisée permettait davantage de franchissements. En conditions de houles centennales, les volumes mesurés ont sensiblement augmentés (de 5 à 15 litre/ml/s pour une période de 13s et de 30 à 56litre/ml/s pour une période de 15s)

L'annexe 3 présente des photographies des franchissements observés lors des essais.

7. REFERENCES

- [1] Rapport 8713239-EP-R1-V4 – mission EP - rapport relatif aux conditions océano-météorologiques du site
- [2] Rapport 871 3239-AVP-BK-R001- mission AVP – digues de protection et talus d'encloture du terre-plein – critères de dimensionnement
- [3] Rapport 871 3239-AVP-BK-R002- mission AVP - digues de protection et talus d'encloture du terre-plein – Note de pré-dimensionnement

FIGURES

MODELE PHYSIQUE EN CANAL A HOULES

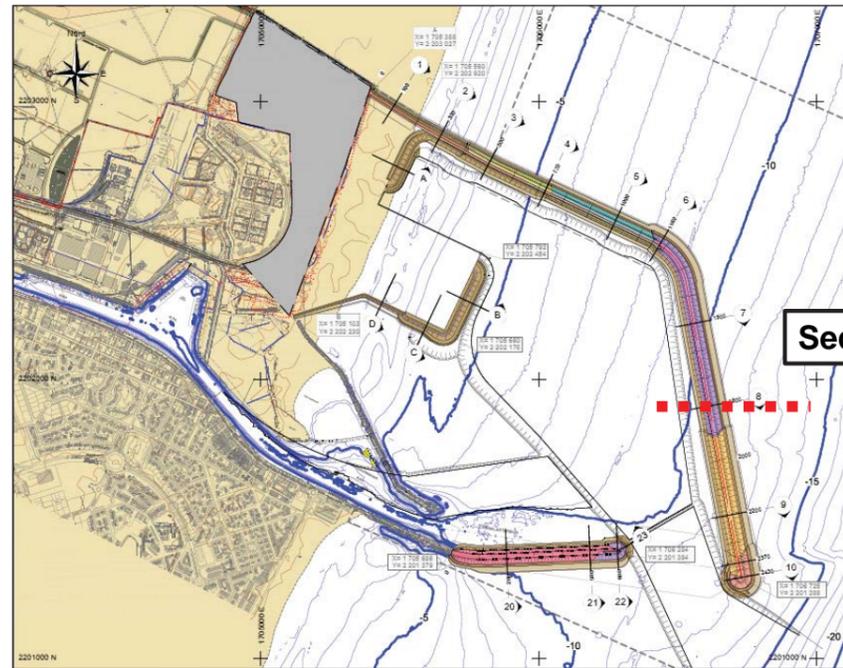
SECTION MODELISEE & IMPLANTATION DU MODELE

8 713239 – Maitrise d'œuvre pour l'extension de Port-La Nouvelle – Mission MOD – Essais en canal à houles - Août 2014

Figure 1.0

MODELE PHYSIQUE EN CANAL A HOULES

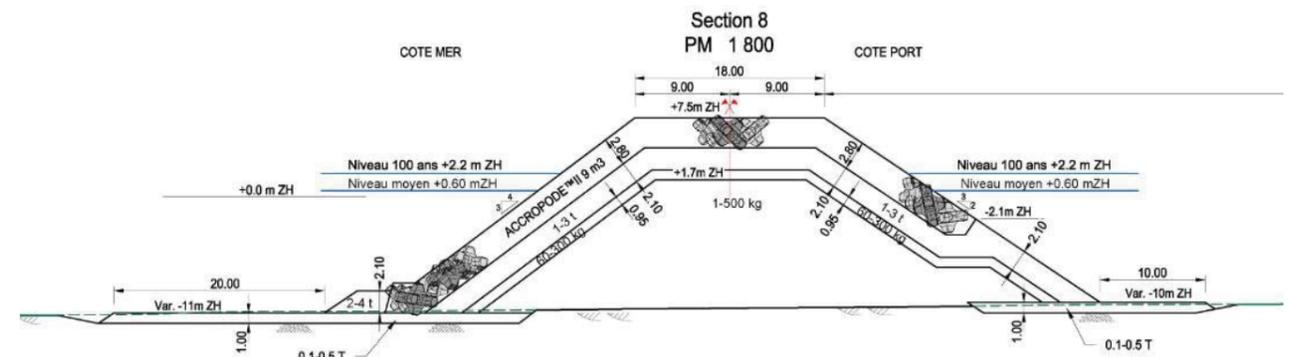
PLAN DE MASSE



Section étudiée

MODELE PHYSIQUE EN CANAL A HOULES

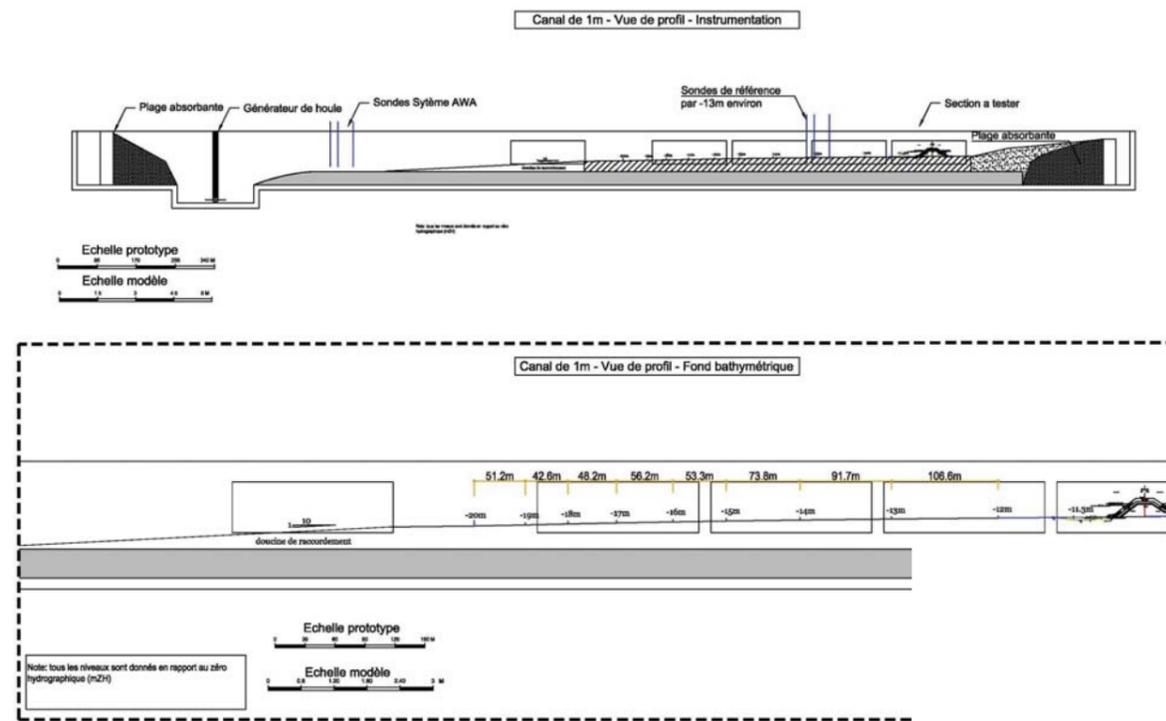
SECTION ETUDIEE



Extrait du plan 8713239_AVP_BKW_002

MODELE PHYSIQUE EN CANAL A HOULES

IMPLANTATION DU MODELE DANS LE CANAL A HOULES



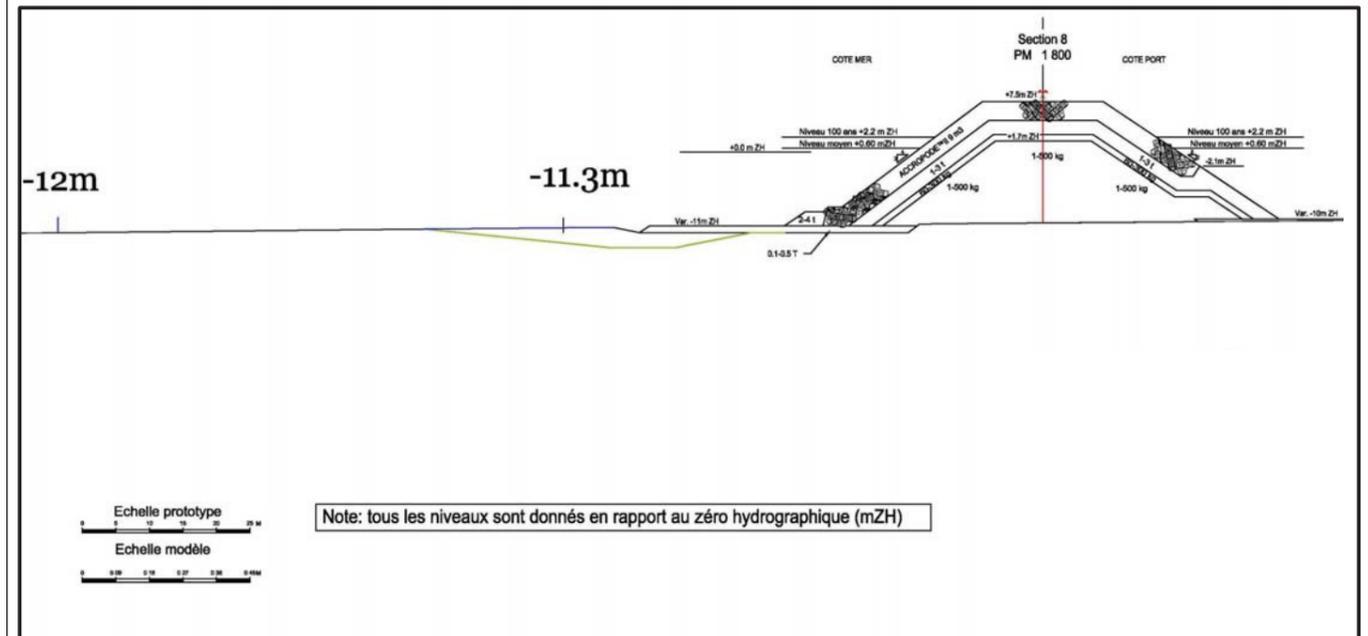
8 713239 – Maitrise d'œuvre pour l'extension de Port-La Nouvelle – Mission MOD – Essais en canal à houles - Août 2014

Figure 1.3

MODELE PHYSIQUE EN CANAL A HOULES

IMPLANTATION DU MODELE DANS LE CANAL A HOULES

Détail de la zone modélisée entre l'isobathe-12mZH et la section



8 713239 – Maitrise d'œuvre pour l'extension de Port-La Nouvelle – Mission MOD – Essais en canal à houles - Août 2014

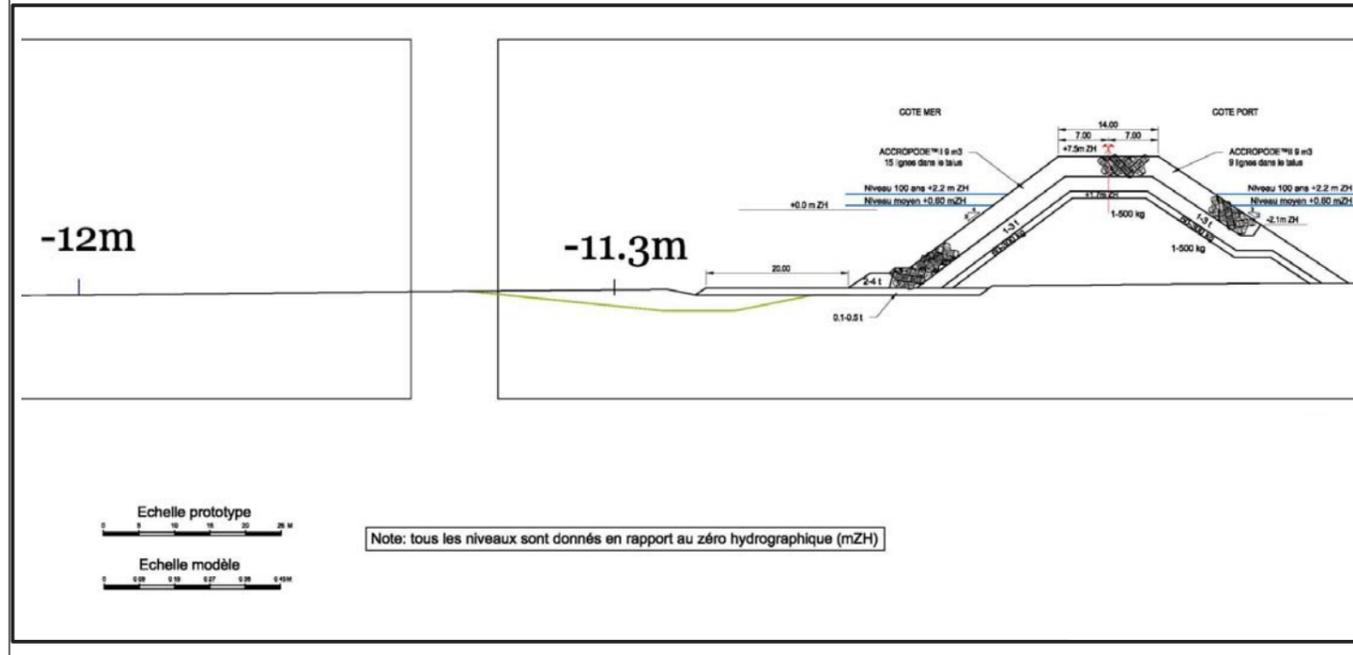
Figure 1.4

MODELE PHYSIQUE EN CANAL A HOULES

IMPLANTATION DU MODELE DANS LE CANAL A HOULES

Détail de la zone modélisée entre l'isobathe -12mZH et la section

SECTION OPTIMISEE



MODELE PHYSIQUE EN CANAL A HOULES

CONSTRUCTION DU MODELE

MODELE PHYSIQUE EN CANAL A HOULES

Construction des fonds



8 713239 – Maitrise d'œuvre pour l'extension de Port-La Nouvelle – Mission MOD – Essais en canal à houles - Août 2014

Figure 2.1

MODELE PHYSIQUE EN CANAL A HOULES

Mise en place du noyau



8 713239 – Maitrise d'œuvre pour l'extension de Port-La Nouvelle – Mission MOD – Essais en canal à houles - Août 2014

Figure 2.2

MODELE PHYSIQUE EN CANAL A HOULES

Mise en place de la sous-couche



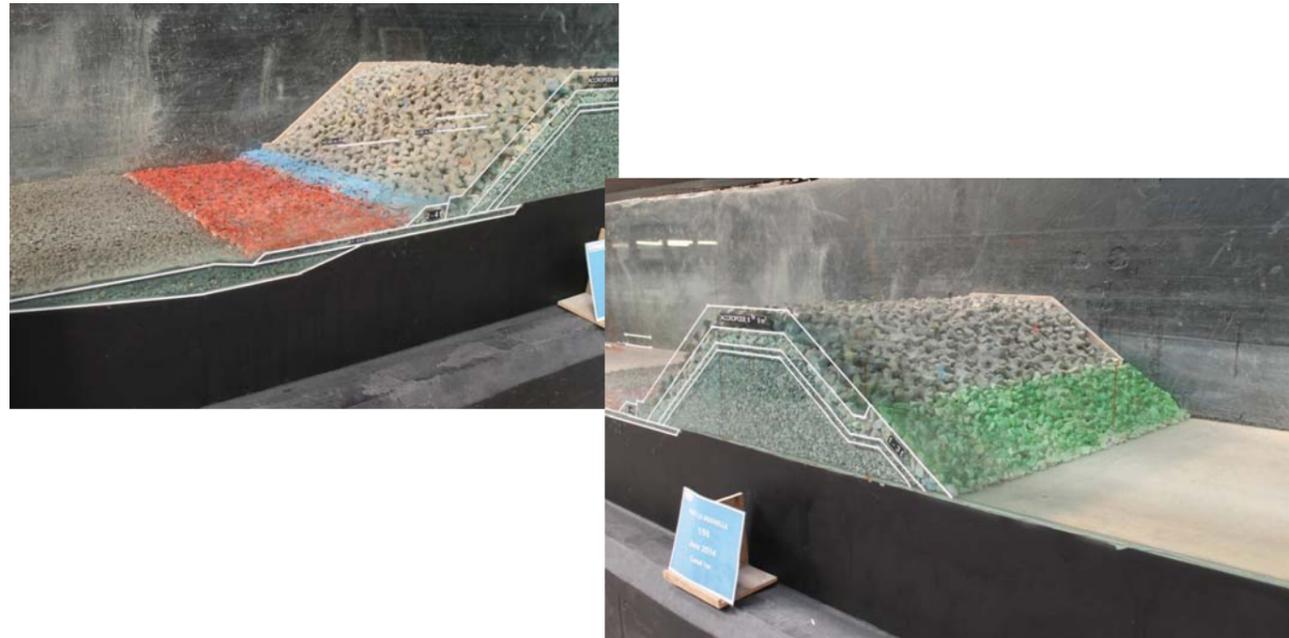
MODELE PHYSIQUE EN CANAL A HOULES

Mise en place des Accropodes™ II



MODELE PHYSIQUE EN CANAL A HOULES

Peinture des enrochements

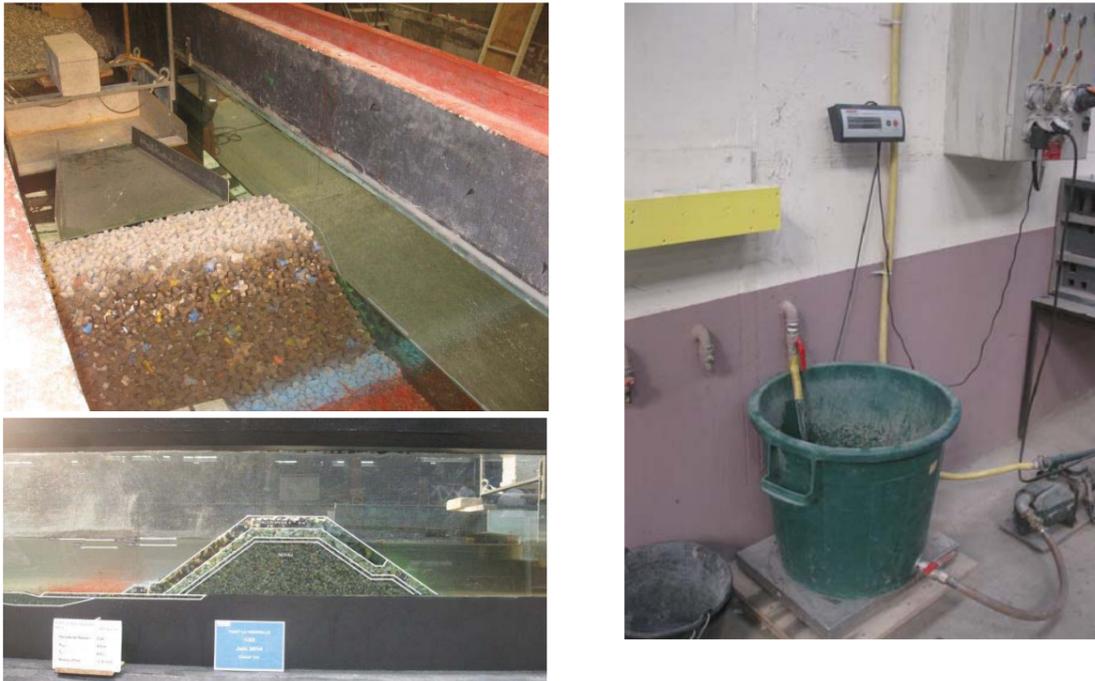


MODELE PHYSIQUE EN CANAL A HOULES

INSTRUMENTATION

MODELE PHYSIQUE EN CANAL A HOULES

DISPOSITIF DE MESURE DES FRANCHISSEMENTS



8 713239 – Maitrise d'œuvre pour l'extension de Port-La Nouvelle – Mission MOD – Août 2014 – Essais en canal à Houles

Figure 3.1

NOTE METHODOLOGIQUE SUR LE MODELE PHYSIQUE EN CANAL A HOULES

Limnimètre de contrôle de niveau



8 713239 – Maitrise d'œuvre pour l'extension de Port-La Nouvelle – Mission MOD – Août 2014 – Essais en canal à Houles

Figure 3.2

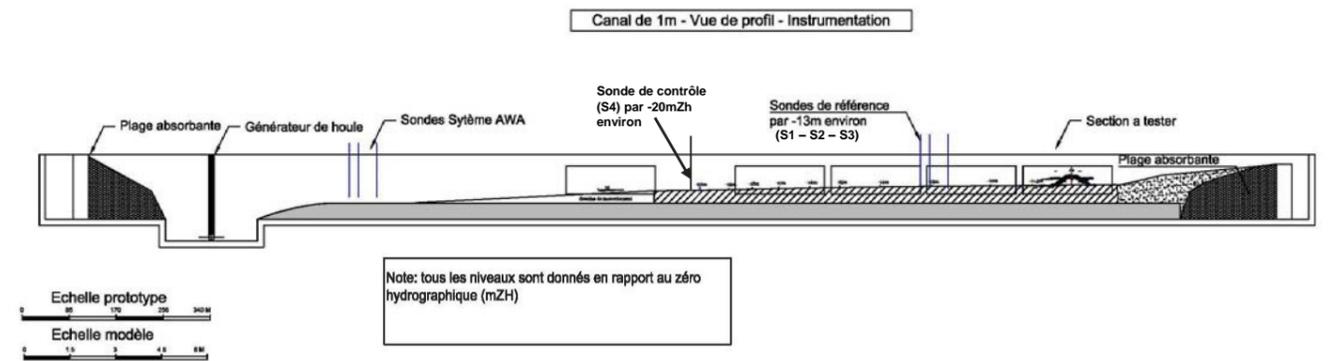
MODELE PHYSIQUE EN CANAL A HOULES

Sondes capacitives (groupe de 3 montées sur chariot)



MODELE PHYSIQUE EN CANAL A HOULES

Sondes capacitives (localisation des sondes)



MODELE PHYSIQUE EN CANAL A HOULES

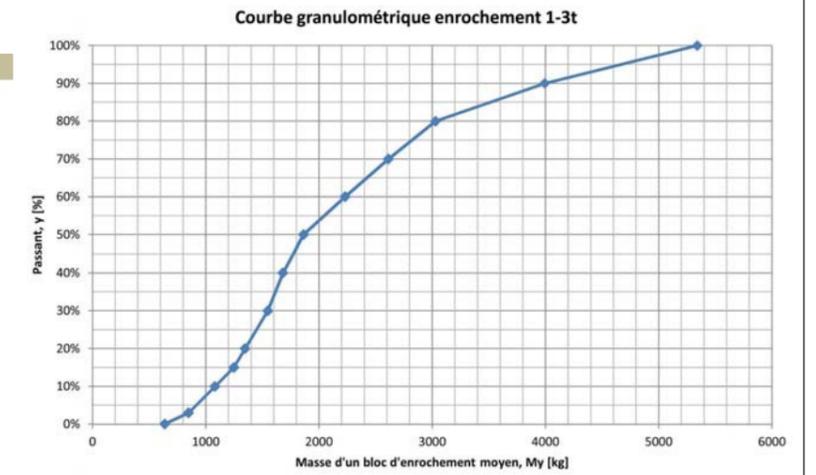
GRANULOMETRIE DES ENROCHEMENTS

MODELE PHYSIQUE EN CANAL A HOULES

Courbe granulométrique de la sous-couche [1t - 3t]

Modèle:	Port La Nouvelle		Echelle du modèle 1/	55
Date:	09/07/2014			
d. enr. Labo (t/m ³)	2.65	d. eau labo (t/m ³)	1.0	
d. enr. prototype (t/m ³)	2.65	d. eau prototype (t/m ³)	1.025	

Catégorie:	kg	
	1000	3000
pourcentage inférieur à	masse labo (g)	masse prototype (kg)
0.1%	3.8337	638
3%	5.1	849
10%	6.5	1081
15%	7.5	1248
20%	8.1	1348
30%	9.3	1547
40%	10.1	1680
50%	11.2	1863
60%	13.4	2229
70%	15.7	2612
80%	18.2	3028
90%	24	3993
100%	32.1	5341

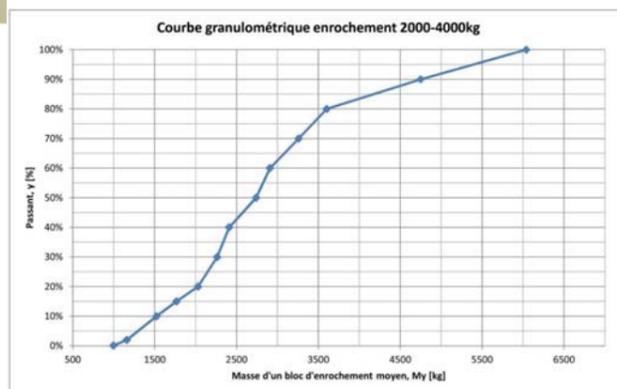


MODELE PHYSIQUE EN CANAL A HOULES

Courbe granulométrique de la butée [2t – 4t]

Modèle: **Port La Nouvelle** Echelle du modèle 1/ **55**
 Date **09/07/2014**
 d. enr. Labo (t/m3) **2.65** d. eau labo (t/m3) **1.0**
 d. enr. prototype (t/m3) **2.65** d. eau prototype (t/m3) **1.025**

Catégorie:	kg	
	2000	4000
pourcentage inférieur à	masse labo (g)	masse prototype (kg)
0.1%	5.3141	997
2%	6.182	1160
10%	8.11	1521
15%	9.415	1766
20%	10.82	2029
30%	12.06	2262
40%	12.84	2408
50%	14.6	2738
60%	15.5	2907
70%	17.37	3258
80%	19.2	3601
90%	25.325	4750
100%	32.2	6040

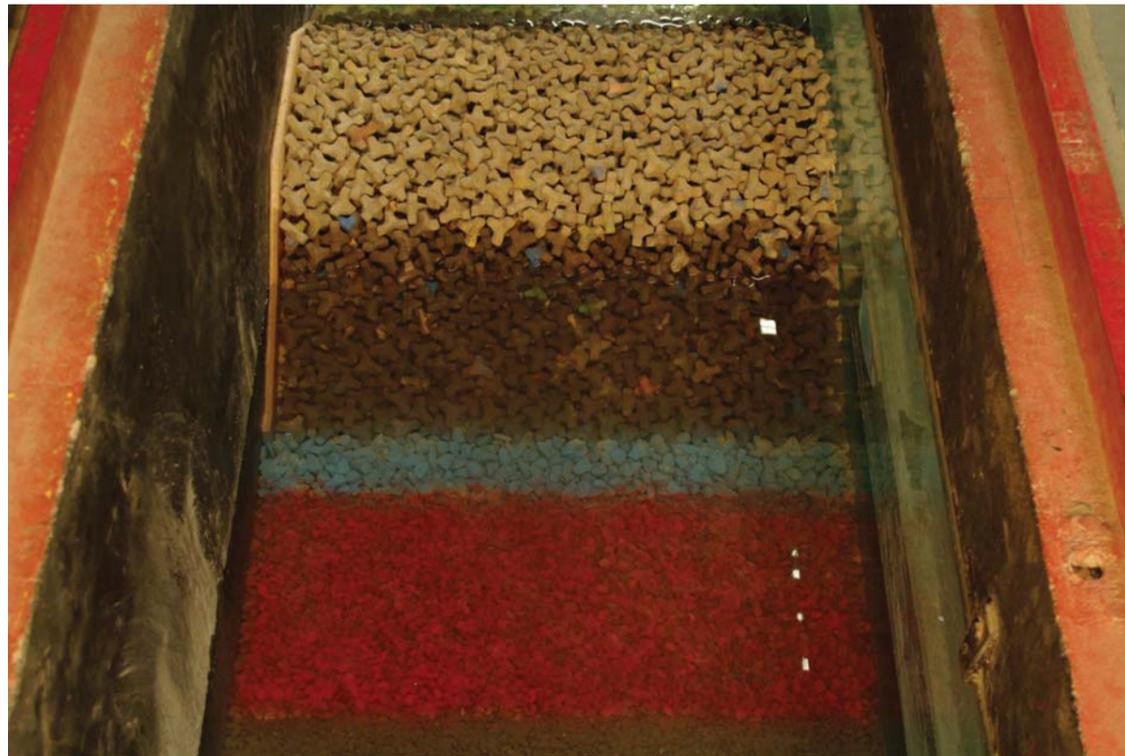


ANNEXES

ANNEXE 1: PHOTOS PRISES AU COURS DES ESSAIS

Test 1 : Houles de tassement

Section vue coté mer – avant essai



Section vue coté mer – après essai



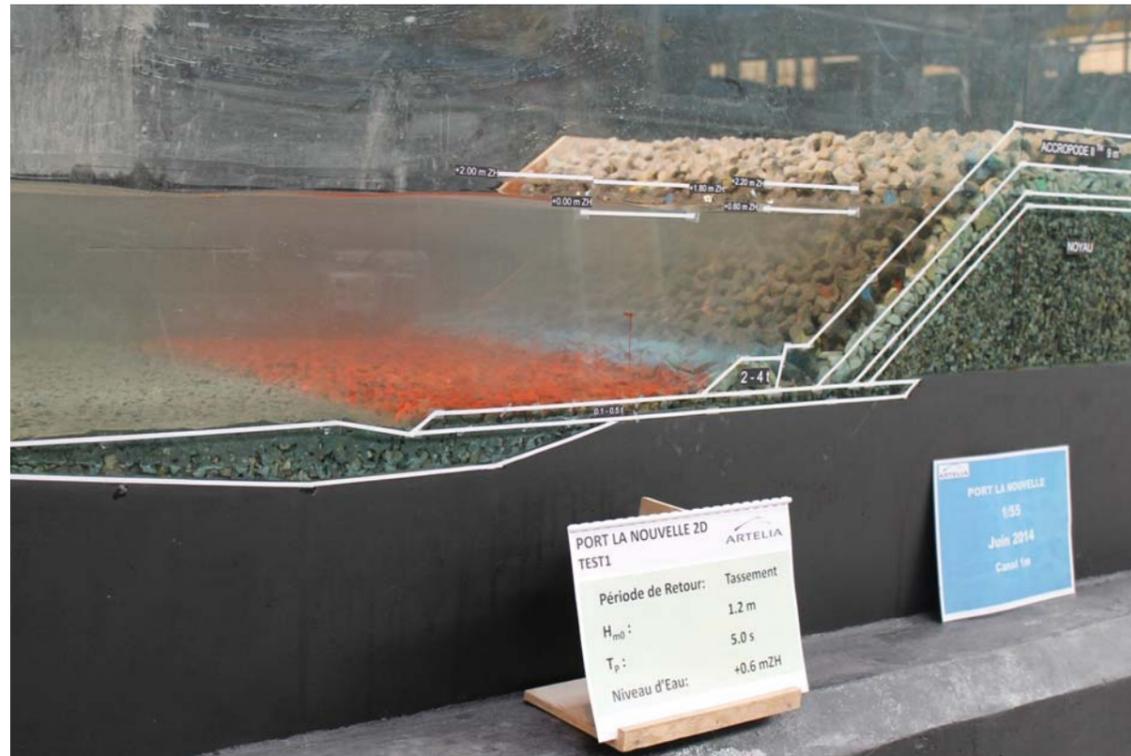
Section vue coté port – avant essai



Section vue coté port – après essai



Photos prises pendant l'essai



Test 2 : Houles de tassement

Section vue coté mer – avant essai



Section vue coté mer – après essai



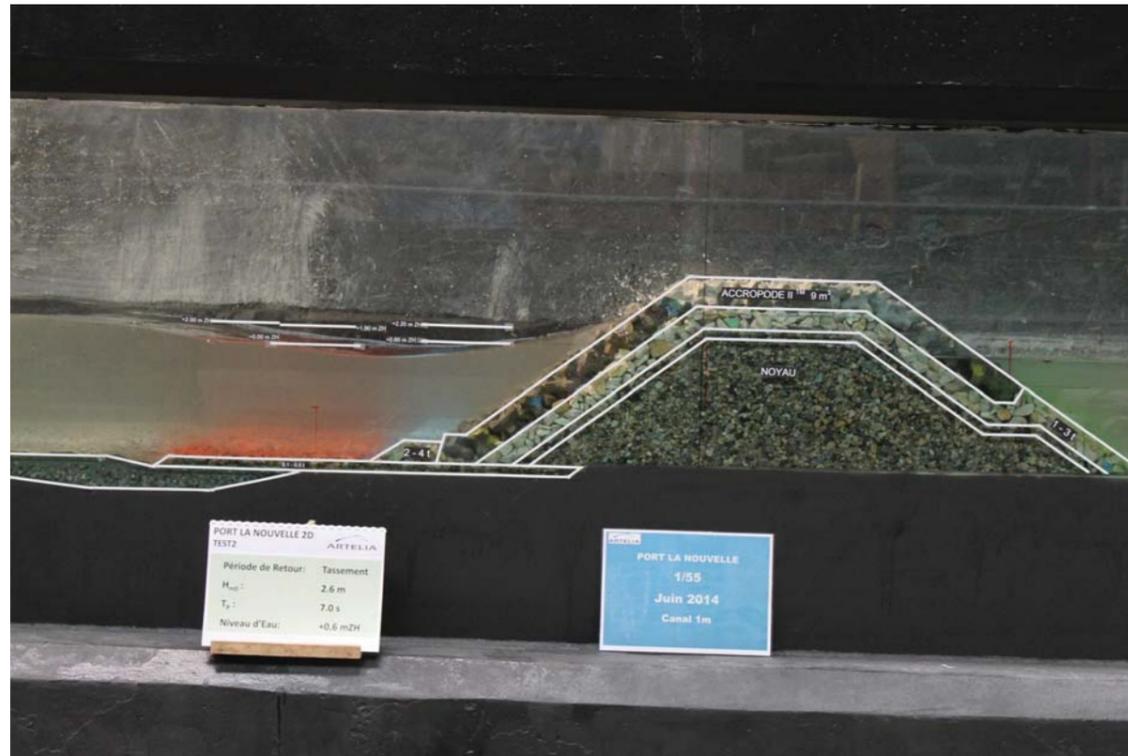
Section vue coté port – avant essai



Section vue coté port – après essai



Photos prises pendant l'essai



Test 3 : Houles de période de retour 1 an

Section vue coté mer – avant essai



Section vue coté mer – après essai



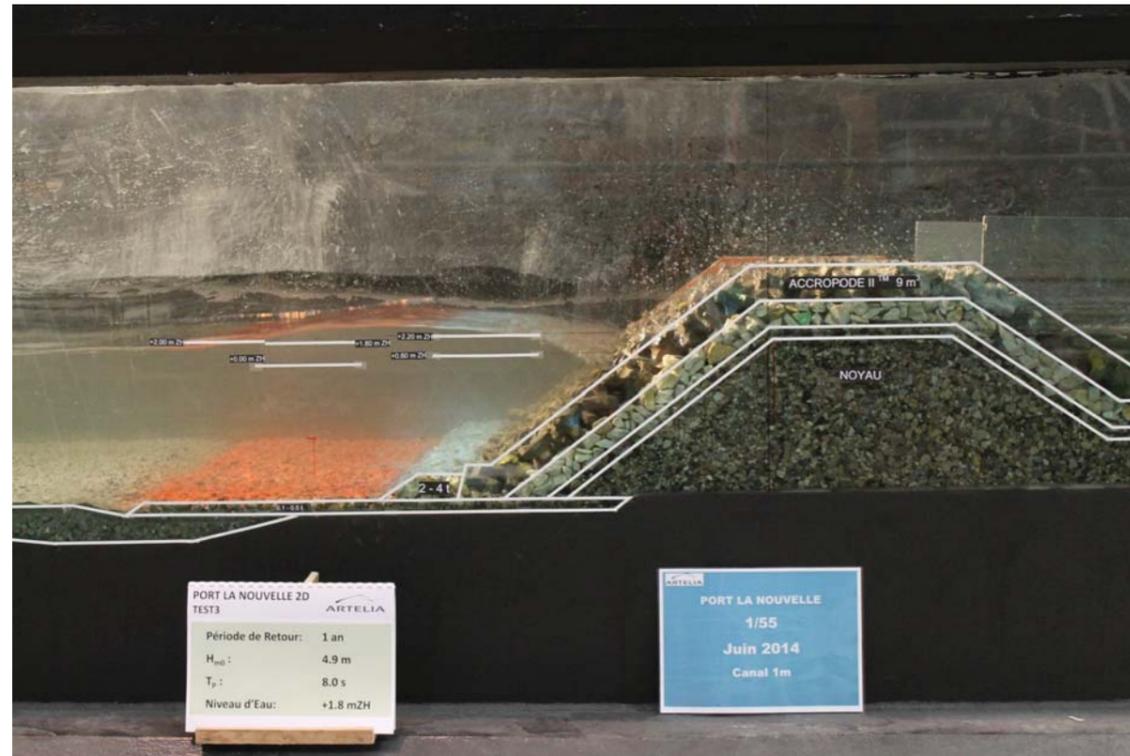
Section vue coté port – après essai



Photos prises pendant l'essai



Photos prises pendant l'essai



Photos prises pendant l'essai



Photos prises pendant l'essai



Test 4 : Houles de période de retour 1 an – sensibilité sur la période

Section vue coté mer – avant essai



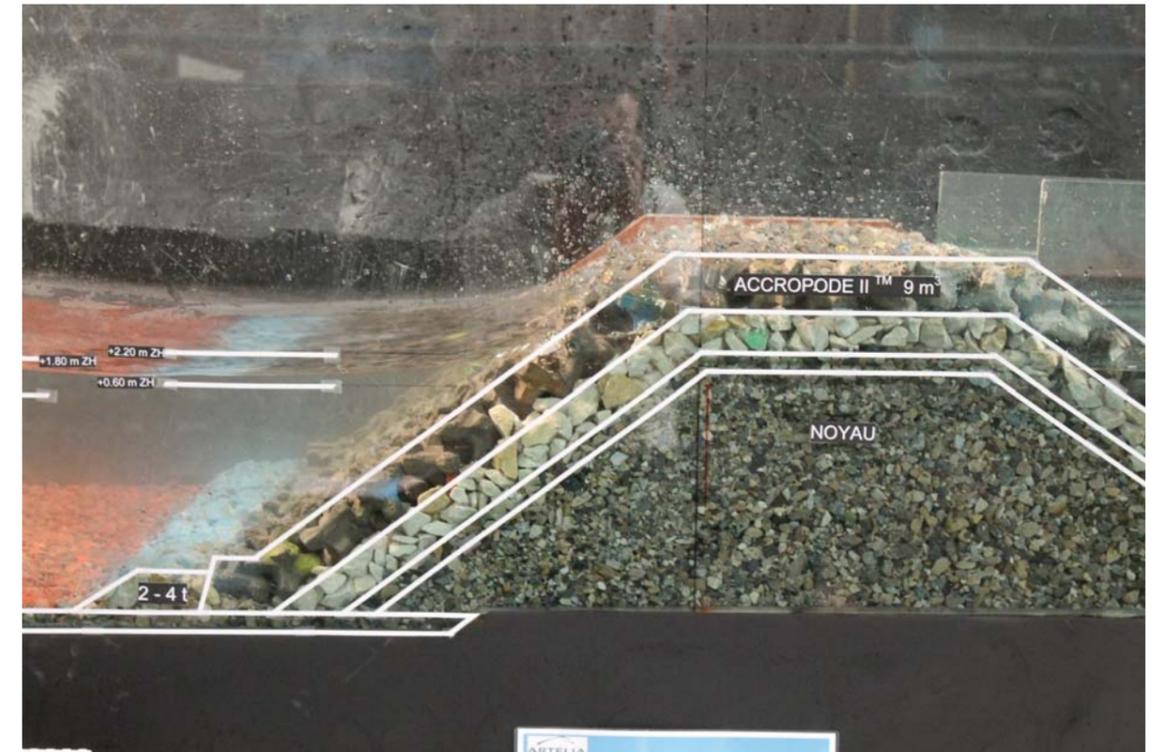
Section vue coté mer – après essai



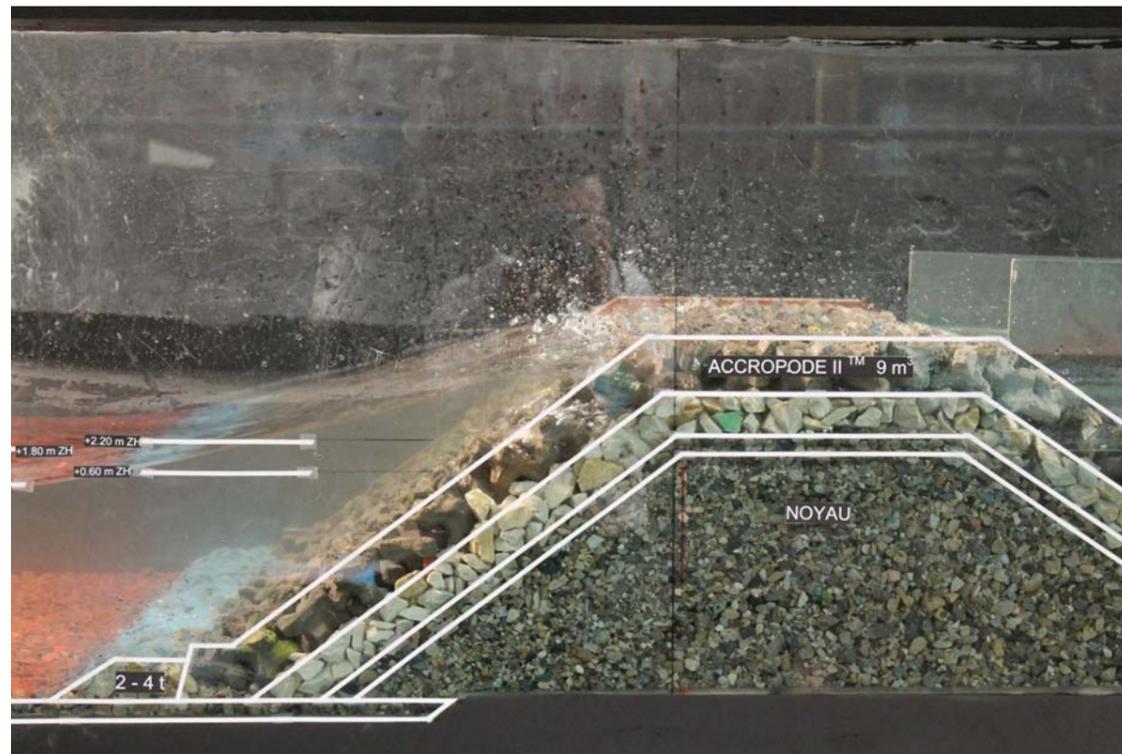
Section vue coté port – après essai



Photos prises pendant l'essai



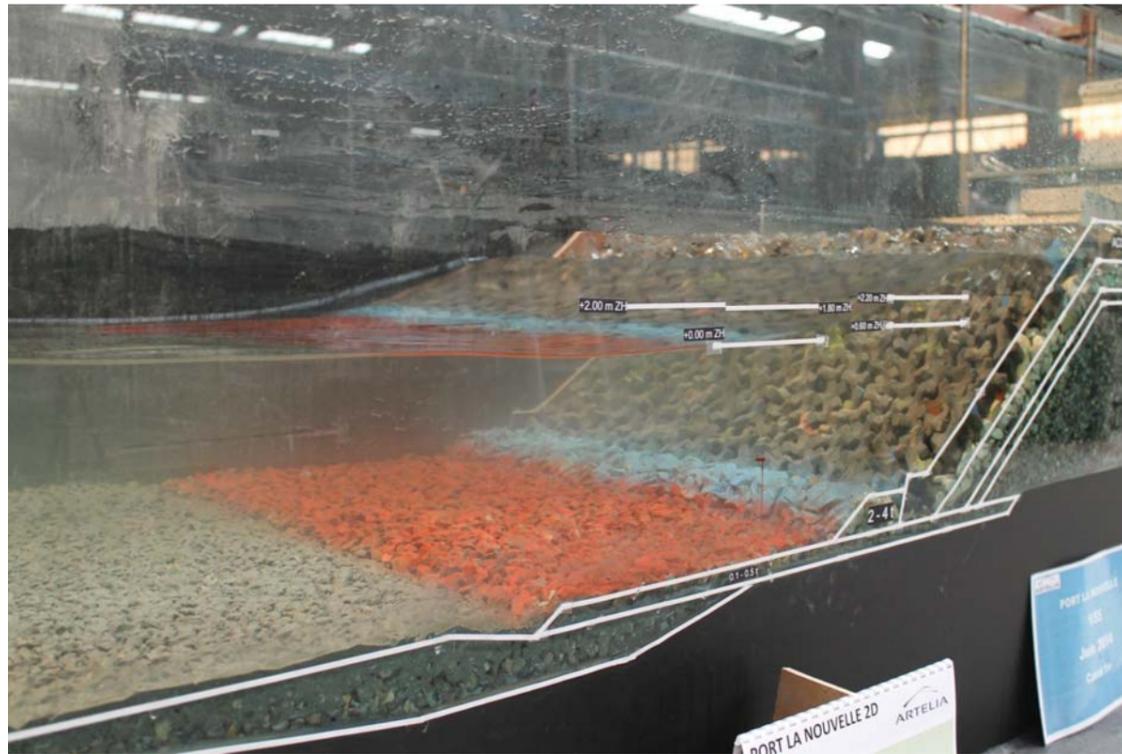
Photos prises pendant l'essai



Photos prises pendant l'essai



Photos prises pendant l'essai



Test 5 : Houles de période de retour 10 ans – houle extrême intermédiaire

Section vue coté mer – avant essai



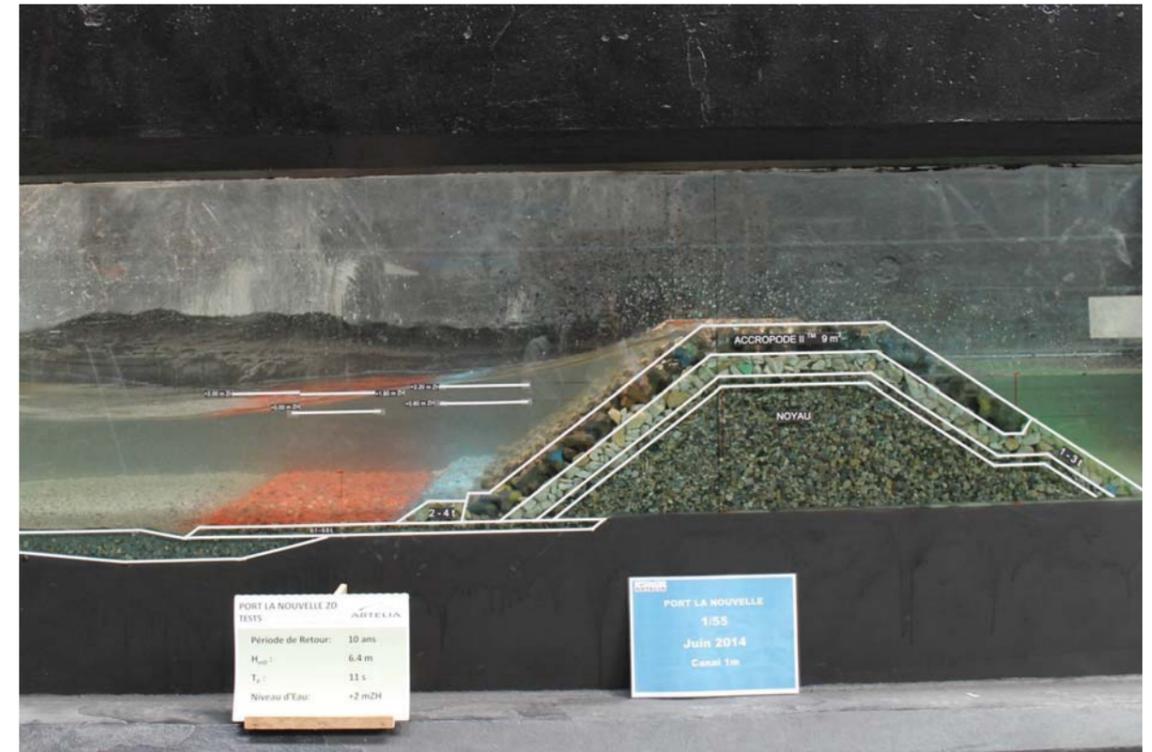
Section vue coté mer – après essai



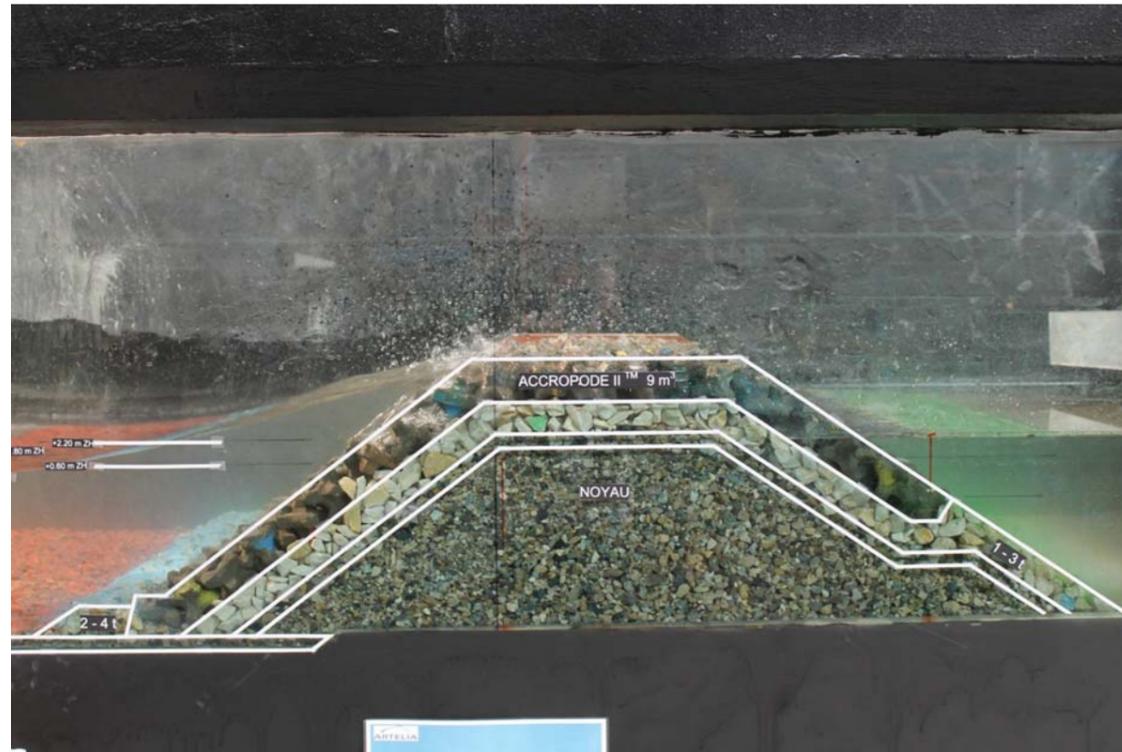
Section vue coté port – après essai



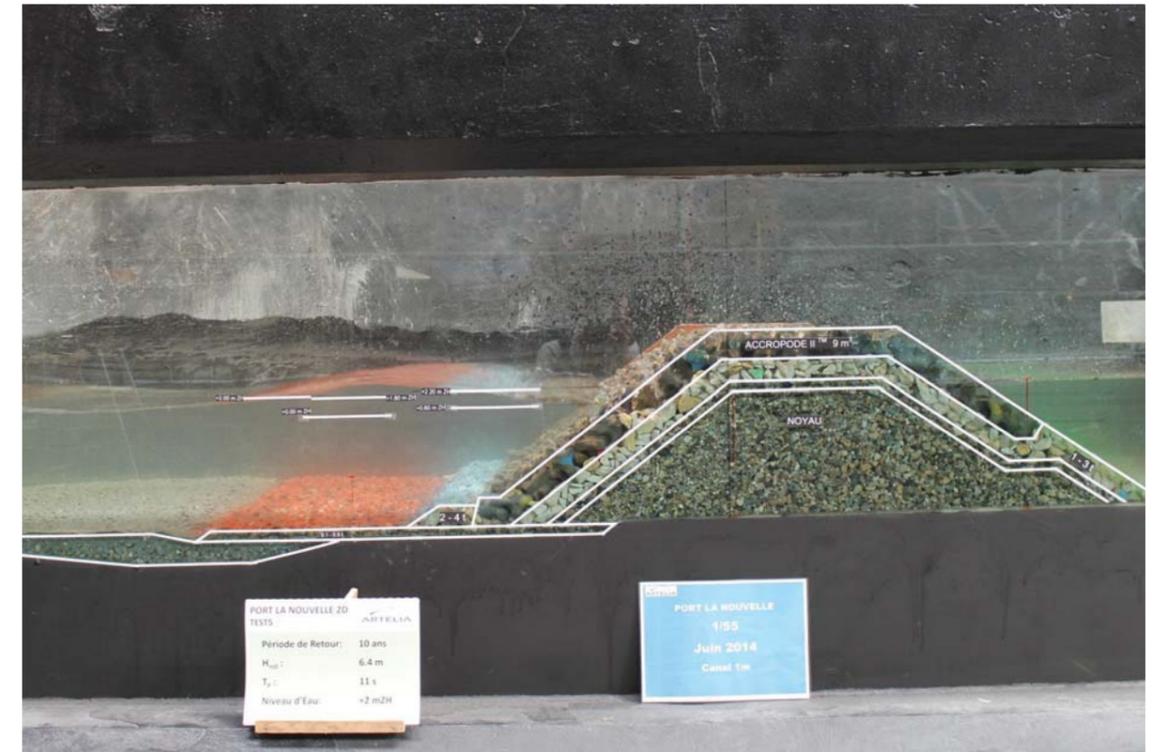
Photos prises pendant l'essai



Photos prises pendant l'essai



Photos prises pendant l'essai



Photos prises pendant l'essai



Photos prises pendant l'essai



Photos prises pendant l'essai



Test 6 : Houles de période de retour 100 ans –

Section vue coté mer – avant essai



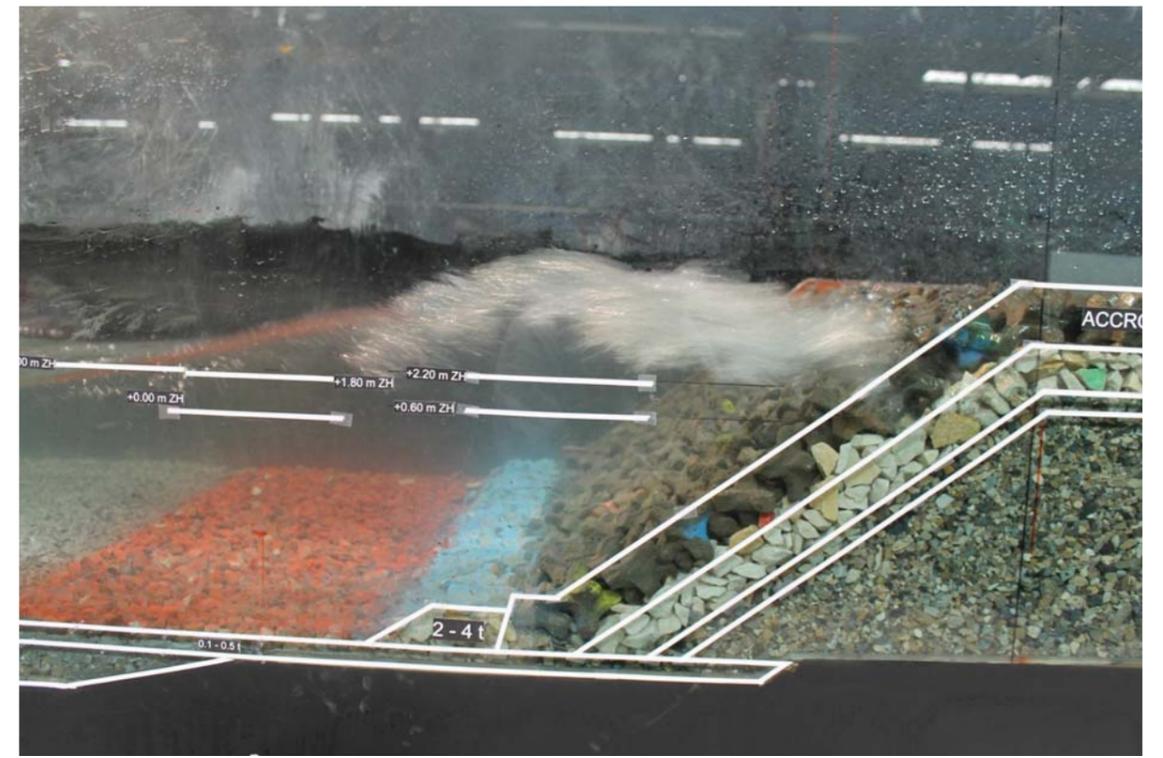
Section vue coté mer – après essai



Section vue coté port – après essai



Photos prises pendant l'essai



Photos prises pendant l'essai



Photos prises pendant l'essai



Photos prises pendant l'essai



Photos prises pendant l'essai



Test 7 : Houles de période de retour 100 ans – sensibilité sur la période

Section vue coté mer – avant essai



Section vue coté mer – après essai



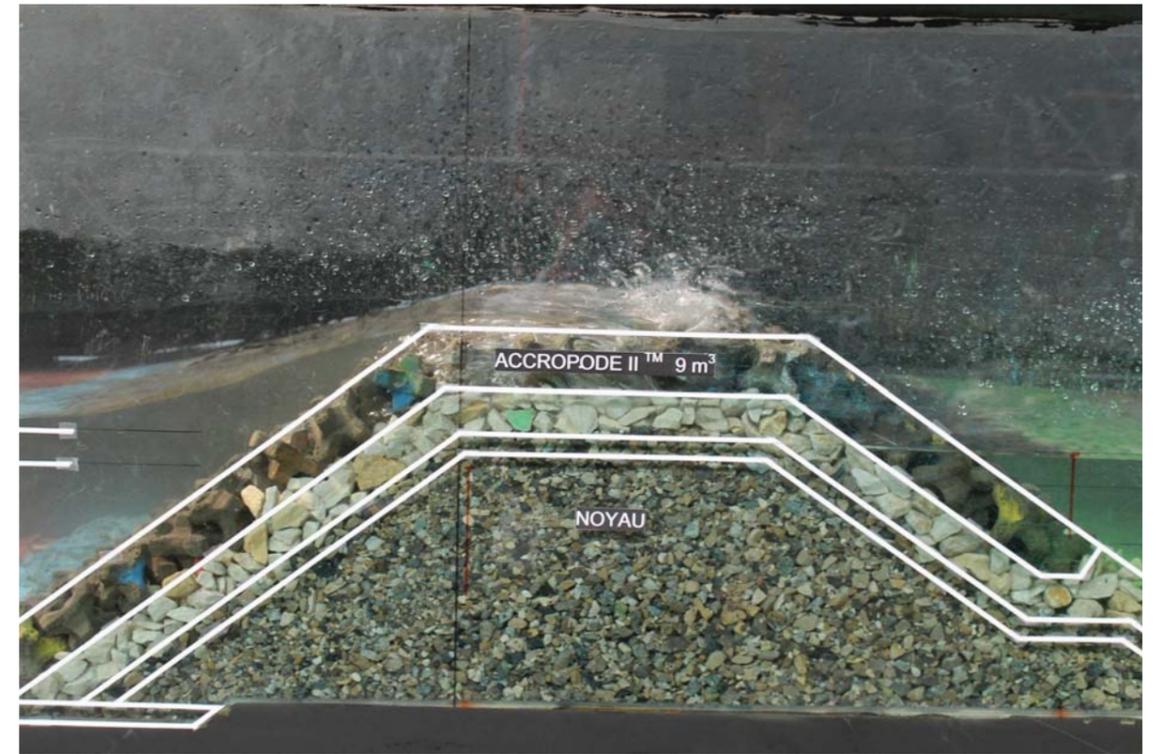
Section vue coté port – avant essai



Section vue coté port – après essai



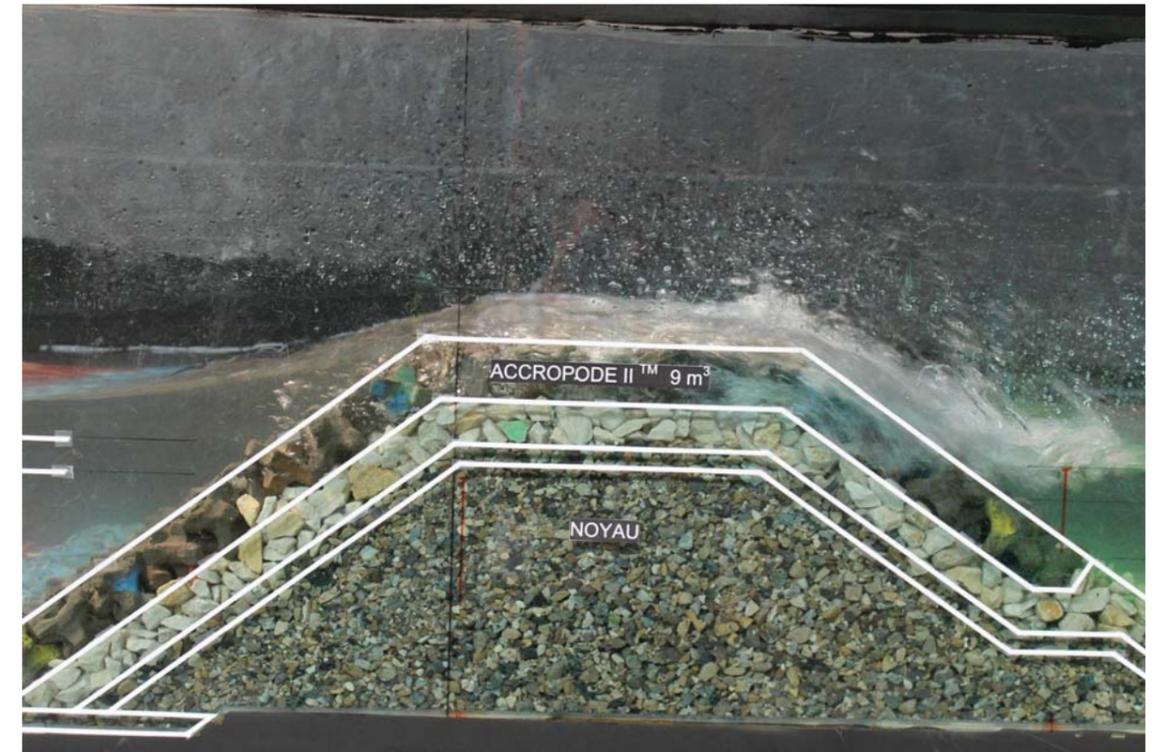
Photos prises pendant l'essai



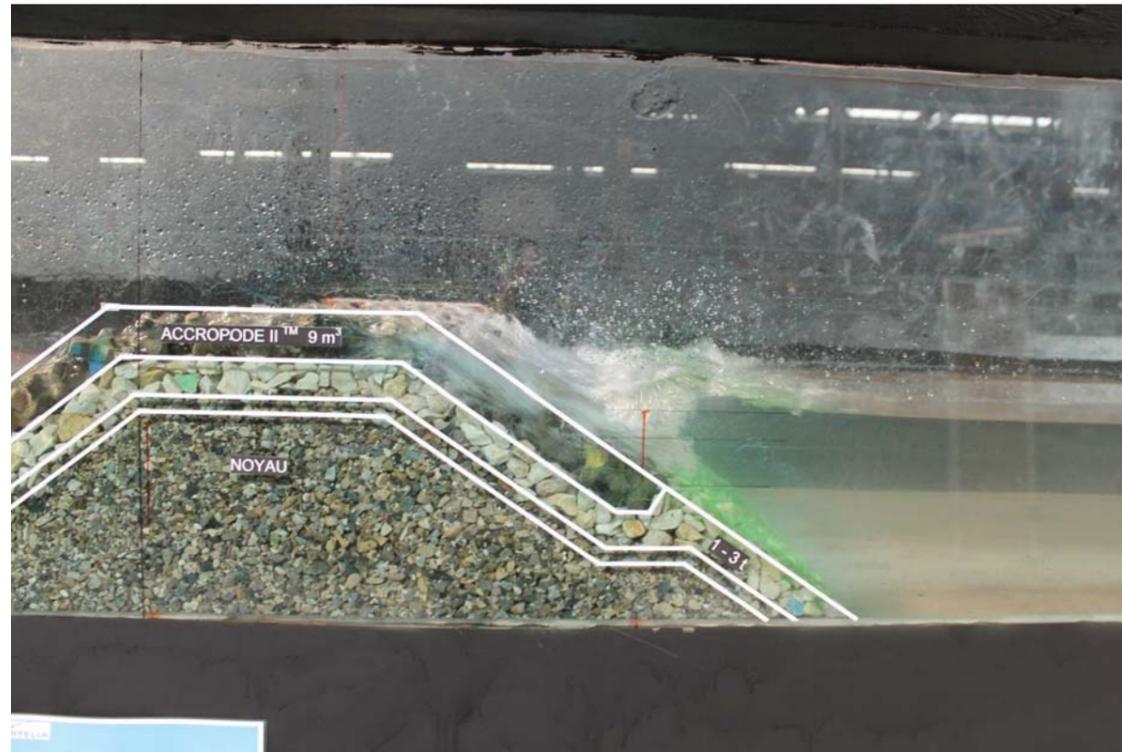
Photos prises pendant l'essai



Photos prises pendant l'essai



Photos prises pendant l'essai



Photos prises pendant l'essai



Photos prises pendant l'essai



Photos prises pendant l'essai

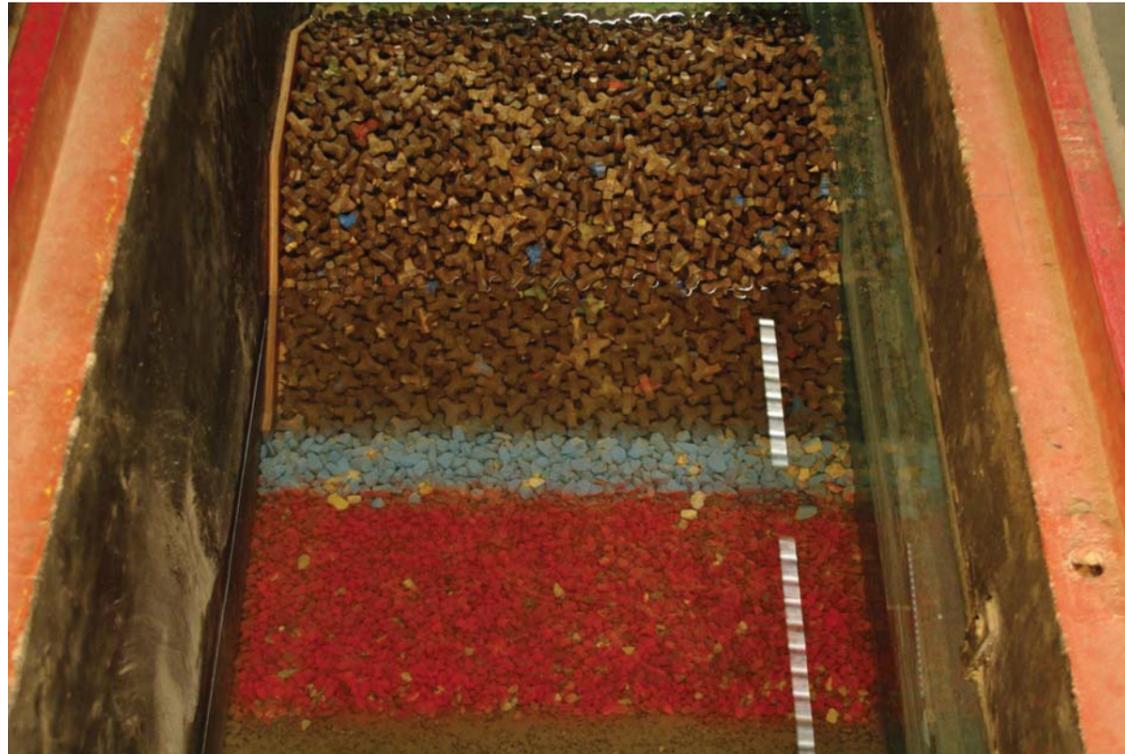


Test 8 : Houles de période de retour 100 ans – niveau bas

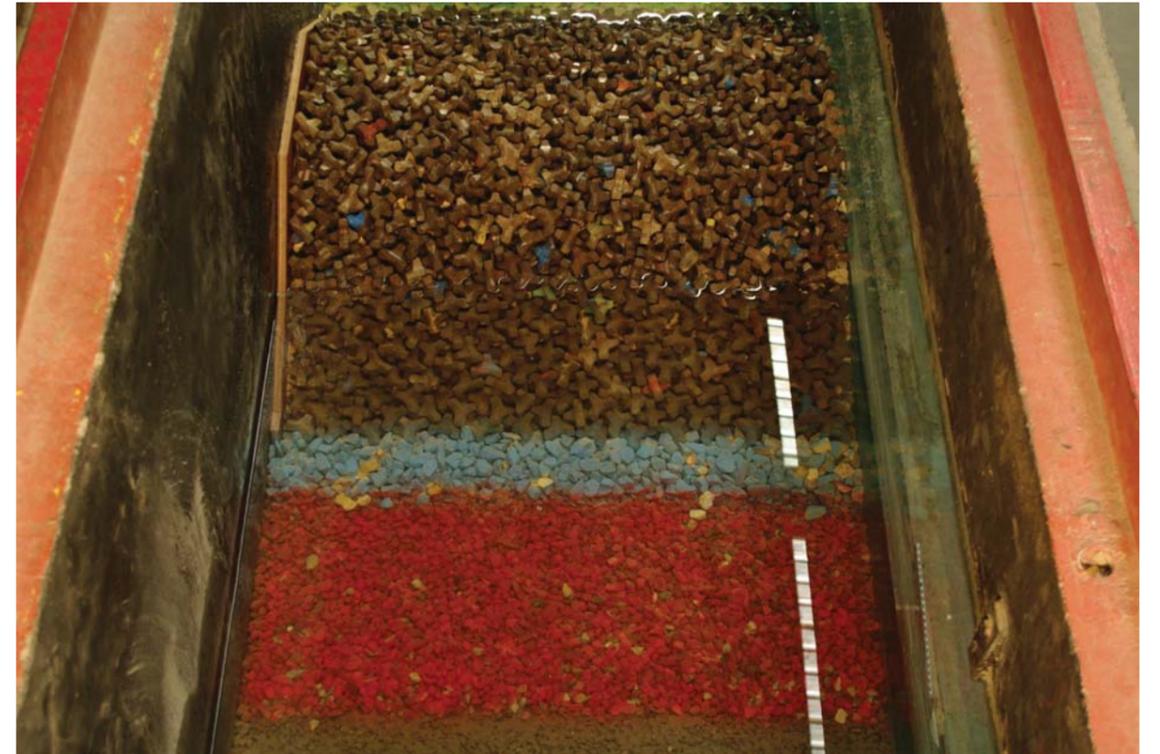
Section vue coté mer – avant essai



Section vue coté mer – après essai (après 3h)



Section vue coté mer – après essai (après 6h)



Section vue coté port – avant essai



Section vue coté port – après essai (6h)



Photos prises pendant l'essai



Photos prises pendant l'essai



Photos prises pendant l'essai



Photos prises pendant l'essai



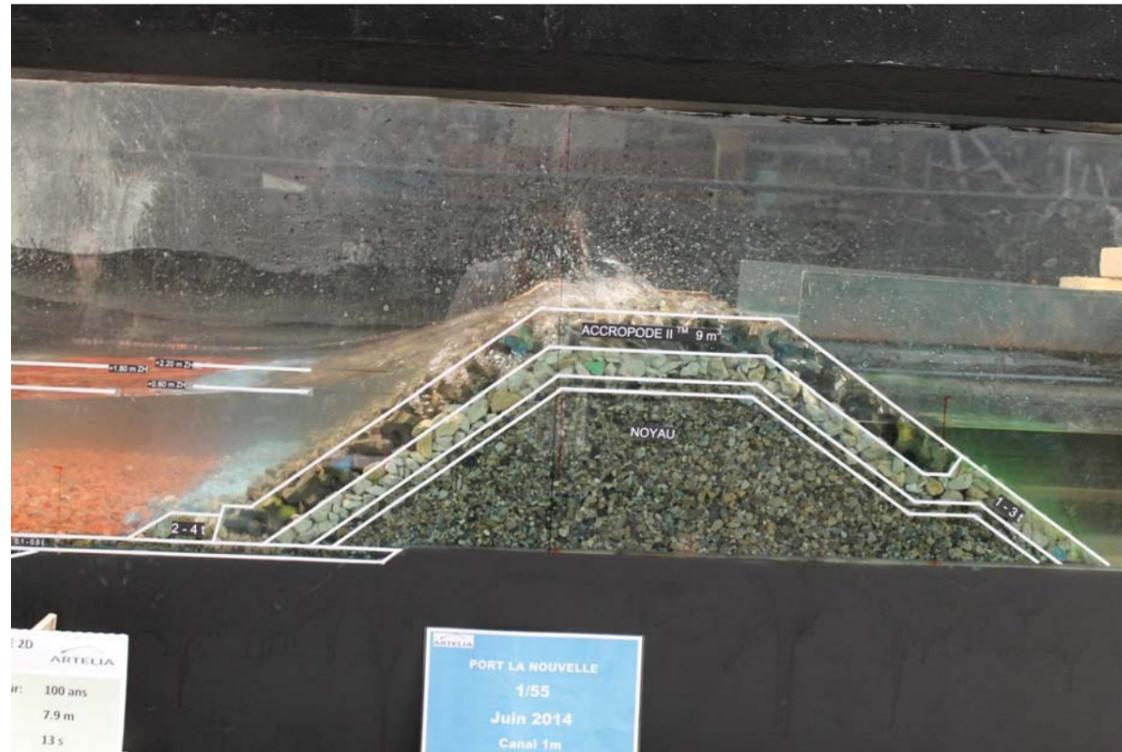
Photos prises pendant l'essai



Photos prises pendant l'essai



Photos prises pendant l'essai



Test 9 : Houles « 120% »

Section vue coté mer – avant essai



Section vue coté mer – après essai (après 3h)



Section vue coté mer – après essai (après 6h)



Section vue coté port – avant essai



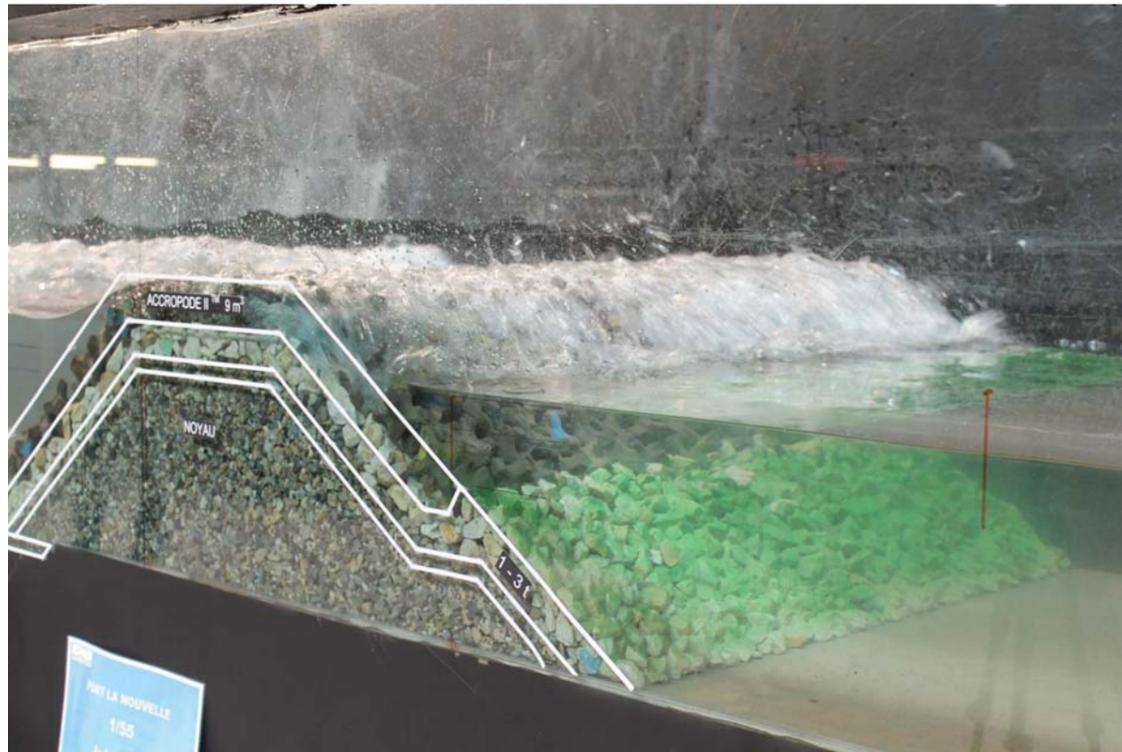
Section vue coté port – après essai (3h)



Section vue coté port – après essai (6h)



Photos prises pendant l'essai



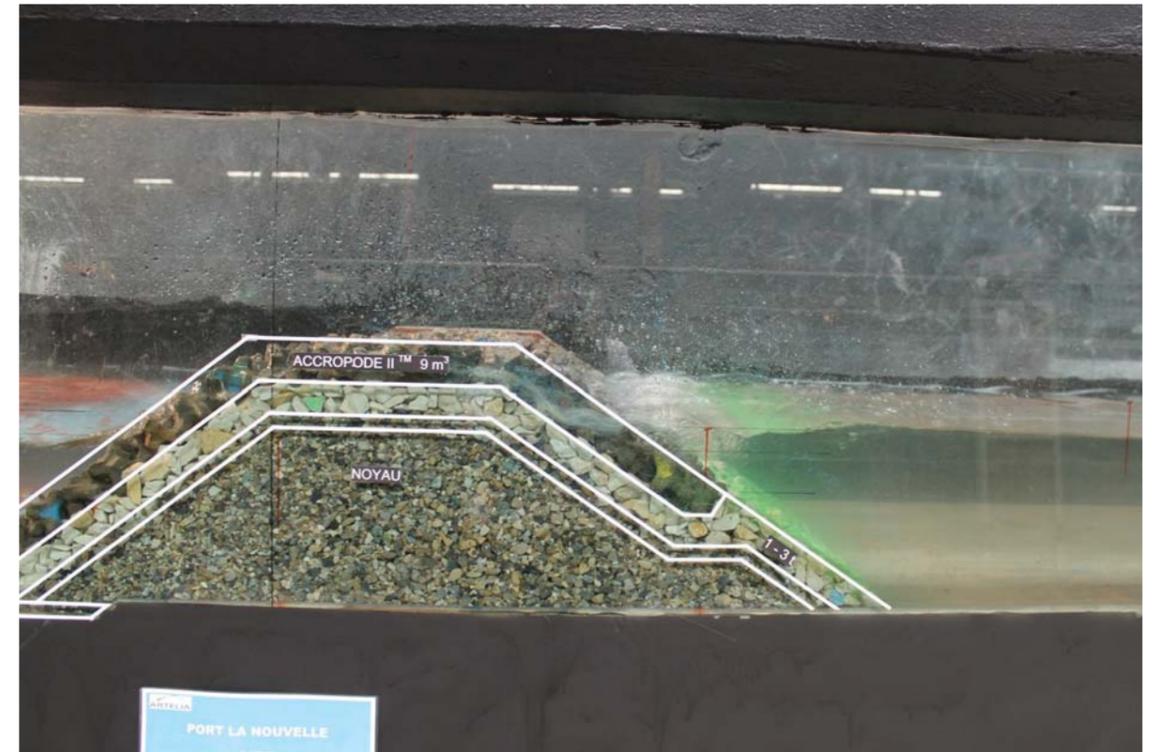
Photos prises pendant l'essai



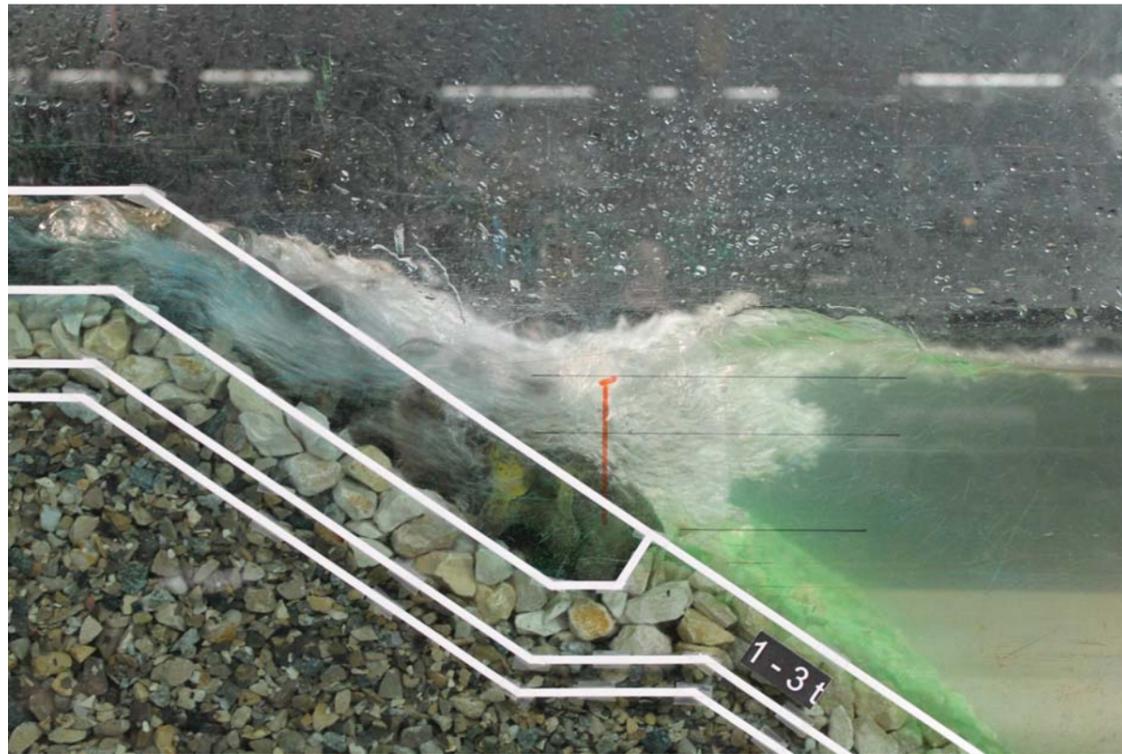
Photos prises pendant l'essai



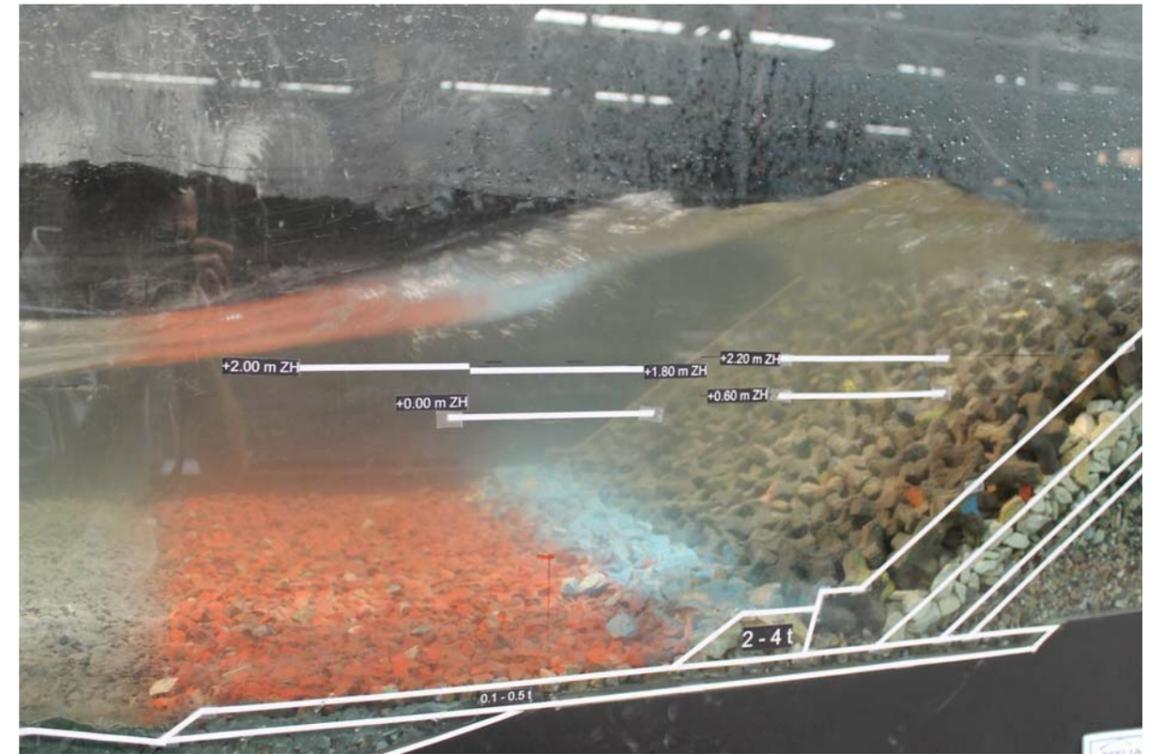
Photos prises pendant l'essai



Photos prises pendant l'essai



Photos prises pendant l'essai

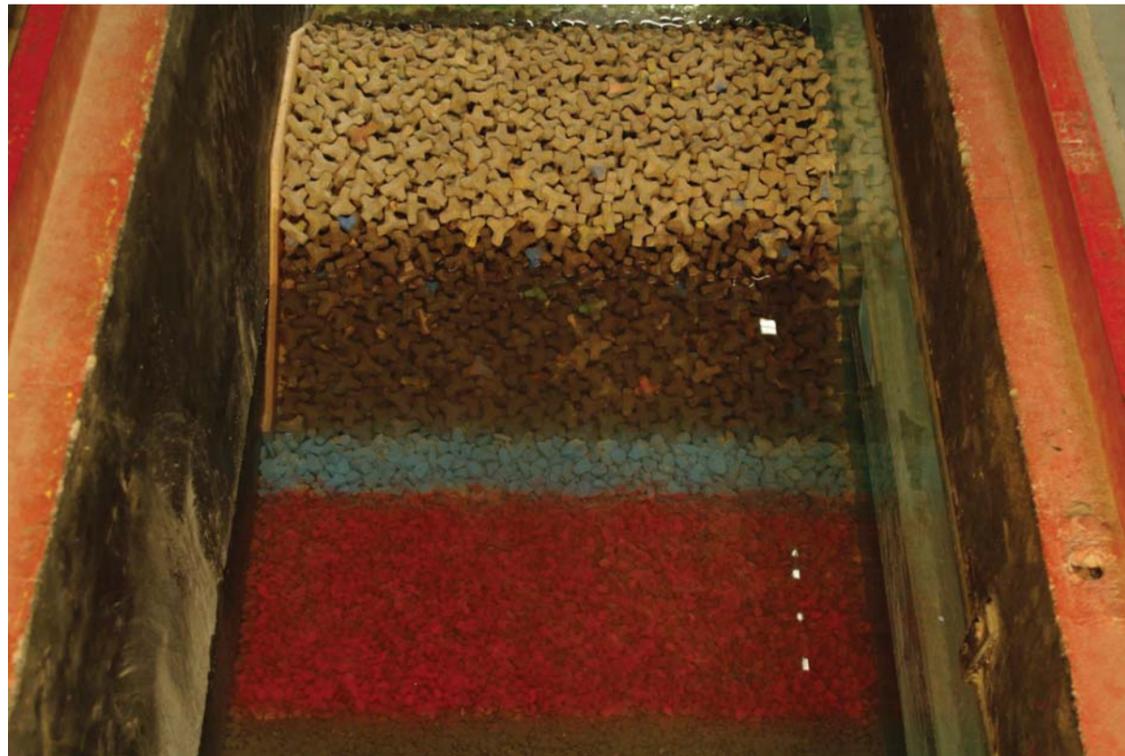


Photos prises pendant l'essai



ANNEXE 2: EVOLUTION DE LA CARAPACE COTE MER AU COURS
DES ESSAIS

Section vue coté mer – avant essai – test 1



Section vue coté mer – après essai – test 1



Section vue coté mer – après essai – test 2



Section vue coté mer – après essai – test 3



Section vue coté mer – après essai – test 4



Section vue coté mer – après essai – test 5



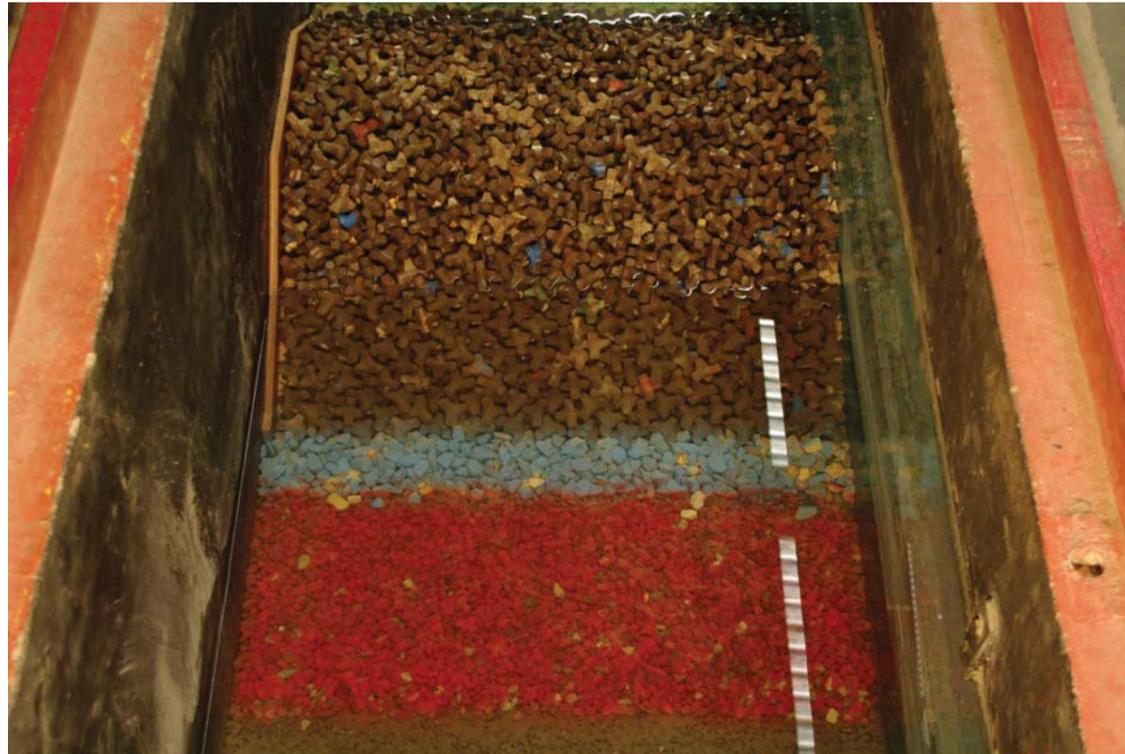
Section vue coté mer – après essai – test 6



Section vue coté mer – après essai – test 7



Section vue coté mer – après essai (après 3h) – test 8



Section vue coté mer – après essai (après 6h) – test 8



Section vue coté mer – après essai (après 3h) – test 9



Section vue coté mer – après essai (après 6h) – test 9



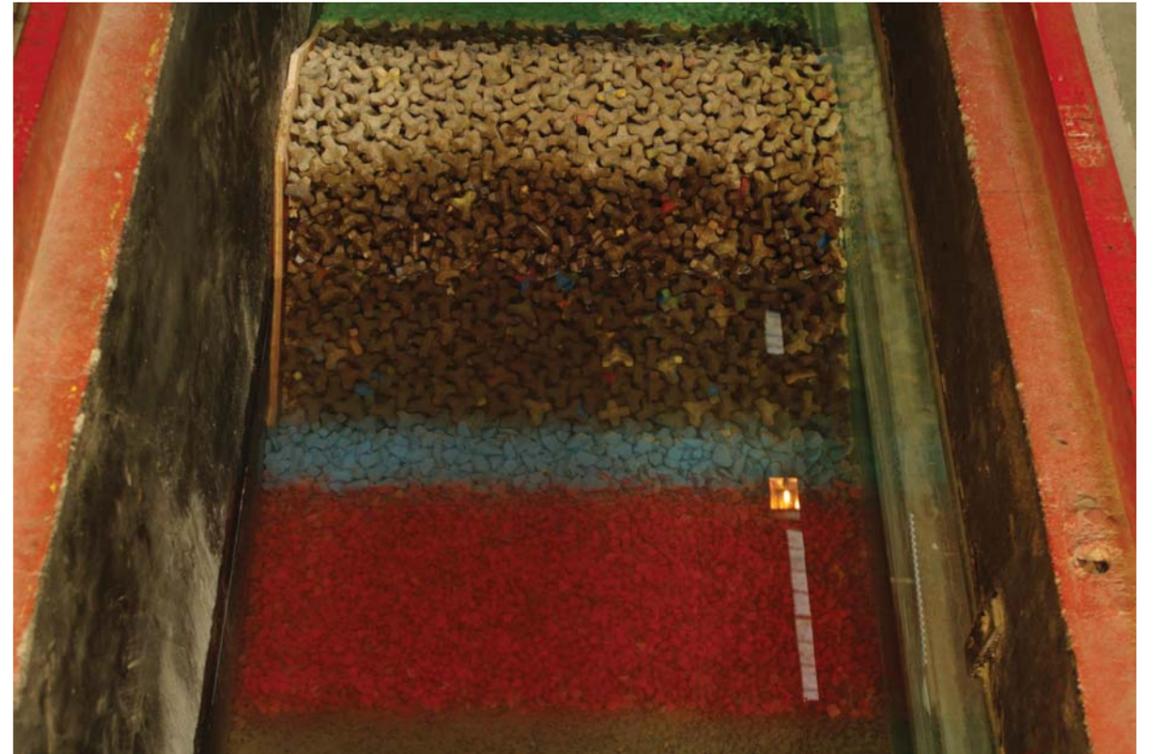
**ANNEXE 3: PHOTOS PRISES AU COURS DES ESSAIS – SECTION
OPTIMISEE**

Test 2 : Houles de tassement

Section vue coté mer – avant essai



Section vue coté mer – après essai



Section vue coté port – avant essai



Section vue coté port – après essai



Photos prises pendant l'essai



PORT LA NOUVELLE ZD
TEST2
ARTELIA
Période de Retour: Tassement
H_{eq}: 2.6 m
T_p: 7.0 s
Niveau d'Eau: +0.6 mZH

PORT LA NOUVELLE
1/55
Septembre 2014
Canal 1m

Test 4 : Houles de période de retour 1 an

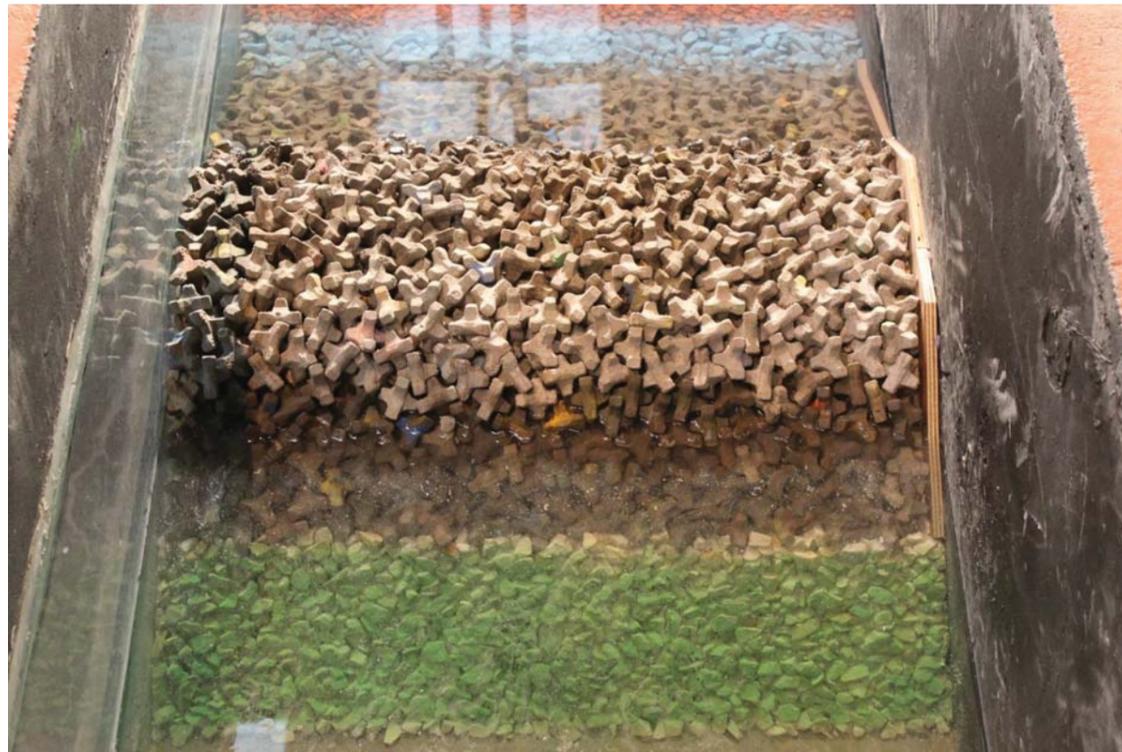
Section vue coté mer – avant essai



Section vue coté mer – après essai



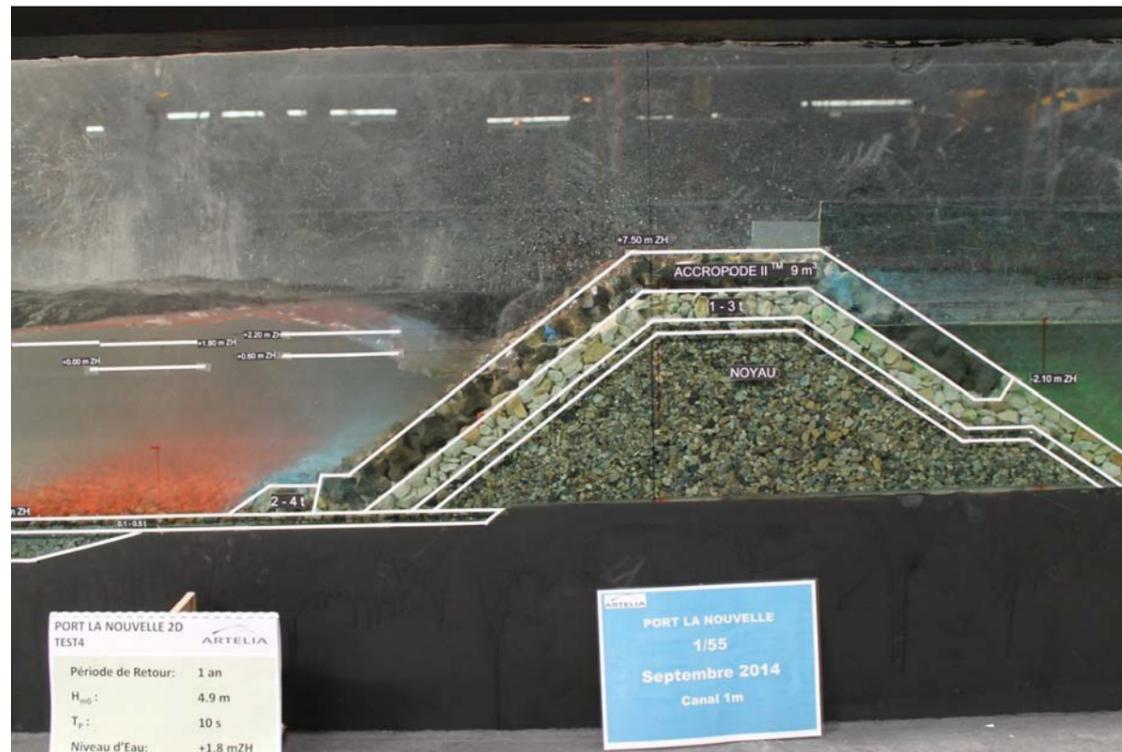
Section vue coté port – après essai



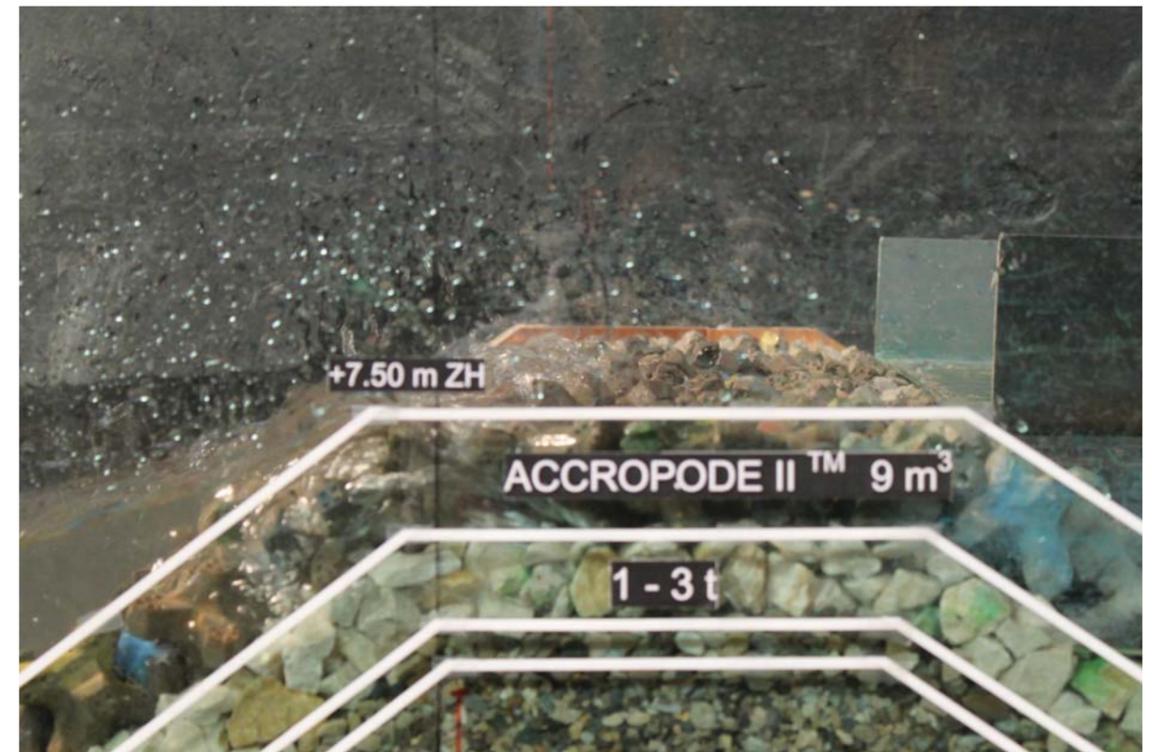
Photos prises pendant l'essai



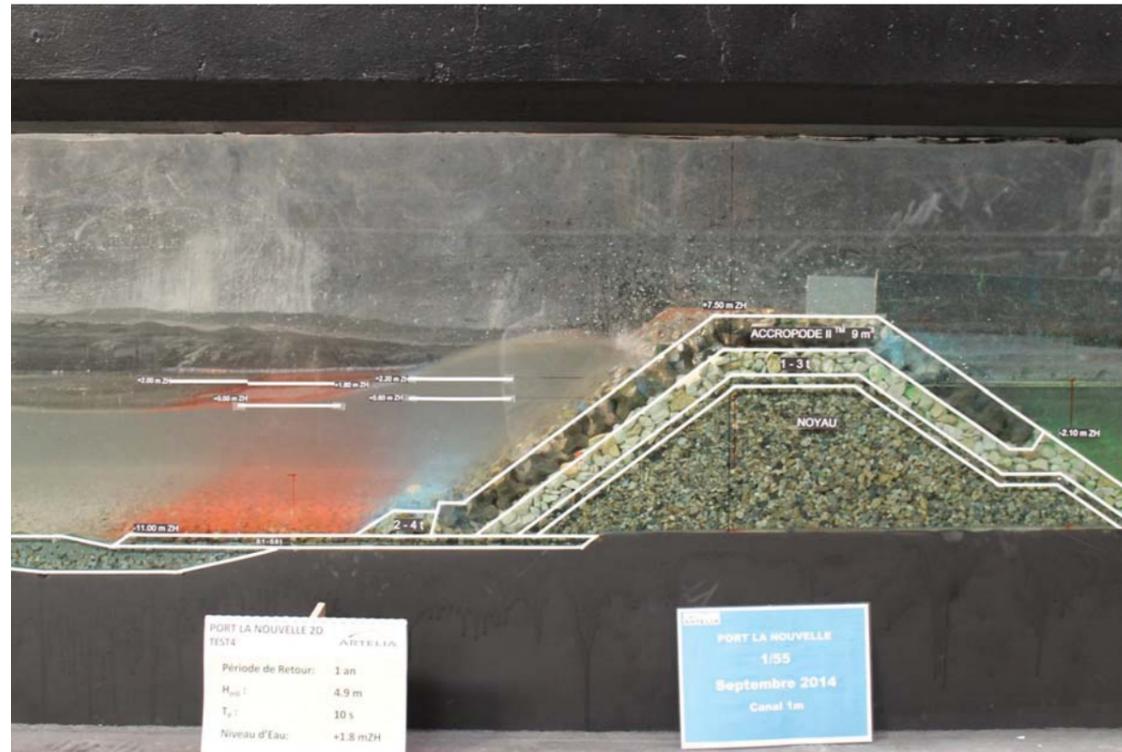
Photos prises pendant l'essai



Photos prises pendant l'essai



Photos prises pendant l'essai



Test 6 : Houles de période de retour 100 ans –

Section vue coté mer – avant essai



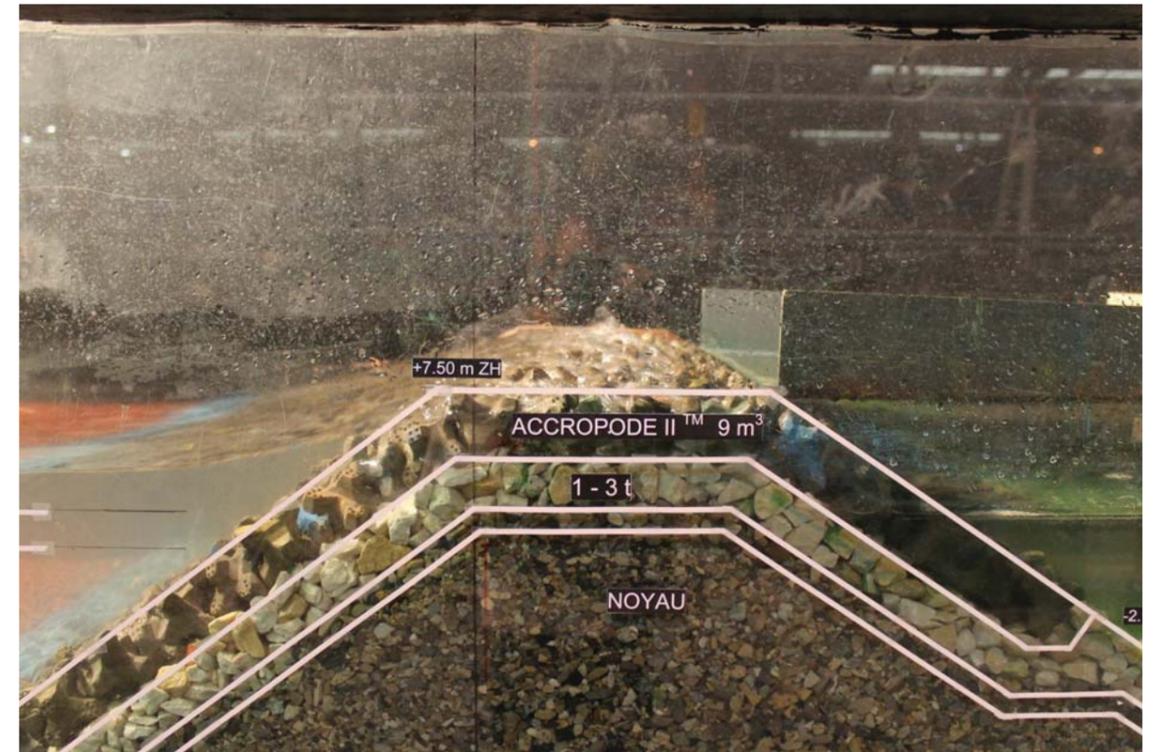
Section vue coté mer – après essai



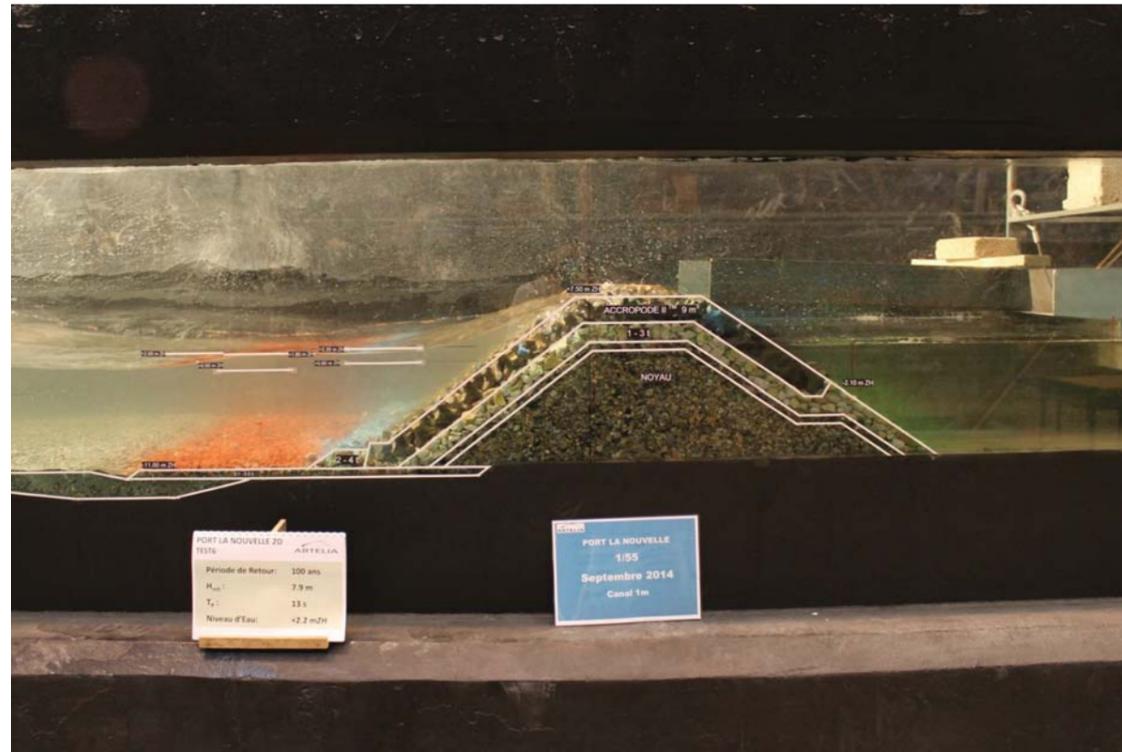
Section vue coté port – après essai



Photos prises pendant l'essai



Photos prises pendant l'essai



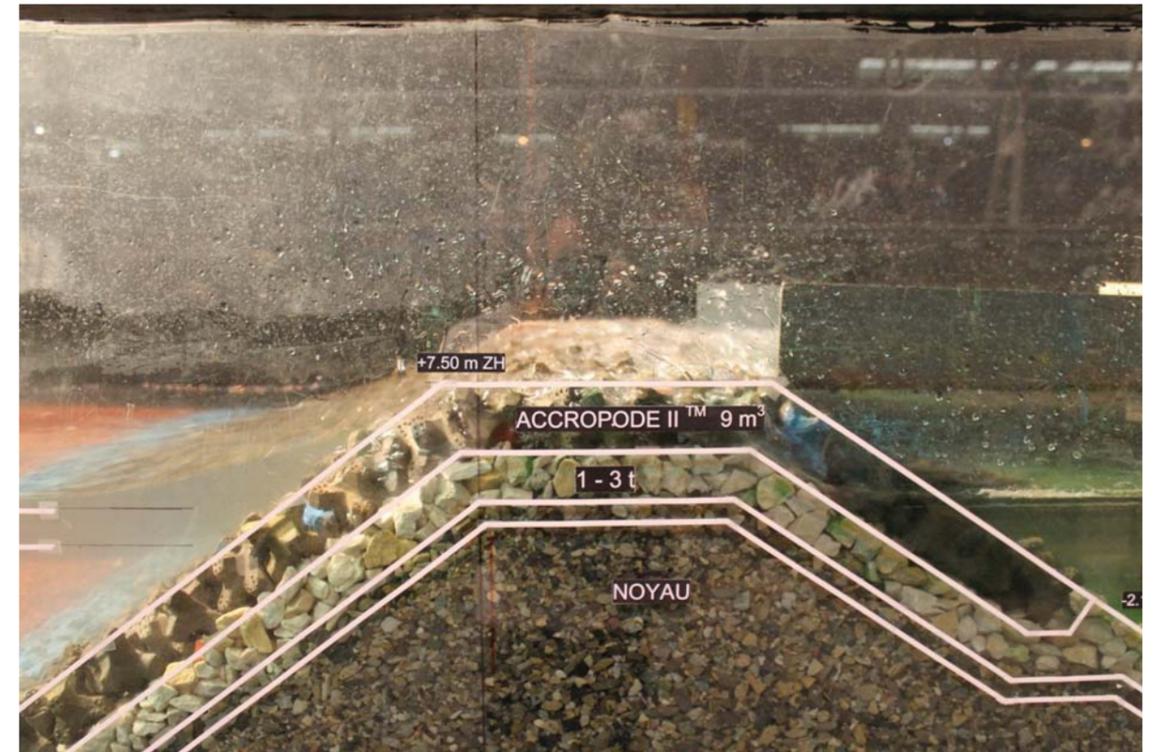
Photos prises pendant l'essai



Photos prises pendant l'essai



Photos prises pendant l'essai



Test 7 : Houles de période de retour 100 ans – sensibilité sur la période

Section vue coté mer – avant essai



Section vue coté mer – après essai



Section vue coté port – avant essai



Section vue coté port – après essai



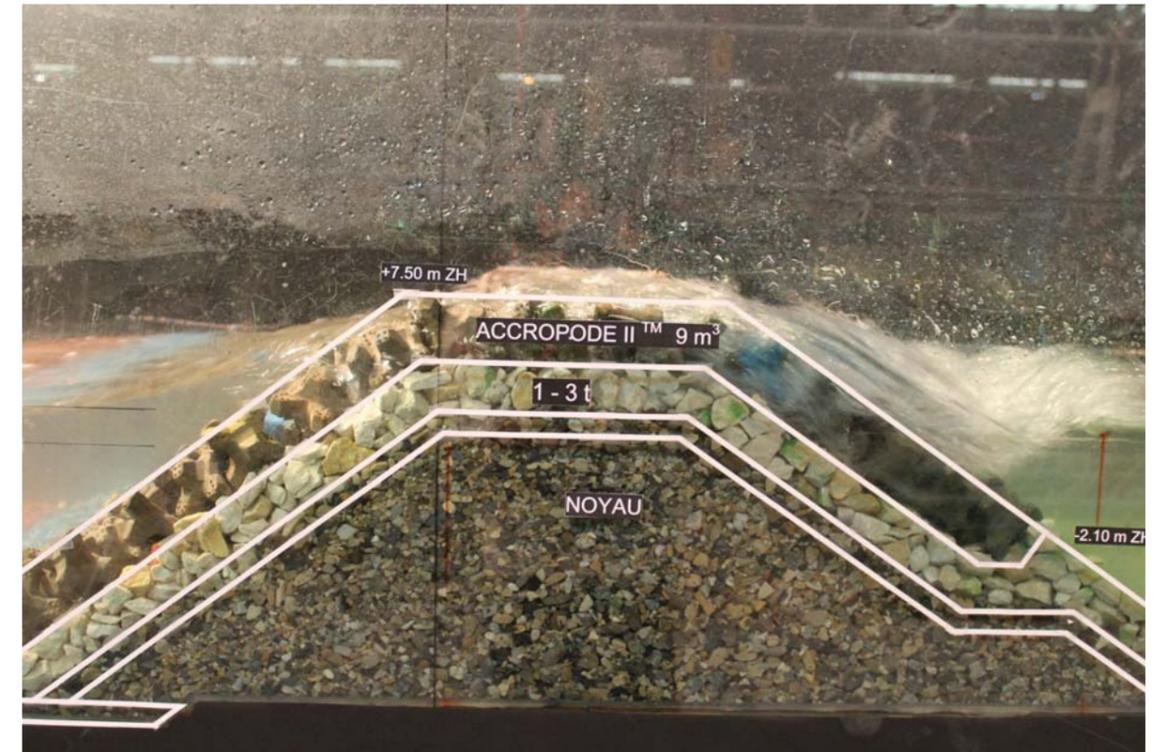
Photos prises pendant l'essai



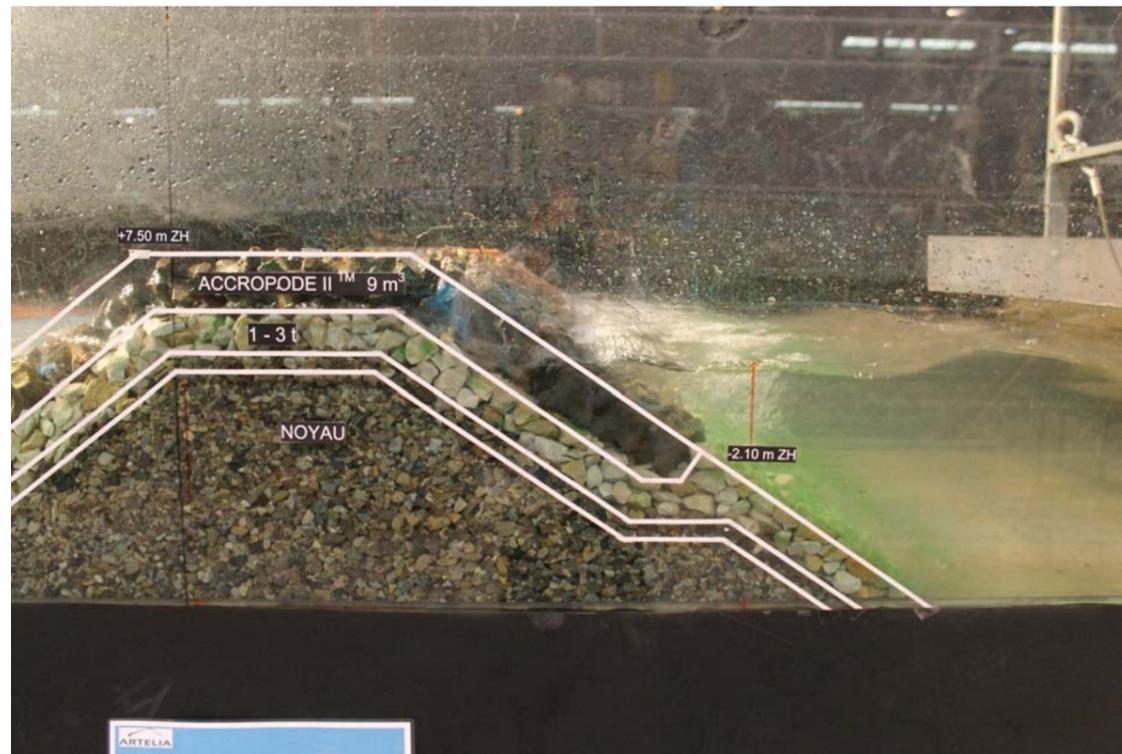
Photos prises pendant l'essai



Photos prises pendant l'essai



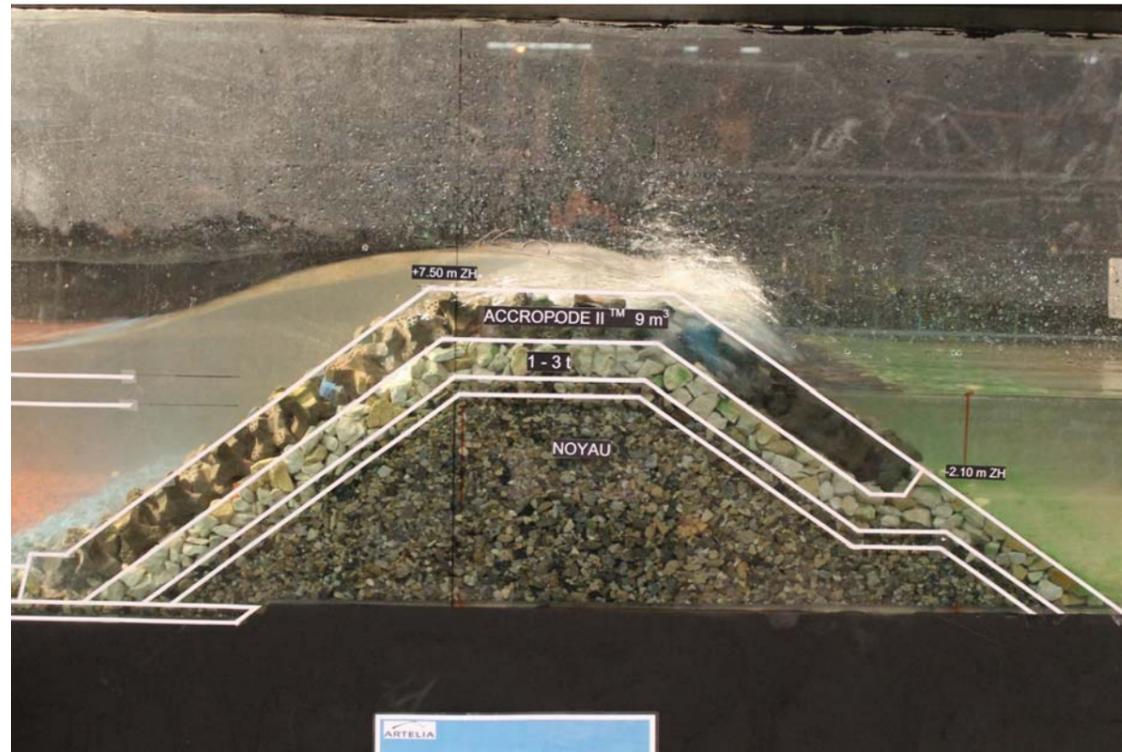
Photos prises pendant l'essai



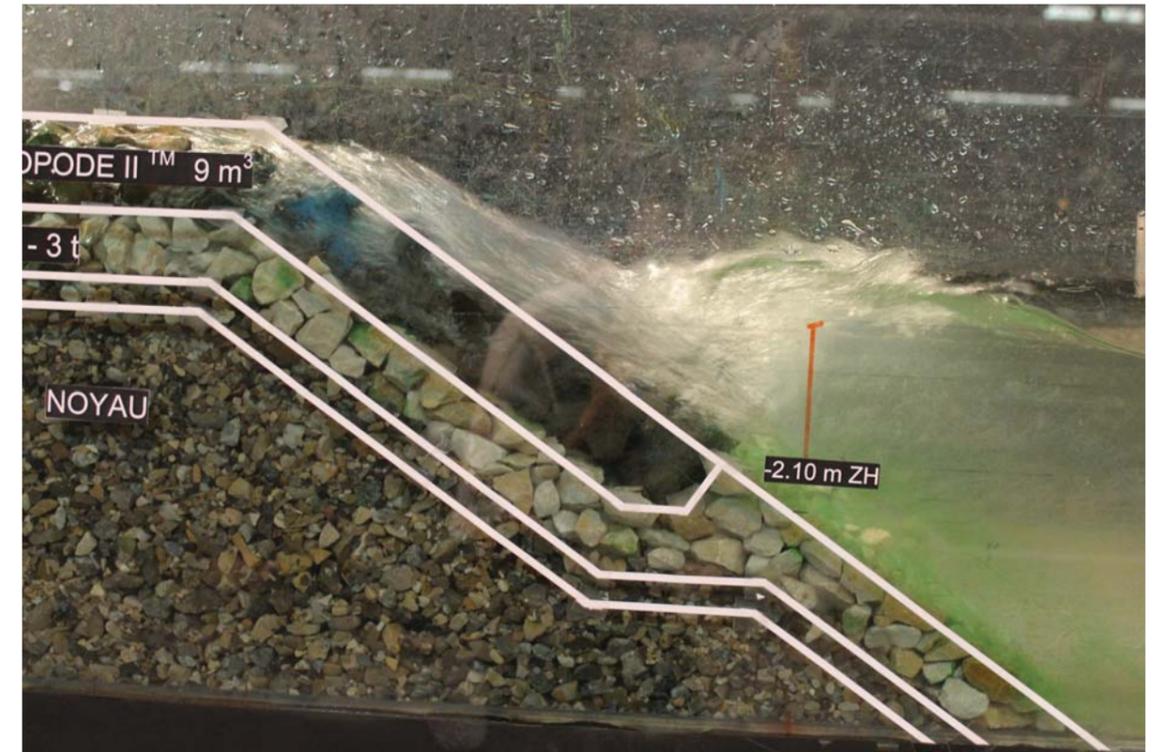
Photos prises pendant l'essai



Photos prises pendant l'essai



Photos prises pendant l'essai



Test 7-bis : Houles de période de retour 100 ans – sensibilité sur la période – mesures de franchissements

Section vue coté mer – avant essai



Section vue coté mer – après essai



Section vue coté port – avant essai



Section vue coté port – après essai



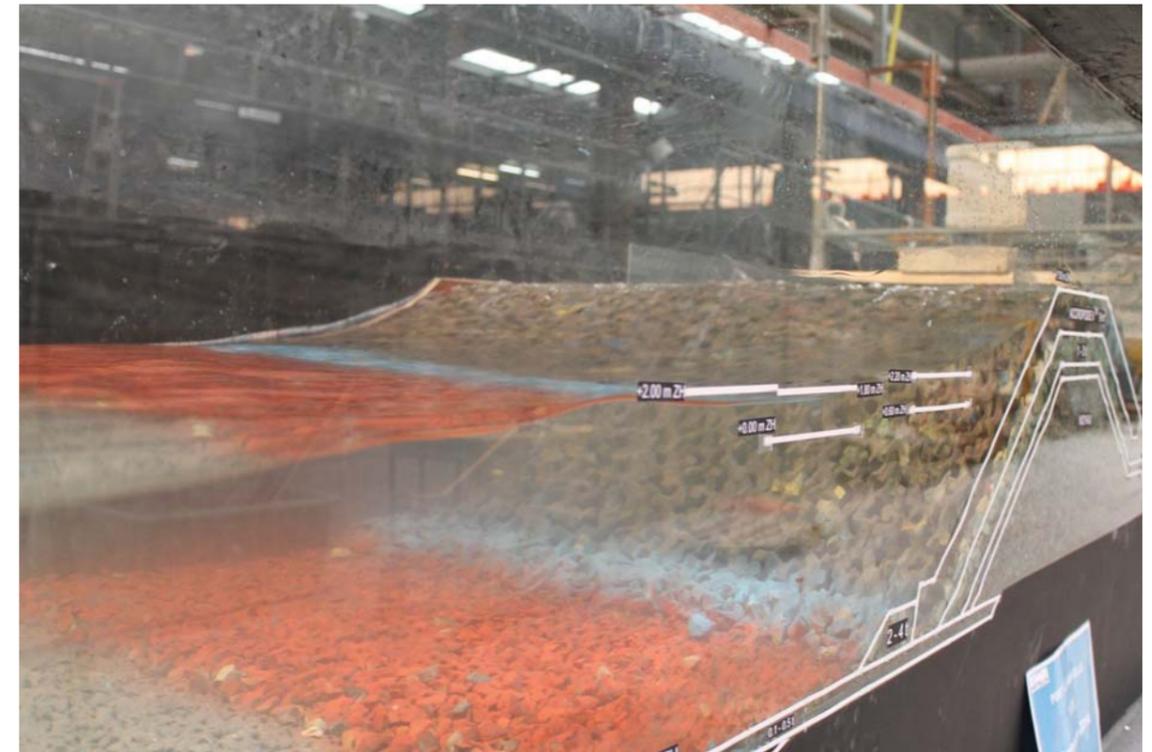
Photos prises pendant l'essai



Photos prises pendant l'essai



Photos prises pendant l'essai



Photos prises pendant l'essai



Photos prises pendant l'essai

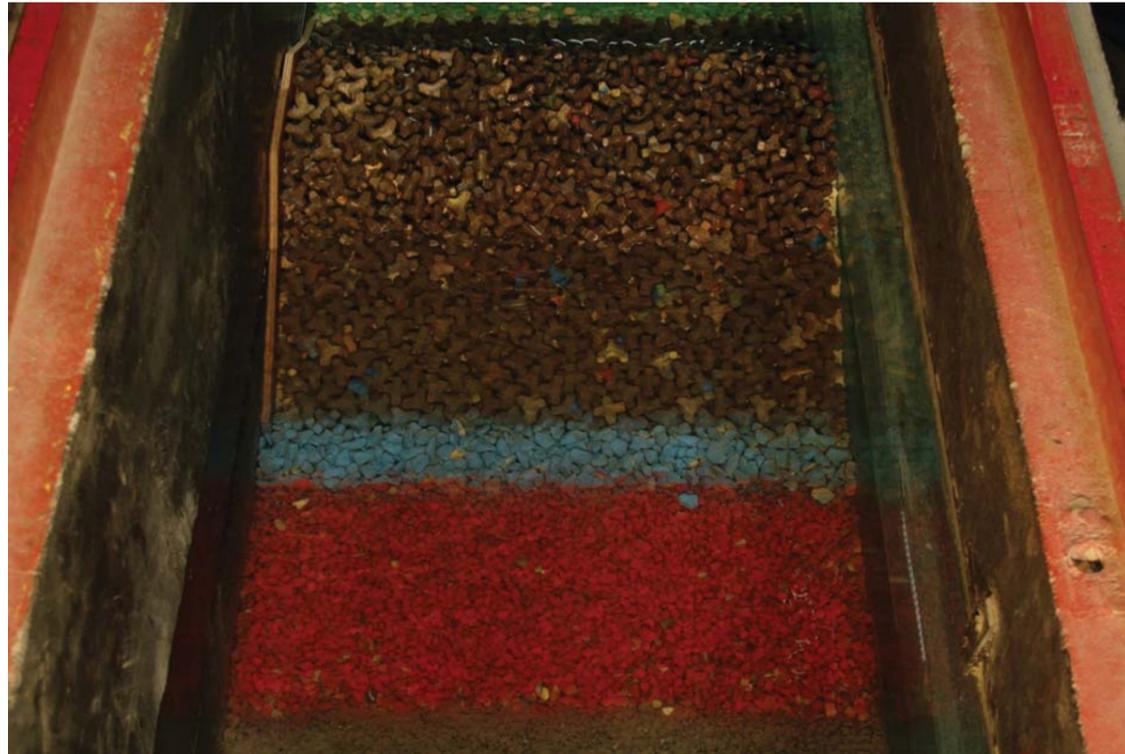


Test 9 : Houles « 120% »

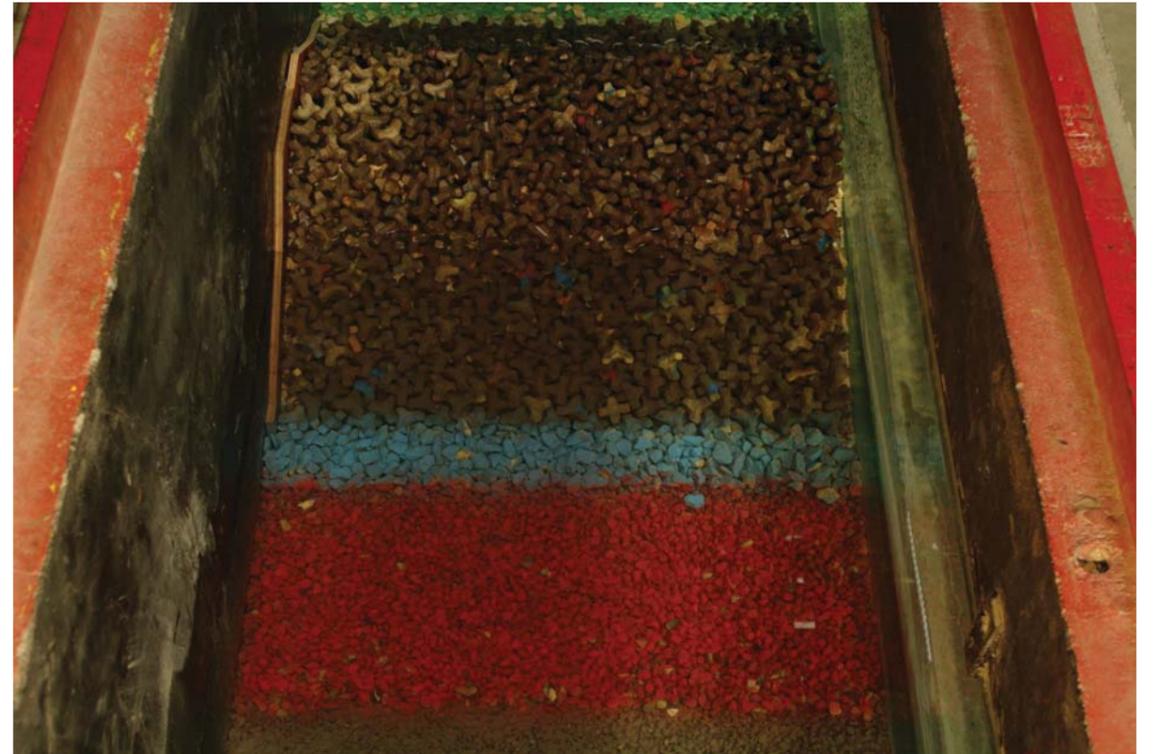
Section vue coté mer – avant essai



Section vue coté mer – après essai (après 3h)



Section vue coté mer – après essai (après 6h)



Section vue coté port – avant essai



Section vue coté port – après essai (3h)



Section vue coté port – après essai (6h)



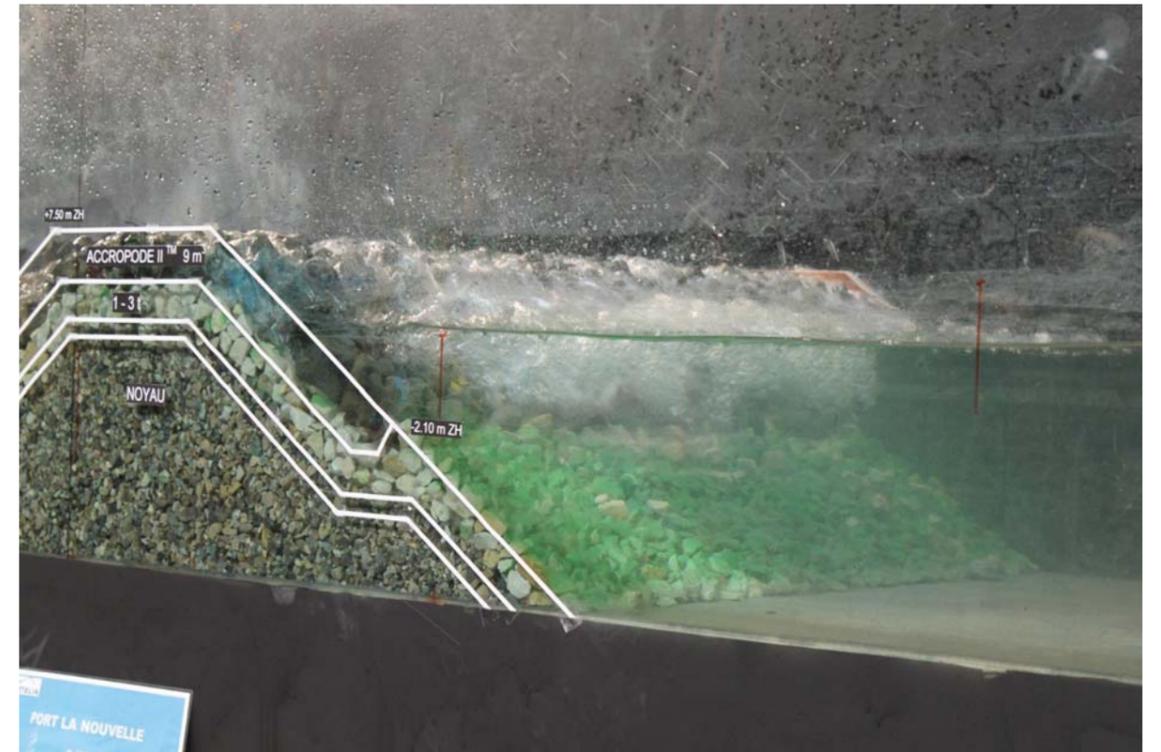
Photos prises pendant l'essai



Photos prises pendant l'essai



Photos prises pendant l'essai



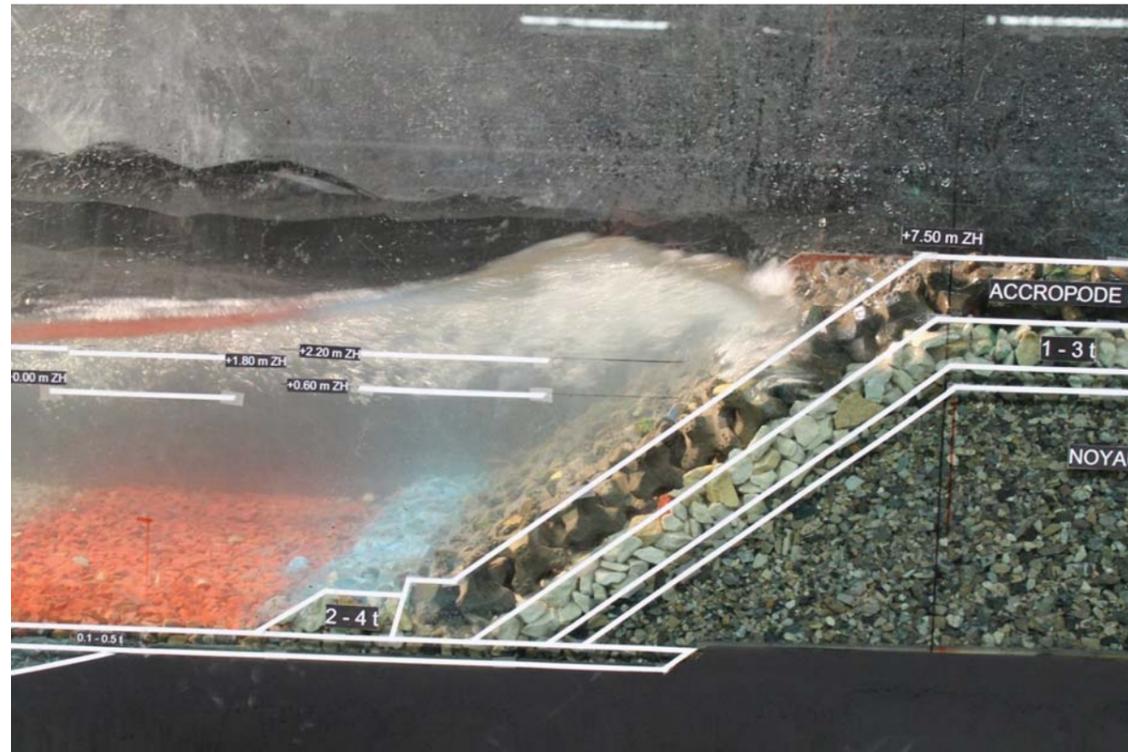
Photos prises pendant l'essai



Photos prises pendant l'essai



Photos prises pendant l'essai

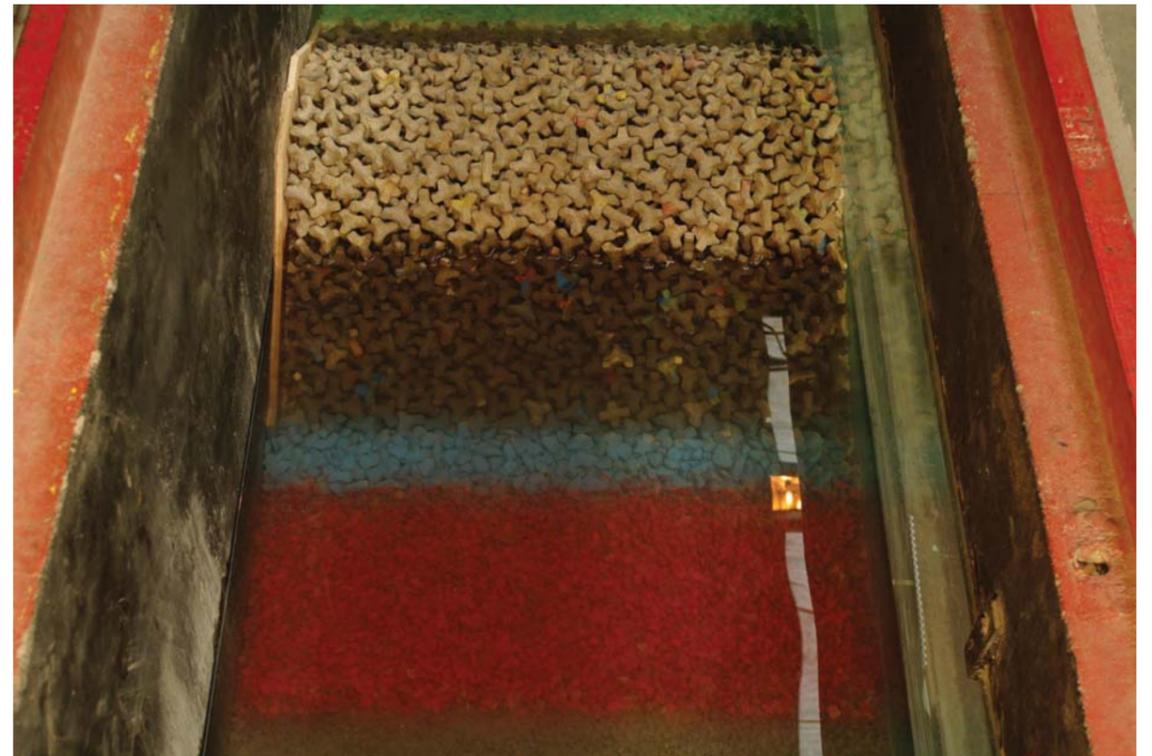


Photos prises pendant l'essai



**ANNEXE 4: EVOLUTION DE LA CARAPACE COTE MER AU COURS
DES ESSAIS – SECTION OPTIMISEE**

Section vue coté mer – avant essai – test 2



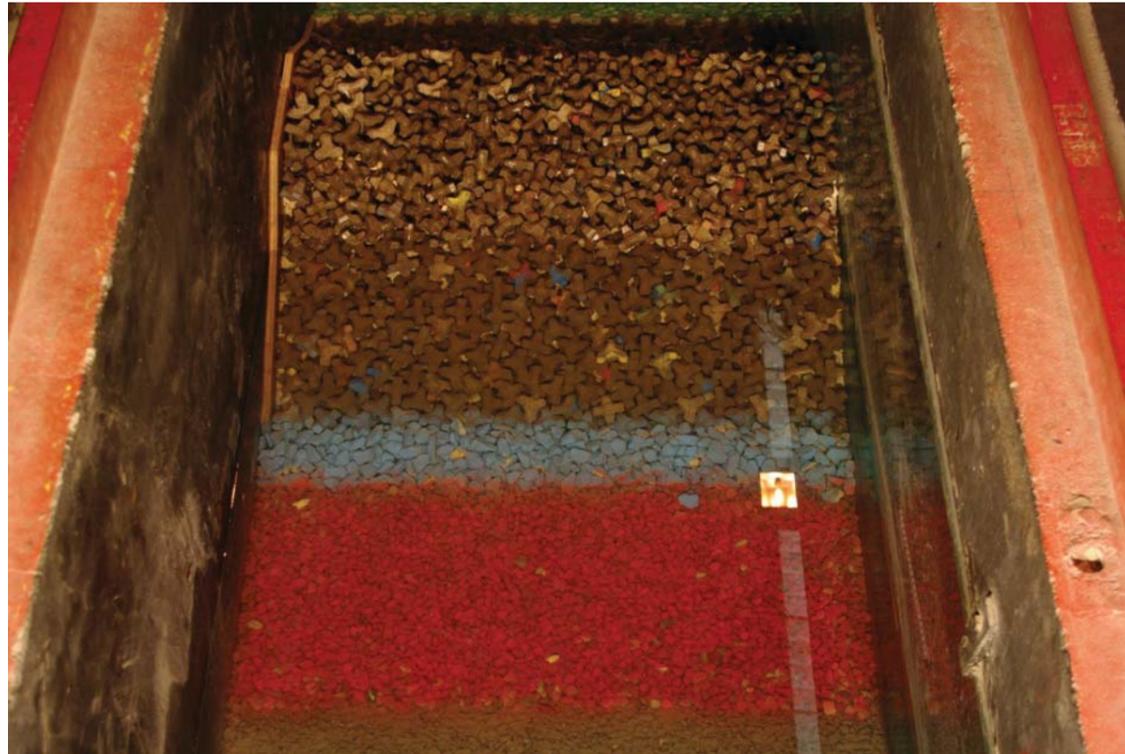
Section vue coté mer – après essai – test 2



Section vue coté mer – après essai – test 4



Section vue coté mer – après essai – test 6



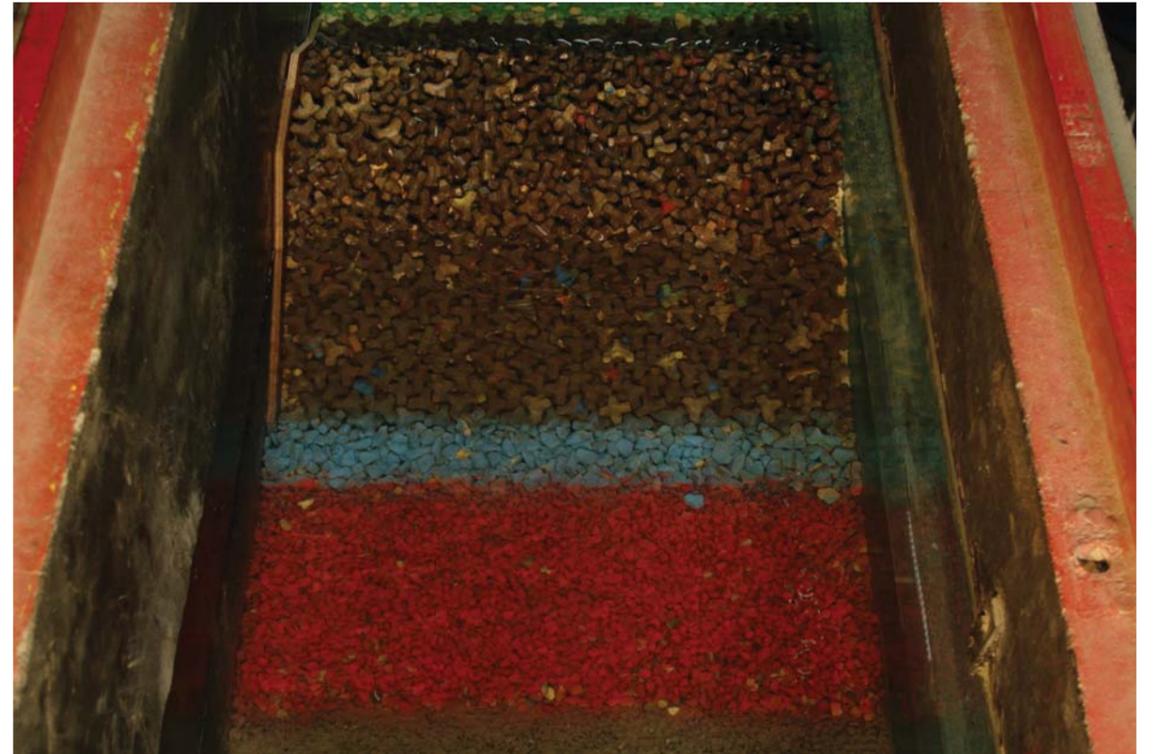
Section vue coté mer – après essai – test 7



Section vue coté mer – après essai – test 7-bis



Section vue coté mer – après essai (après 3h) – test 9

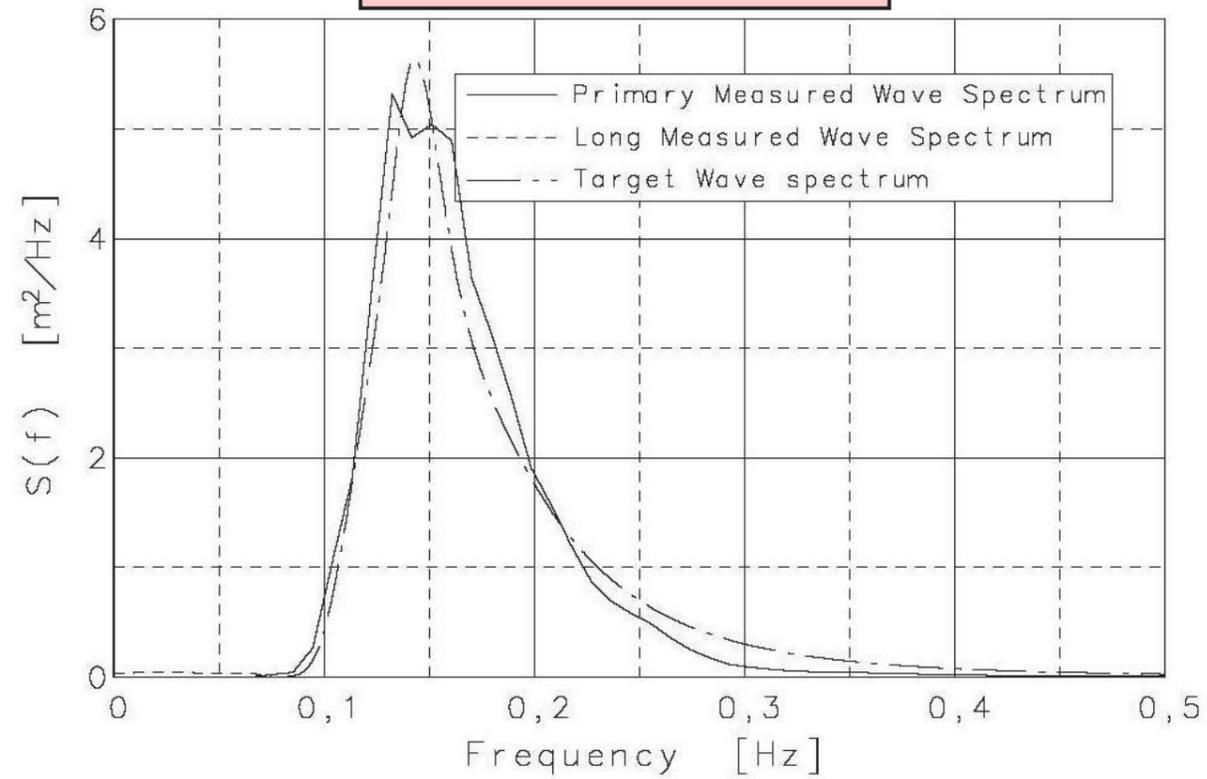


Section vue coté mer – après essai (après 6h) – test 9

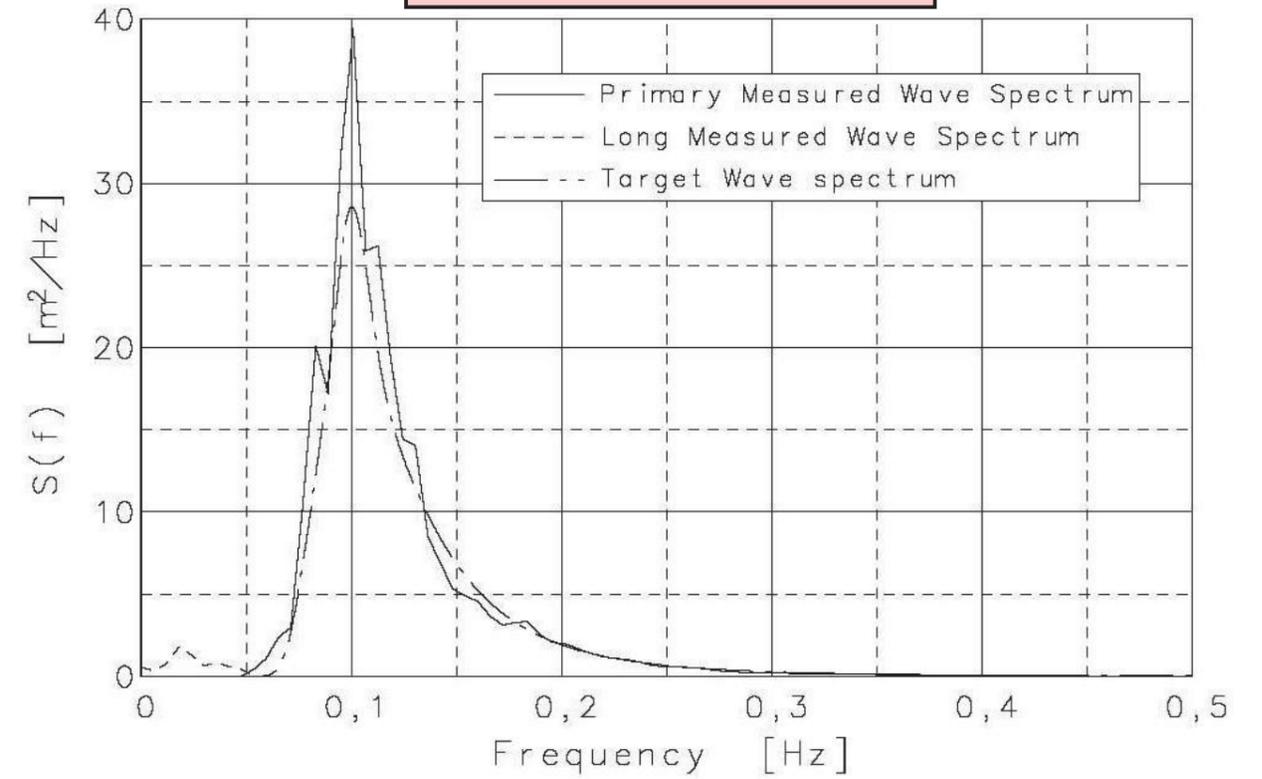


ANNEXE 5: SPECTRES DES HOULES GENEREES MESUREES A LA
SONDE S1 – TESTS RELATIFS A LA SECTION INITIALE

Test 2



Test 4



Test 5

