

REGION LANGUEDOC ROUSSILLON



PORT-LA NOUVELLE

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

MISSION MOD (MODELES PHYSIQUES)

MODELE PHYSIQUE EN CUVE A HOULE DE L'ENRACINEMENT DE LA DIGUE NORD – RAPPORT D'ESSAIS

RAPPORT N°8713239-MOD-R002 – VERSION 2



DATE : NOVEMBRE 2014 REF : 8713239-MOD-R002-V2

N°8 713239-MOD-R002, Mission de maitrise d'œuvre pour l'agrandissement du port de Port-La Nouvelle Modèle physique en cuve à Houle de l'enracinement de la digue nord – rapport d'essais					
Version	Description	Rédaction	Vérifié	Approuvé	Date
02	Pour commentaires	L. Guisier	O. Meurant	O. Meurant	28/11/2014
01	Pour commentaires	L. Guisier	O. Meurant	O. Meurant	16/10/2014

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION	3
1.1. CONTEXTE	3
1.2. OBJET DU PRESENT RAPPORT	4
2. SYNTHÈSE ET CONCLUSIONS	5
3. DESCRIPTION DU MODELE 3D	8
3.1. DESCRIPTION DE LA CUVE A HOULE	8
3.2. INSTRUMENTATION	8
3.2.1. MESURE DU NIVEAU D'EAU AU REPOS	8
3.2.2. MESURE DES VAGUES	8
3.2.3. MESURE DE FRANCHISSEMENTS	9
3.2.4. PRISE D'IMAGES ET DE VIDEOS	9
3.3. ECHELLE	9
3.4. CONSTRUCTION DU MODELE	10
3.4.1. DEFINITION DE LA ZONE A TESTER	10
3.4.2. LES FONDS MARINS	11
3.4.3. L'OUVRAGE	11
3.4.3.1. Modélisation des couches d'enrochements non soumises à l'action directe de la houle	11
3.4.3.2. Modélisation des éléments soumis à l'action de la houle	11
3.4.4. LE PIPE RACK	13
4. METHODOLOGIE DES ESSAIS	14
4.1. PROGRAMME D'ESSAIS	14
4.2. GENERATION DE LA HOULE CIBLE ET CALIBRATION	15
4.3. CRITERES DE STABILITE DE L'OUVRAGE	15
4.3.1. LA CARAPACE EN BLOCS ARTIFICIELS	15
4.3.2. LES ENROCHEMENTS DE LA BUTEE	16
4.3.3. LES ENROCHEMENTS DE LA CARAPACE	16
4.3.4. LES ENROCHEMENTS DE LA PROTECTION ANTI-AFFOUILLEMENT	16
4.4. LES FRANCHISSEMENTS	16
5. LES RESULTATS	18
5.1. LES CONDITIONS DE HOULE	18
5.2. STABILITE DES DIFFERENTS ELEMENTS	20
5.2.1. LA CARAPACE EN BLOCS ACCROPODES™ II	20
5.2.2. LA CARAPACE EN ENROCHEMENTS	21
5.2.3. LA BUTEE DE PIED	22

5.2.4. LE MUR DE COURONNEMENT	23
5.2.5. PROTECTION ANTI-AFFOUILLEMENT	23
5.3. LES FRANCHISSEMENTS	24
6. RESULTATS DES ESSAIS COMPLEMENTAIRES	26
6.1. OBJECTIFS ET METHODOLOGIE	26
6.2. LES RESULTATS	26
6.2.1. LES CONDITIONS ANNUELLES	26
6.2.2. LES CONDITIONS CENTENNALES AVEC UN NIVEAU AUGMENTE DE 0.50M	26
6.2.3. LES CONDITIONS CENTENNALES AVEC UN NIVEAU AUGMENTE DE 1M	27
6.3. CONCLUSION SUITE A CES ESSAIS COMPLEMENTAIRES	27
6.3.1. ABAISSEMENT ENVISAGEABLE DE LA CRETE	27
6.3.2. CONSEQUENCES SUR LE PRE-DIMENSIONNEMENT DE LA DIGUE	27
7. REFERENCES	29
FIGURES	30
ANNEXES	31

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).

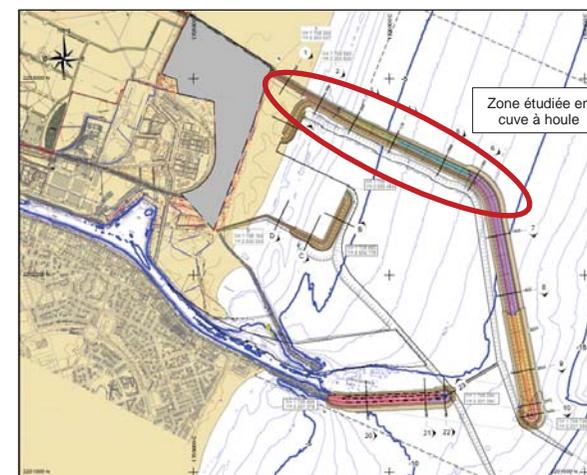
Le groupement ARTELIA, CREOCEAN et Cabinet GAXIEU, dont ARTELIA est le mandataire, est titulaire de ce marché de maîtrise d'œuvre pour l'agrandissement du port de Port-La Nouvelle (PLN 2015).

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 soumise à une houle frontale
- ✓ 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 (voir figure ci-dessous), qui sera soumise à des houles obliques (objet du présent rapport).



Le présent rapport présente les résultats des essais en cuve à houle sur l'enracinement de la digue nord, essais qui se sont déroulés au sein du laboratoire d'hydraulique d'Artelia en octobre 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. SYNTHESE ET CONCLUSIONS

Les essais en cuve à houle ont été réalisés sur le linéaire de digue nord qui s'étend depuis l'enracinement jusqu'à la sortie du coude.



Ce linéaire d'ouvrage a été soumis lors des essais à des houles en provenance de l'Est, donc qui présentaient une forte obliquité avec la digue (exception faite du coude).

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

Stabilité de l'ouvrage

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

La carapace en blocs artificiels de type Accropodes™ II (de 2m³, 5m³ et 9m³) n'a subi que quelques oscillations et aérations ponctuelles qui sont jugées acceptables. Aucune chute de blocs n'a été observée, ce même pour des conditions dépassant les conditions de houle centennale.

Pour le linéaire de digue présentant une carapace en enrochements qui s'étend du PM0 (enracinement) au PM 400, la carapace en enrochements de [3-6t] (du PM200 au PM 400) est celle ayant subi le plus de dommages. Néanmoins, le pourcentage d'enrochements déplacés reste en deçà du critère admissible (<5%) fixé.



Concernant la butée en enrochements de blocométrie [1t-3t] ou de [2t-4t] en fonction des zones, celle-ci n'a subi que des dommages limités (quelques blocs déplacés). Les plus gros dommages ont concerné une zone située dans le coude. Cependant, ces déplacements sont acceptables au regard du critère de stabilité hydraulique de la butée de pied.



De même, la partie du talus arrière en enrochements de blocométrie [1t - 3t] ou [2t - 4t] en fonction des zones n'a subi que des dommages limités (peu d'enrochements déplacés). La stabilité de cette partie de la carapace aux franchissements a été validée par les essais.

Les éléments du mur de couronnement qui s'étend depuis l'enracinement (PM0) jusqu'au PM740, n'ont pas subi de déplacement significatif lors des essais. Leur stabilité hydraulique est donc validée.

Franchissements

Pour ce qui concerne les franchissements, en condition de houles annuelles, ils sont très limités. Cette observation est valable pour les zones circulables de la digue (du PM0 au PM740), mais également pour les parties non circulables (du PM740 au PM1400).

En conditions centennales, les débits franchissant observés sont significatifs mais sont en-deçà 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.

Les zones ayant subi les franchissements les plus importants sont d'une part l'extrémité de la voie circulaire (PM740) et d'autre part le coude (PM1300). Les lames franchissant ces zones s'étendent en arrière de la crête de l'ouvrage mais n'atteignent pas la jetée sur pieux que ce soit au niveau des postes P1, P2 et P3, mais également au niveau d'un poste P11, potentiellement envisagé en phase 2 de développement du port, après le coude .



Exemples de franchissements observés pour les conditions de houles « 120% » de la centennale

Optimisation envisageable

A la demande du Maître d'ouvrage, des essais complémentaires ont été réalisés dans l'objectif d'évaluer les possibilités d'optimisation des sections testées en terme de hauteur de crête de l'ouvrage.

Il ressort des tests complémentaires réalisés, qu'un abaissement de 0.5m de la crête de l'ouvrage pourrait être envisageable, du PM 740 au PM1150 (section 5), sans que les franchissements induits ne soient pénalisants en termes de dommages sur le talus intérieur ou en termes d'opérabilité des postes vracs liquides P1-P2 et P3.

Toutefois cette optimisation de la crête de l'ouvrage reste modeste et présente d'autres inconvénients, en particulier de risques accrus de franchissements pendant la phase chantier où la digue sera, en crête, en configuration temporaire avec une voie de circulation pour les engins de chantier (voir paragraphe 6).

3. DESCRIPTION DU MODELE 3D

3.1. DESCRIPTION DE LA CUVE A HOULE

Les essais ont été réalisés dans la cuve à houle appelé « bassin centre » dont est équipé le laboratoire d'hydraulique d'ARTELIA, basé à Pont-de Claix (agglomération grenobloise).

Les dimensions du bassin sont :

- Longueur : 30 m ;
- Largeur : 20 m ;

Le bassin est équipé de deux batteurs à houle déplaçables à débattement plan de 6 mètres de large chacun, actionné par vérins hydrauliques, et permettant de générer des houles régulières ou irrégulières selon un spectre prédéfini.

Le bassin 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.

Des plages amortisseuses sont placées sur les bords du bassin, dans le but de minimiser la réflexion des vagues générées aux frontières du modèle.

Le bassin ainsi que l'implantation du modèle sont décrits sur la [Figure 1.2](#).

3.2. INSTRUMENTATION

3.2.1. Mesure du niveau d'eau au repos

Les niveaux d'eau dans le bassin 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 bassin est mesurée à l'aide de sondes multi-directionnelles. Ce type de sonde consiste à coupler un courantomètre électromagnétique à une sonde capacitive, ce qui permet de séparer les houles incidentes et les houles réfléchies à partir de la houle totale.

Deux sondes multi-directionnelles sont implantées dans le bassin, comme suit :

Une sonde appelée S1 : Cette sonde est placée à la profondeur (environ -8mZH nature) où la houle « cible » de consigne doit être vérifiée. Cette sonde est donc utilisée comme sonde de « référence » pour caler la houle « cible » de consigne.

Une seconde sonde multi-directionnelle (S2) est ajoutée par une profondeur de -10mZH au large du coude de manière à contrôler les houles atteignant le coude. Néanmoins, la houle de consigne (pour la calibration) reste celle mesurée par -8mZH de profondeur par la première sonde multi-directionnelle.

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

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 une sonde capacitive (ayant enregistré l'évolution dans le temps du niveau du bac récupérateur), et le débit moyen de franchissements est calculé en rapportant ce volume à la durée de la mesure.

En outre, afin d'estimer les volumes franchissant maximums, l'enregistrement de la série temporelle du niveau d'eau dans le bac (mesurée par la sonde) durant l'essai peut être analysé. Cette analyse peut permettre d'évaluer le critère spécifique relatif au franchissement maximum (voir section 4.4).

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.

Pour les essais spécifiquement dédiés à la mesure des franchissements, le dispositif de mesure (goulotte, bac, etc) a été mis en place dans les zones ayant été identifiées lors des premiers essais de stabilité comme les plus exposées aux franchissements.

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.

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 de la cuve 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 différents blocs artificiels de carapace
- Des houles et niveaux à modéliser

Compte tenu de ces contraintes, l'échelle de réduction retenue pour le modèle est 1/59ème.

3.4. CONSTRUCTION DU MODELE

3.4.1. Définition de la zone à tester

Sur la [Figure 1.1](#), le plan de masse des digues Nord et Sud est rappelé.

La zone étudiée et modélisée est comprise entre l'enracinement et le coude de la digue nord. Cette zone est détaillée sur la [Figure 1.2](#). Un linéaire de digue de 1400m est ainsi étudié qui s'étend du PM 0 (enracinement) au PM 1400 (sortie du coude).

Les sections de la digue sur ce linéaire sont présentées sur les [Figures 1.4 à 1.8](#), qui sont composés d'extraits des plans suivants :

- > PLAN-AVP-BKW-002-A-rev3
- > PLAN-AVP-BKW-002-B-rev3
- > PLAN-AVP-BKW-002-C-rev3
- > PLAN-AVP-BKW-002-D-rev3

L'implantation présentée sur la [Figure 1.2](#) correspond à une direction de houles en provenance du secteur N90.

Cette direction a été choisie pour cette étude car :

- Elle correspond à la direction limite où les houles fortes (de secteur Est) peuvent être rencontrées (voir rapport ref [1]).
- Elle permet de représenter des houles obliques avec un angle d'attaque de l'ordre de 25° (l'axe du linéaire de digue Nord étudié ayant une direction N115). Des houles en provenance de secteurs plus orientés vers le sud (N100 ou N110) présenteraient des angles d'attaque de la digue plus faibles et donc représenteraient des conditions moins pénalisantes concernant les franchissements et la stabilité de l'ouvrage.

Le pré-dimensionnement de la digue nord 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 de chapes en béton qui suivent les isobathes du site.

Du côté du batteur, le raccordement entre les fonds marins et le fond du bassin (calé à -25mZH) 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 bassin sont présentées en Figures 1.2

La modélisation des différents constituants (enrochements, blocs artificiels, éléments du mur de couronnement) 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.

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

Les blocs artificiels de carapace, les éléments de mur de couronnement, 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	2 400 kg/m ³	2 303 kg/m ³ pour les 2m ³ 2 341 kg/m ³ pour les 5m ³ 2 361 kg/m ³ pour les 9m ³
Béton pour mur de couronnement	2 400 kg/m ³	2 340 kg/m ³
Enrochements	2 650 kg/m ³	2 650 kg/m ³
Eau de mer	1 025 kg/m ³	1 000 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 2m³, 5m³ et 9m³ échelle nature sont modélisés par des maquettes en béton ayant les caractéristiques suivantes :

Volume du bloc nature	Modèle			
	Volume	Hauteur caractéristique	Poids (saturé)	Masse volumique
m ³	cm ³	cm	g	g/cm ³
2	8,75	3.03	20,15	2.363
5	24.1	4.3	56.41	2.341
9	42.37	5.18	100.1	2.361

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 :

Volume du bloc nature	D _H	D _U	Φ
m ³	cm	cm	
2	3.66	1.83	0.635
5	5.13	2.56	0.635
9	6.19	3.09	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 ;

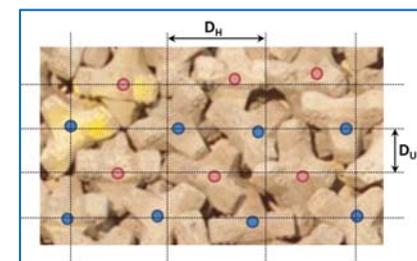


Illustration de la maille théorique de pose sur la photo d'une carapace

- F: Densité de pose, paramètre adimensionnel ;
- $\Phi = \frac{N}{V_m}$
- $N = \frac{1}{D_H \times D_U}$
- N (u/m²) : Nombre de blocs par unité de surface ;
- V_m (m³) : Volume de la maquette.

Note :

Pour la section 5 qui s'étend du PM 740 au PM 1150, la carapace du talus arrière est en blocs Accropodes™ II de 2m³ (voir section 5 en [Figure 1.7](#)). En raison du nombre important de maquettes Accropodes™ II de 2m³ à poser (la carapace coté mer du PM 400 au PM740 est également composée d'Accropodes™ II de 2m³, voir [Figure 1.7 également](#)), le nombre de maquettes disponible au laboratoire pouvant convenir à cette échelle pour représenter les Accropodes™ II de 2m³ s'est avéré insuffisant. Le choix a donc été fait de représenter le talus arrière du PM 740 au PM1150 par des Accropodes™ I de 2m³ nature (maquette de 9.10cm³). Cette approche est conservatrice car le bloc accropode™ de première génération est légèrement moins stable que celui de seconde génération à volume équivalent. En outre, ce remplacement a été réalisé uniquement sur le talus arrière, là où la carapace n'est pas soumise à la houle sur le modèle et donc là où les dommages ne peuvent être occasionnés que par les franchissements potentiels.

3.4.3.2.2. Les enrochements

Les enrochements de butée de pied, de carapace 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 exposés à la houle utilisés dans le modèle est présentée sur les [Figures 4.1 à 4.4](#).

3.4.3.2.3. Le mur de couronnement

Les éléments du mur de couronnement sont modélisés sur la base de la méthodologie décrite au §3.4.3.2 ci-dessus.

Leur longueur est de 10cm environ à l'échelle modèle (environ 6m à l'échelle nature). Leur modélisation est conservatrice car il n'y a pas de clés de positionnement entre chaque élément du mur, ce qui favorise le glissement d'un élément par rapport à un autre élément adjacent.

3.4.4. Le pipe rack

L'ensemble des conduites porté par la jetée sur pieux située derrière la digue du PM 0 au PM 1100 a été représenté schématiquement sur le modèle (l'élévation ainsi que la distance des conduites au mur de garde ont été bien représentées). L'objectif de cette représentation est de pouvoir visualiser l'étendue d'éventuels franchissements pouvant potentiellement atteindre les conduites et donc étant susceptibles de les endommager.

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 24 et 48 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 P3			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	3.5m	8s	1.5	1.8	1 an	franchissements en conditions annuelles	3h
4	3.5m	10s	1.5	1.8	1 an	franchissements en conditions annuelles - sensibilité sur la période	3h
5	4.3	11s	1.5	2	10ans	houle extrême intermédiaire	3h
6	5.2	13s	1.5	2.2	100 ans	stabilité en conditions extrêmes 100 ans -niveau haut - observations visuelles	3h
7	5.2	15s	1.5	2.2	100 ans	stabilité en conditions extrêmes 100 ans - niveau haut - sensibilité sur la période	3h
7-bis	5.2	15s	1.5	2.2	100 ans	stabilité en conditions extrêmes 100 ans - niveau haut - sensibilité sur la période - mesure de franchissements	3h
8	5.2	13s	1.5	0	100 ans	stabilité en conditions extrêmes 100 ans -niveau bas (test sur la butée)	2 x 3h
9	6.2m (si réalisable)	15s	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 -8mZH de profondeur, en un point référencé P3 (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 si nécessaire.

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 -8mZH (correspondant au point P3 du modèle de propagation numérique) : mesure du spectre de houle total, à l'aide de la sonde S1 placée sur l'isobathe -8mZH. 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 $Hm0_{incidente} = Hm0_{totale} / (1+Cr^2)^{1/2}$

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,

4.3. CRITERES DE STABILITE DE L'OUVRAGE

4.3.1. La carapace en blocs artificiels

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

- pas d'extraction (chute),
- tassements limités,
- oscillations limitées.

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

- 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.

4.3.2. 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/m³) : 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.

4.3.3. Les enrochements de la carapace

Le critère pour les enrochements de carapace (y compris 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.

4.3.4. 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.

4.4. LES FRANCHISSEMENTS

En référence à la note d'hypothèses relative au dimensionnement des digues de la mission AVP (ref [2]), pour la zone étudiée qui comporte un linéaire doté d'une voie circulaire (du PM0 au PM 740) mais également un linéaire sans voie circulaire (du PM 740 au PM 1400), les critères suivants ont été évalués lors des essais :

Tronçons de digue concernés	Période de retour	Débit moyen (l/s/mètre de linéaire)	Débit maximal (l/mètre de linéaire)	Description des conséquences
Digue avec voie de circulation	Annuelle	0.1	20 à 50	limite acceptable pour des piétons conscients des risques et tolérant d'être mouillés
	centennale	50	---	Pas de dégâts sur crête et arrière bien protégés
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 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

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.

Le tableau permet de s'assurer que les houles définies dans le programme (par -8mZH) ont toutes pu être générées sauf pour les conditions centennales de houle avec un niveau bas (essai n°8).

En effet, malgré plusieurs essais mettant en œuvre différents paramètres de génération au batteur, la houle cible (hauteur significative $H_m0=5.2m$) n'a jamais pu être atteinte par 8m d'eau (niveau de 0mZH).

Pour ces différents essais, il a été observé un nombre important de vagues qui déferlaient bien en amont de la sonde S1 placée par -8mZH, ce qui indique une limitation des houles par les fonds.

En outre, cet essai n°8 a pour objectif d'étudier la stabilité de la butée de l'ouvrage mais il ne correspond pas à une réalité physique. En effet, sur le site d'étude, les conditions de houles très fortes sont notoirement associées à des sur-élévations importantes du plan d'eau générées par les vents violents qui poussent les masses d'eau vers la côte (voir rapport relatif aux conditions océano-météorologiques). Dans la réalité une hauteur significative H_m0 de 5.2m ne peut donc pas être rencontrée sur le site avec si peu d'eau (8m). Cette hauteur significative de $H_m0=5.2m$ définie par 8m d'eau n'est d'ailleurs pas issue des modélisations SWAN (propagation numérique de la houle), contrairement aux autres cas testés.

n° d'essai	date	condition	Consigne en P3 (-8m ZH) selon le rapport océno-météo (ref 11) - page 7)				Houles mesurées à la sonde S1 par -8mZn				Houles mesurées à la sonde S2 par -10mZH			Observations particulières concernant la houle
			Niveau (mZH)	Hm0 (m)	Tp (s)	gamma	Hm0tot (m)	Cr (%)	Hm0inc(m)	Tp(s)	Hm0tot (m)	Hm0inc (m)	Tp(s)	
1	01/10/14	tassement	0.60	1.2	5	1.5	1.24	31.8	1.18	4.9	1.32	1.23	4.7	
2	01/10/14	tassement	0.6	2.6	7	1.5	2.56	25.9	2.48	7.3	2.75	2.62	7	
3	01/10/14	annuelle	1.8	3.5	8	1.5	3.47	24.7	3.37	8.5	4.19	3.99	8.2	
4	02/10/14	annuelle	1.8	3.5	10	1.5	3.57	23.6	3.47	10.2	4.19	3.97	9.8	
5	02/10/14	décennale	2	4.3	11	1.5	4.69	23.6	4.56	10.9	5.35	5.05	11.5	
6	02/10/14	centennale	2.2	5.2	13	1.5	5.56	22.5	5.42	13.4	5.61	5.27	12.7	
7	03/10/14	Centennale	2.2	5.2	15	1.5	5.51	24.5	5.35	13.9	5.63	5.28	14.6	
7-bis	08/10/14	Centennale	2.2	5.2	15	1.5	5.50	24.3	5.34	13.9	5.63	5.29	14.6	
8-a	03/10/14	Centennale-niveau bas	0	5.2	13	1.5	4.82	24.8	4.68	14.3	5.10	4.74	12.6	Nombreux déferlements observés en amont de S1
8-b (***)	03/10/14	Centennale-niveau bas	0	5.2	13	1.5	4.66	26.10	4.51	13.5	5.29	4.93	12.6	Nombreux déferlements observés en amont de S1
9-a	08/10/14	supérieure à la centennale	2.2	6.2	15	1.5	6.34	26	6.14	14	6.17	5.80	14.5	
9-b (**)	08/10/14	supérieure à la centennale	2.2	6.2	15	1.5	6.39	26	6.18	14.1	6.17	5.80	14.5	

- Notes:
- (*) Dans le rapport relatif aux conditions océano-météorologiques, les Hm0 sont des hauteurs de houle incidente (issues des modélisations SWAN)
 - (**) Pour l'essai 8-b, les houles ont été légèrement augmentées au regard des résultats des 3 premières heures testées (essai 9-a).
 - (***) pour l'essai 8-b, par rapport à l'essai 8-a, les paramètres de génération du batteur ont été légèrement modifiés afin de tenter d'augmenter (en vain) la hauteur des houles
 - 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 en blocs accropodes™ II

Le tableau suivant rassemble pour les différentes sections de la digue qui sont étudiées les observations concernant la carapace en blocs Accropodes™ II réalisés lors des différents essais :

n° d'essai	date	condition	Section 3 et 4 (PM400 à 740) Blocs de 2m ³ coté mer		Section 5 (PM 740 à PM 1150) Blocs de 5m ³ coté mer		Section 5 (PM 740 à PM 1150) Blocs de 2m ³ coté talus intérieur		Section 6 (PM 1150 à PM 1400) Blocs de 9m ³	
			oscillations	extractions	oscillations	extractions	oscillations	extractions	oscillations	extractions
1	01/10/14	tassement	--	0	--	0	--	0	--	0
2	01/10/14	tassement	--	0	--	0	--	0	--	0
3	01/10/14	annuelle	--	0	--	0	--	0	--	0
4	02/10/14	annuelle	--	0	--	0	--	0	--	0
5	02/10/14	décennale	--	0	--	0	--	0	--	0
6	02/10/14	centennale		0		0	-	0	2 oscillations (une sur la berge au PM 1320 et une autre en extrémité de crête coté mer au PM 1350)	0
7	03/10/14	Centennale		0		0	-	0	2 oscillations en crête	0
7-bis	08/10/14	Centennale		0		0		0		0
8-a	03/10/14	Centennale-niveau bas		0		0		0	--	0
8-b	03/10/14	Centennale-niveau bas		0		0		0	--	0
9-a	08/10/14	supérieure à la centennale		0		0		0	1 oscillation en crête dans le coude (PM1230)	0
9-b	08/10/14	supérieure à la centennale		0		0		0	1 oscillation en crête dans le coude (PM1230)	0

Lors des essais, des tassements de la carapace, des aérations et des oscillations de blocs se sont produits mais ces phénomènes sont restés 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 2, 5 et 9 m³ est obtenue pour le linéaire de digue testé. Les tassements et les oscillations en conditions de projet sont limités. La présence de ces oscillations montre 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.

L'annexe I présente des photographies de la carapace coté mer et coté port pour les différents essais réalisés.

5.2.2. La carapace en enrochements

Le tableau suivant rassemble pour les différentes sections de la digue qui sont étudiées les observations concernant la carapace en enrochements réalisées lors des différents essais :

n° d'essai	date	condition	Section 1 et 1-bis (PM 0 à PM2 00) Enrochements de [2-4] coté mer		Section 2 (PM 200 à PM 400) Enrochements de [3-6] coté mer		Section 2 (PM 200 à PM 400) Enrochements de [1-3] coté talus intérieur		Section 3 (PM 400 à 600) Enrochements de [2-4] coté talus intérieur		Section 4 (PM 600 à 740) Enrochements de [2-4] coté talus intérieur		Section 5 (PM 740 à PM 1150) Enrochements de [1-3] coté talus intérieur		Section 6 (PM 1150 à PM 1400) Enrochements de [1-3] coté talus intérieur	
			% d'enrochement déplacés sur le total d'enrochements	Critère	% d'enrochement déplacés sur le total d'enrochements	Critère	% d'enrochement déplacés sur le total d'enrochements	Critère	% d'enrochement déplacés sur le total d'enrochements	Critère	% d'enrochement déplacés sur le total d'enrochements	Critère	% d'enrochement déplacés sur le total d'enrochements	Critère	% d'enrochement déplacés sur le total d'enrochements	Critère
1	01/10/14	tassement	0		0		0		0		0		0		0	
2	01/10/14	tassement	0		0		0		0		0		0		0	
3	01/10/14	annuelle	0.08		0.06		0		0		0		0		0	
4	02/10/14	annuelle	0.15		0.35		0		0		0		0		0	
5	02/10/14	décennale	0.5		0.9		0		0		0		0		0	
6	02/10/14	centennale	0.8	<5%	1.2	<5%	0	<5%	0	<5%	0	<5%	0	<5%	0	<5%
7	03/10/14	Centennale	1.2	<5%	1.2	<5%	0.1	<5%	0	<5%	0.1	<5%	0	<5%	0	<5%
7-bis	08/10/14	Centennale	1.2	<5%	1.25	<5%	0.1	<5%	0	<5%	0.1	<5%	0	<5%	0	<5%
8	03/10/14	Centennale-niveau bas	1.2	<5%	1.2	<5%	0.1	<5%	0	<5%	0.1	<5%	0	<5%	0	<5%
9	08/10/14	supérieure à la centennale	1.2		1.3		0.1		0		0.3		0		0	

- Note :
- Le pourcentage d'enrochements déplacés est évalué en référence au cumul des déplacements observés au cours des essais.

Il ressort de ces résultats que pour les différentes sections, la carapace en enrochements est stable pour les conditions de houles de projet. Même pour des conditions de houle extrême « supérieure à la centennale », la carapace est restée en bon état et la ruine n'a pas été atteinte. Des dommages sont observés (essentiellement pour la carapace du côté mer en [3-6] entre les PM 200 et PM400) mais restent admissibles au regard du critère de stabilité hydraulique.

Les dommages sur le talus arrière ont principalement été observés à proximité du PM 720, vers l'extrémité du linéaire de digue muni de mur de couronnement. Cette zone est d'ailleurs une des deux zones où les plus forts franchissements ont été observés (voir paragraphe 5.3).

5.2.3. La butée de pied

La butée du linéaire de digue étudiée est composée d'enrochements de [1-3] ou d'enrochement de [2-4]. Le nombre de déplacements observés lors de chaque essai est donné dans le tableau suivant, accompagné du Nod correspondant :

n° d'essai	date	condition	Section 1 et 1-bis (PM 0 à PM 200) Butée en [1-3]			Section 2 (PM 200 à PM 400) Butée en [2-4]			Section 3 (PM 400 à 600) Butée en [2-4]			Section 4 (PM 600 à 740) Butée en [2-4]			Section 5 (PM 740 à PM 1150) Butée en [2-4]			Section 6 (PM 1150 à PM 1400) Butée en [2-4]		
			Nombre d'enrochements déplacés (cumulés)	Nod	Critère	Nombre d'enrochements déplacés (cumulés)	Nod	Critère	Nombre d'enrochements déplacés (cumulés)	Nod	Critère	Nombre d'enrochements déplacés (cumulés)	Nod	Critère	Nombre d'enrochements déplacés (cumulés)	Nod	Critère	Nombre d'enrochements déplacés (cumulés)	Nod	Critère
1	01/10/14	tassement	0	0	Nod<1	0		Nod<1	0	0	Nod<1	0	0	Nod<1	0	0	Nod<1	0	0	Nod<1
2	01/10/14	tassement	0	0	Nod<1	0		Nod<1	2	0.01	Nod<1	0	0	Nod<1	0	0	Nod<1	0	0	Nod<1
3	01/10/14	annuelle	1	0.01	Nod<1	3	0.02	Nod<1	2	0.01	Nod<1	0	0	Nod<1	0	0	Nod<1	2	0.04	Nod<1
4	02/10/14	annuelle	2	0.02	Nod<1	5	0.03	Nod<1	2	0.01	Nod<1	1	0.01	Nod<1	0	0	Nod<1	7	0.14	Nod<1
5	02/10/14	décennale	5	0.05	Nod<1	8	0.04	Nod<1	2	0.01	Nod<1	1	0.01	Nod<1	3	0.01	Nod<1	16	0.33	Nod<1
6	02/10/14	centennale	8	0.07	Nod<1	9	0.05	Nod<1	6	0.03	Nod<1	1	0.01	Nod<1	3	0.01	Nod<1	22	0.45	Nod<1
7	03/10/14	Centennale	10	0.09	Nod<1	11	0.06	Nod<1	6	0.03	Nod<1	2	0.1	Nod<1	4	0.01	Nod<1	22	0.45	Nod<1
7-bis	08/10/14	Centennale	19	0.19	Nod<1	12	0.06	Nod<1	6	0.03	Nod<1	5	0.04	Nod<1	5	0.01	Nod<1	27	0.55	Nod<1
8	03/10/14	Centennale-niveau bas	10	0.09	Nod<1	12	0.06	Nod<1	6	0.03	Nod<1	4	0.03	Nod<1	4	0.01	Nod<1	27	0.55	Nod<1
9	08/10/14	supérieure à la centennale	20	0.18	Nod<1	19	0.10	Nod<1	9	0.05	Nod<1	5	0.04	Nod<1	8	0.02	Nod<1	32	0.66	Nod<1

- Notes :
- Le pourcentage d'enrochements déplacés est évalué en référence au cumul des déplacements observés au cours des essais.
 - Pour la section 6, contrairement aux autres sections pour lesquelles les dommages sont plutôt uniformément répartis le long du linéaire relatif à chaque section, le Nod a été évalué sur un linéaire limité de 50m, dans la zone où les dommages sont concentrés autour du PM 1300.

La butée en enrochements a subi quelques dommages qui restent acceptables au regard du critère de stabilité. Les enrochements positionnés au niveau de la butée pour le linéaire de digue testé sont donc considérés stables.

5.2.4. Le mur de couronnement

Les éléments du mur de couronnement qui s'étend depuis l'enracinement (PM0) jusqu'au PM740, n'ont pas subi de déplacement significatif lors des essais. Leur stabilité hydraulique est donc validée.

5.2.5. 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.

5.3. 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	01/10/14	tassement	Pas de franchissements	Non mesuré	---
2	01/10/14	tassement	Pas de franchissements	Non mesuré	---
3	01/10/14	annuelle	Pas de franchissements	0 (volume trop faible pour être mesuré)	<1L/ml/s
4	02/10/14	annuelle	franchissements minimes par faibles embruns (au coude)	0 (volume trop faible pour être mesuré)	<0.1 (voie circulaire) ou <1L/ml/s (pas de voie circulaire)
5	02/10/14	décennale	Quelques franchissements par embruns	Non mesuré	---
6	02/10/14	centennale	franchissements-quelques lames blanches	Non mesuré	---
7	03/10/14	Centennale (grande période)	Nombreux franchissements par lames blanches	Non mesuré	---
7-bis	08/10/14	Centennale (grande période)	Nombreux (70) franchissements par lames blanches	PM 740 (extrémité mur de couronnement): 1.5L/ml/s	<50L/ml/s
			11 franchissements par lames blanches	PM 1300 (coude) : 4L/ml/s	<100L/ml/s
8	03/10/14	Centennale -niveau bas	Pas de franchissements	Non mesuré	
9	08/10/14	supérieure à la centennale	Nombreux franchissements par lames blanches au coude et à l'extrémité du mur de couronnement	Non mesuré	

Les premiers essais en houle centennales ont montré que deux zones étaient davantage soumises aux franchissements : le coude (vers le PM 1300) et l'extrémité du linéaire de digue muni de murs

de couronnement (vers le PM 740). Les dispositifs de mesure (bac récupérateur, goulotte) ont donc été placés en ces 2 points pour l'essai dédié à la mesure de franchissements (essai 7-bis).

Pour la mesure des volumes franchis en conditions centennales, ce sont les conditions d'essai privilégiant les franchissements (niveau haut et période longue) qui ont été sélectionnées (essai 7-bis).

Le critère relatif au débit maximal instantané uniquement pertinent pour les conditions annuelles et pour les sections dotées d'une voie circulaire n'a pu être évalué car les franchissements en conditions annuelles étaient en deçà des volumes mesurables (franchissements faibles).

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

Les franchissements observés correspondent à des embruns ou à des franchissements de type « lame blanche ». 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 ».

Sur le mur de couronnement, les franchissements ont été générés par des vagues courant le long de la digue et pour lesquelles l'emprise des volumes d'eau franchissant ne dépassait guère la largeur de la voie circulaire (7m). Les canalisations portées par la jetée sur pieux en arrière de la digue n'ont donc pas été atteintes par les volumes franchissant.

Dans la zone du coude, les franchissements étaient de plus grande portée, mais ne dépassaient l'extrémité intérieure de la crête que de 25 à 30m environ. Les franchissements dans cette zone ne sont donc pas de nature à atteindre les canalisations qui pourraient être potentiellement portées par la jetée sur pieux si elle était prolongée jusqu'à un poste implanté après le coude (le poste de vrac liquide P11 susceptible d'être construit en phase 2 du projet de développement).

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

6. RESULTATS DES ESSAIS COMPLEMENTAIRES

6.1. OBJECTIFS ET METHODOLOGIE

A la demande du Maître d'ouvrage, des essais complémentaires ont été réalisés dans l'objectif d'évaluer les possibilités d'optimisation des sections testées en terme de hauteur de crête. Pour évaluer l'impact de l'abaissement de la crête, sans modifier les ouvrages, il a ainsi été proposé de surélever artificiellement les niveaux d'eau de projet.

ARTELIA a donc mené des essais complémentaires avec des niveaux d'eau surélevés (de 0.5m et de 1m, représentatifs de l'abaissement de la crête de l'ouvrage de 0.5m et de 1m), tout en précisant que les résultats obtenus ne donneraient qu'une indication (en effet, les conditions hydrauliques ne sont pas strictement identiques entre un ouvrage rabaisé et l'ouvrage étudié dans la cuve à houle où l'on a artificiellement augmenté les niveaux d'eau).

Les essais supplémentaires qui ont été réalisés sont les suivants :

n° d'essai	condition	Hm0 (m) et Tp (s) de consigne au point de référence (P3 par -8m ZH)	Niveaux en conditions d'essais « nominales » (mZH)	Sur élévation du niveau d'eau	Niveau testé (mZH)
Test 11	Annuelles	3.5m / 10s	1.8	0.5m	2.3
Test 12	Annuelles	3.5m / 10s	1.8	1.0m	2.8
Test 13	Centennales	5.2m / 15s	2.2	0.5m	2.7
Test 14	Centennales	5.2m / 15s	2.2	1.0m	3.2

6.2. LES RESULTATS

6.2.1. Les conditions annuelles

Pour les conditions annuelles (tests 11 et 12), il n'a pas été réalisé de mesures de franchissements.

D'après les observations qualitatives réalisées, les franchissements ont été limités à quelques embruns, dont des volumes faibles. Il n'a pas été observé de dommages sur le talus arrière.

6.2.2. Les conditions centennales avec un niveau augmenté de 0.50m

Les volumes franchissant obtenus (ramenés à l'échelle nature) ont été les suivants :

- Au coude (PM 1300): 13.1 L/ml/s (87 vagues franchissantes ont été dénombrées)
- A l'extrémité du mur de couronnement (PM 740) : 5.5 L/ml/s (42 vagues franchissantes ont été dénombrées)

Les observations suivantes ont été réalisées :

- Il a été noté de nombreux franchissements au coude ainsi que sur la section comprise du PM 400 au PM740
- Quelques franchissements ont été observés du PM740 jusqu'au coude
- Quelques franchissements (peu nombreux) relevés du PM200 au PM400

6.2.3. Les conditions centennales avec un niveau augmenté de 1m

Les volumes franchissant obtenus (ramenés à l'échelle nature) ont été les suivants :

- Au coude (PM 1300): 16 L/ml/s (129 vagues franchissantes ont été dénombrées)
- A l'extrémité du mur de couronnement (PM 740): 25 L/ml/s (231 vagues franchissantes ont été dénombrées)

Les observations suivantes ont été relevées :

- De nombreux franchissements ont été observés au coude ainsi que sur la section comprise du PM 400 au PM740. En terme de dommages associés à ces franchissements, 2 enrochements du talus arrière ont été déplacés vers le PM 650 (les dommages sont donc faibles et restent bien en-deçà du critère)
- Quelques franchissements ont été observés du PM740 jusqu'au coude.
- Quelques franchissements (peu nombreux) notés du PM200 au PM400

Des photos prises pendant les essais 11 à 14 ont été intégrées à l'annexe 1.

6.3. CONCLUSION SUITE A CES ESSAIS COMPLEMENTAIRES

6.3.1. Abaissement envisageable de la crête

L'élévation du niveau de +0.5m, pour des conditions centennales, a induit une augmentation des franchissements. Cependant, ces franchissements restent inférieurs aux critères admissibles et ne génèrent pas de dommages, que ce soit en crête ou sur le talus arrière.

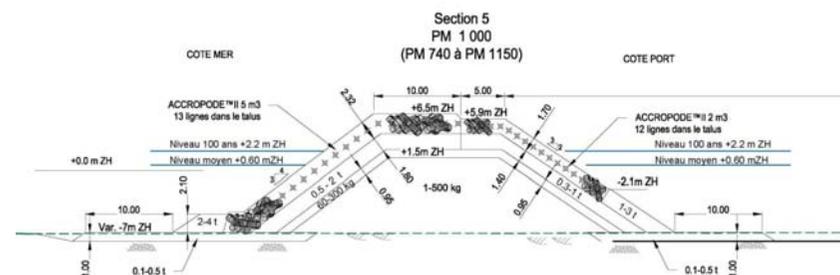
Pour l'élévation du niveau de +1.0m, les volumes franchissants sont plus conséquents (le volume récupéré au PM740 a été multiplié par cinq en comparaison du volume mesuré pour une élévation de +0.50m).

En outre, la méthode consistant à étudier l'abaissement de la crête des ouvrages en augmentant artificiellement le niveau d'eau permet certes de fournir une indication sur le comportement des ouvrages en cas d'abaissement de la crête, mais comporte une marge d'incertitude qui incite à considérer les résultats avec prudence.

Ainsi, de notre point de vue, l'optimisation de la crête de l'ouvrage ne pourrait porter que sur un abaissement de la crête de 0.50m, entre le PM 740 au PM1150 (section 5).

6.3.2. Conséquences sur le pré-dimensionnement de la digue

La possibilité de baisser la crête de 0.50m a été mise en œuvre sur la section 5, cette section ainsi modifiée étant présentée sur la figure suivante :



En comparaison de la section 5 initiale (voir *figure 1.7*), la mise en œuvre de cette section sur les 410m de linéaire du PM 740 au PM1150, permettrait une économie d'environ (550k€), en référence aux prix unitaires présentés dans la note relative à l'estimation des coûts (8713239-AVP-CST-R001).

Cette économie potentielle de 550k€ susceptible d'être obtenue par l'abaissement de la crête de +7.0mZH à +6.5mZH est toutefois à analyser au regard des inconvénients qui seraient induits par cette modification sur la section 5.

Ces inconvénients sont les suivants :

- En phase chantier, la voie circulaire que devront emprunter les tombereaux alimentant en matériaux l'opération de construction de la digue serait à une cote plus basse, donc de nature à subir davantage de franchissements en cas de tempête. Il y aurait un risque accru de dommages en cas de tempête pendant la phase chantier et un risque accru de perturber les cadences de construction.
- Il a été évoqué la possibilité de faire courir de manière temporaire une conduite le long de la crête de l'ouvrage en construction, afin de palier à l'arrêt du poste de déchargement pétrolier en mer et du sealine le temps que le poste P1 soit mis en service. Cette possibilité, si elle est retenue, milite pour que la crête de l'ouvrage ne soit pas abaissée, afin de limiter les franchissements pendant cette phase temporaire.

Au regard, des inconvénients engendrés et étant donné que cette optimisation du niveau de la crête de l'ouvrage (abaissement de 0.5m) reste modeste, nous ne recommandons pas d'adopter cette modification dans la suite du projet.

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

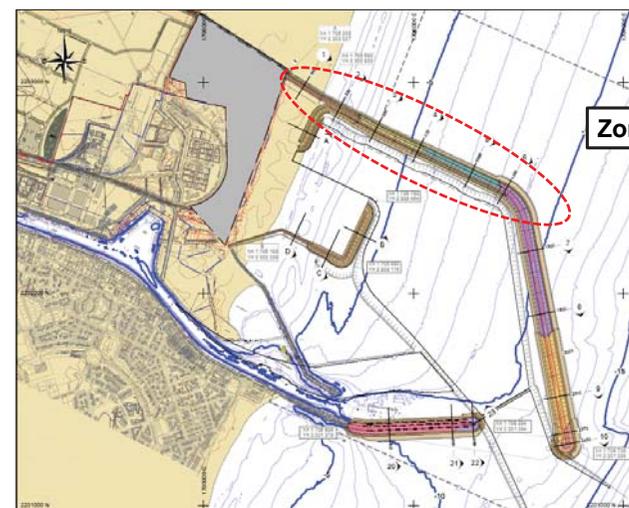
FIGURES

MODELE PHYSIQUE EN CUVE A HOULES DE L'ENRACINEMENT DE LA DIGUE NORD

SECTION MODELISEE & IMPLANTATION DU MODELE

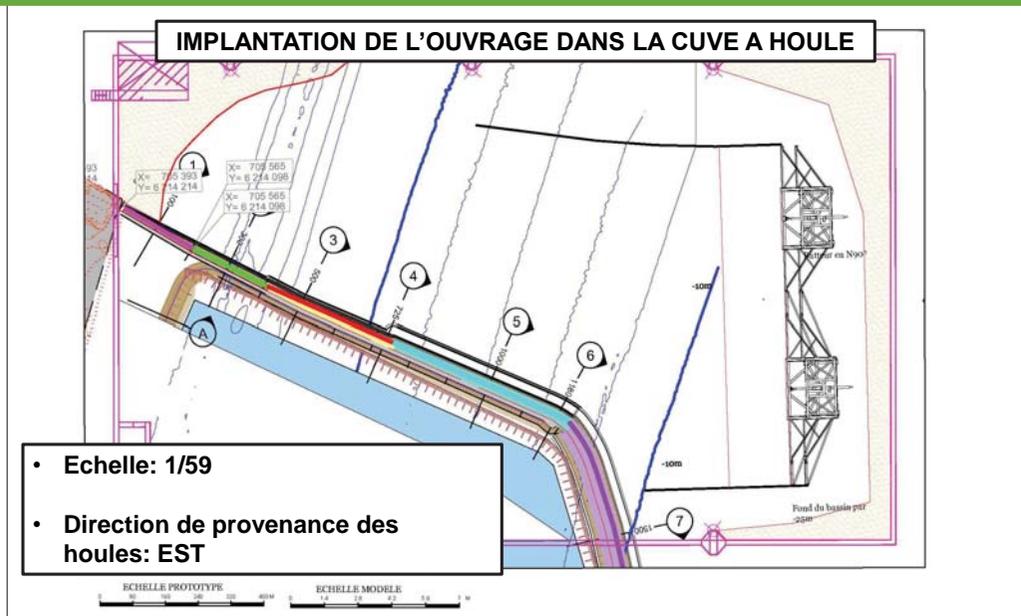
MODELE PHYSIQUE EN CUVE A HOULES DE L'ENRACINEMENT DE LA DIGUE NORD

PLAN DE MASSE



Zone étudiée

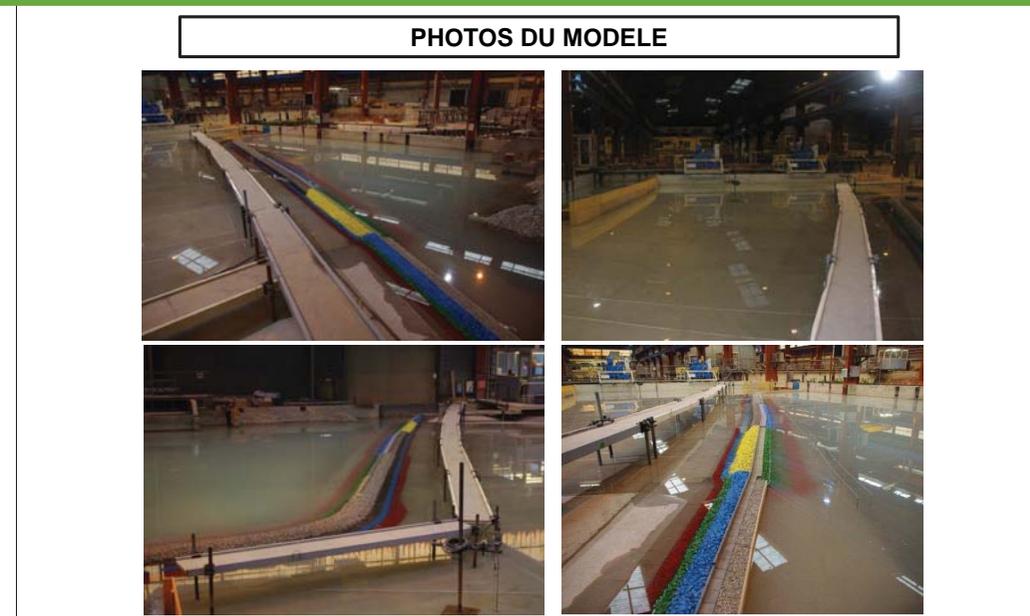
MODELE PHYSIQUE EN CUVE A HOULES DE L'ENRACINEMENT DE LA DIGUE NORD



8 713239 – Maitrise d'œuvre pour l'extension de Port-La Nouvelle – Mission MOD – Essais en cuve à houles de l'enracinement de la digue nord - Octobre 2014

Figure 1.2

MODELE PHYSIQUE EN CUVE A HOULES DE L'ENRACINEMENT DE LA DIGUE NORD



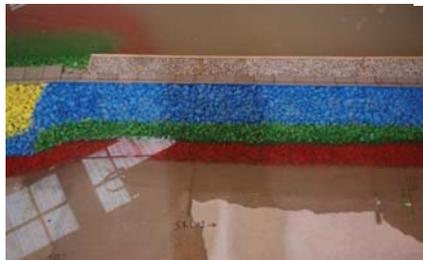
8 713239 – Maitrise d'œuvre pour l'extension de Port-La Nouvelle – Mission MOD – Essais en cuve à houles de l'enracinement de la digue nord - Octobre 2014

Figure 1.3

MODELE PHYSIQUE EN CUVE A HOULES DE L'ENRACINEMENT DE LA DIGUE NORD

DESCRIPTION DU MODELE

Les sections représentées (Extrait du plan 8713239_AVP_BKW_002-A-rev3)



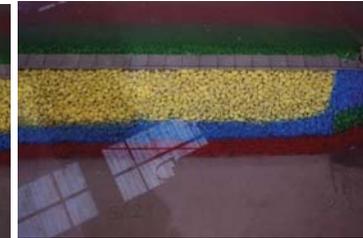
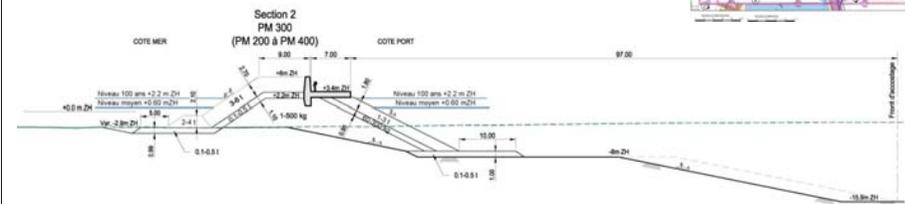
8 713239 – Maitrise d'œuvre pour l'extension de Port-La Nouvelle – Mission MOD – Essais en cuve à houles de l'enracinement de la digue nord - Octobre 2014

Figure 1.4

MODELE PHYSIQUE EN CUVE A HOULES DE L'ENRACINEMENT DE LA DIGUE NORD

DESCRIPTION DU MODELE

Les sections représentées (Extrait du plan 8713239_AVP_BKW_002-A rev3)



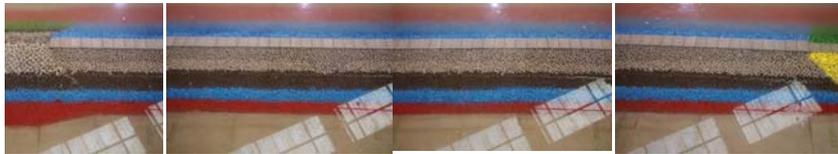
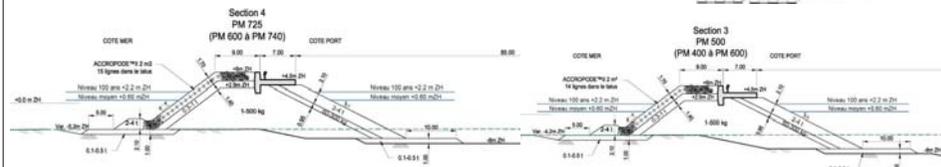
8 713239 – Maitrise d'œuvre pour l'extension de Port-La Nouvelle – Mission MOD – Essais en cuve à houles de l'enracinement de la digue nord - Octobre 2014

Figure 1.5

MODELE PHYSIQUE EN CUVE A HOULES DE L'ENRACINEMENT DE LA DIGUE NORD

DESCRIPTION DU MODELE

Les sections représentées (Extrait du plan 8713239_AV_P_BKW_002-B rev3)



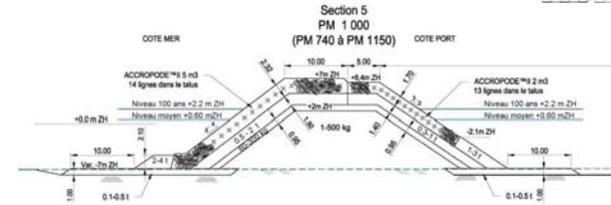
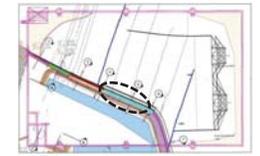
8 713239 – Maitrise d'œuvre pour l'extension de Port-La Nouvelle – Mission MOD – Essais en cuve à houles de l'enracinement de la digue nord - Octobre 2014

Figure 1.6

MODELE PHYSIQUE EN CUVE A HOULES DE L'ENRACINEMENT DE LA DIGUE NORD

DESCRIPTION DU MODELE

Les sections représentées (Extrait du plan 8713239_AV_P_BKW_002-C rev3)



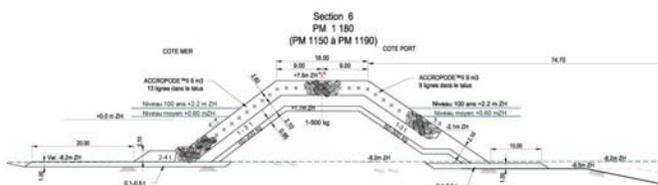
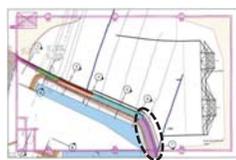
8 713239 – Maitrise d'œuvre pour l'extension de Port-La Nouvelle – Mission MOD – Essais en cuve à houles de l'enracinement de la digue nord - Octobre 2014

Figure 1.7

MODELE PHYSIQUE EN CUVE A HOULES DE L'ENRACINEMENT DE LA DIGUE NORD

DESCRIPTION DU MODELE

Les sections représentées (Extrait du plan 8713239_AVP_BKW_002-C rev 3)



8 713239 – Maitrise d'œuvre pour l'extension de Port-La Nouvelle – Mission MOD – Essais en cuve à houles de l'enracinement de la digue nord - Octobre 2014

Figure 1.8

MODELE PHYSIQUE EN CUVE A HOULES DE L'ENRACINEMENT DE LA DIGUE NORD

CONSTRUCTION DU MODELE

8 713239 – Maitrise d'œuvre pour l'extension de Port-La Nouvelle – Mission MOD – Essais en cuve à houles de l'enracinement de la digue nord - Octobre 2014

Figure 2.0

MODELE PHYSIQUE EN CUVE A HOULES DE L'ENRACINEMENT DE LA DIGUE NORD



Etape 1: Implantation et Mise en place des piges de nivellement des isobathes

8 713239 – Maitrise d'œuvre pour l'extension de Port-La Nouvelle – Mission MOD – Essais en cuve à houles de l'enracinement de la digue nord - Octobre 2014

Figure 2.1

MODELE PHYSIQUE EN CUVE A HOULES DE L'ENRACINEMENT DE LA DIGUE NORD



Etape 2: Remplissage par des gravettes et début de construction des fonds (chape béton)

8 713239 – Maitrise d'œuvre pour l'extension de Port-La Nouvelle – Mission MOD – Essais en cuve à houles de l'enracinement de la digue nord - Octobre 2014

Figure 2.2

MODELE PHYSIQUE EN CUVE A HOULES DE L'ENRACINEMENT DE LA DIGUE NORD



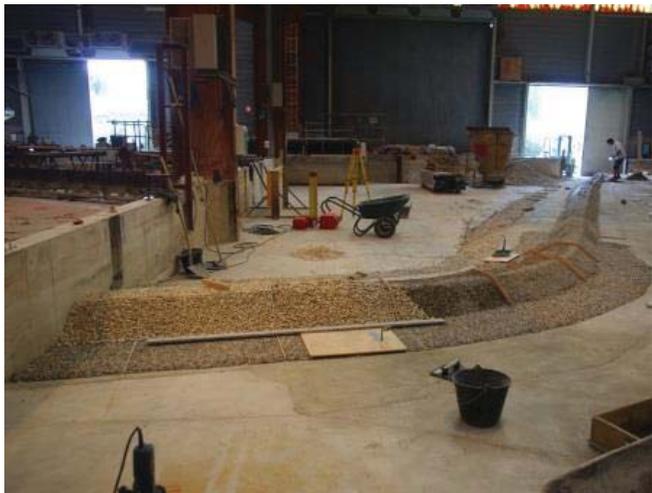
Etape 3: Début de construction de la digue avec mise en place des gabarits

MODELE PHYSIQUE EN CUVE A HOULES DE L'ENRACINEMENT DE LA DIGUE NORD



Etape 4: Le noyau de la digue est mis en place

MODELE PHYSIQUE EN CUVE A HOULES DE L'ENRACINEMENT DE LA DIGUE NORD



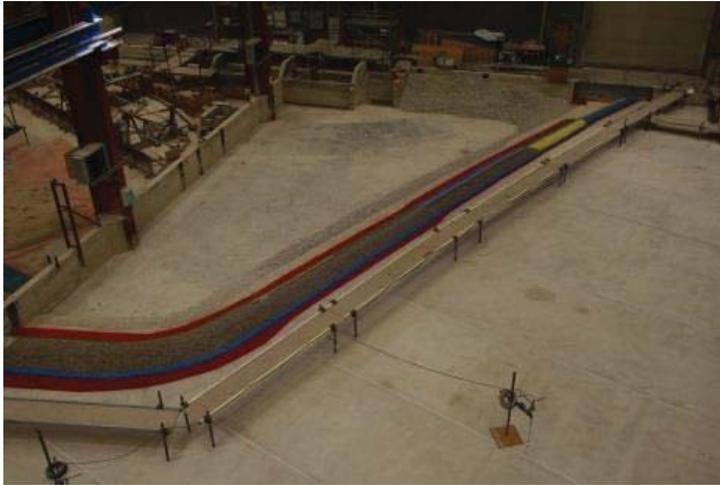
Etape 5: Mise en place de la sous-couche

MODELE PHYSIQUE EN CUVE A HOULES DE L'ENRACINEMENT DE LA DIGUE NORD



Etape 6: Mise en place des blocs de carapace posés un par un (12 000 unités) et des murs de couronnement

MODELE PHYSIQUE EN CUVE A HOULES DE L'ENRACINEMENT DE LA DIGUE NORD



7. L'appareillage de mesure est mis en place, les enrochements sont peints

MODELE PHYSIQUE EN CUVE A HOULES DE L'ENRACINEMENT DE LA DIGUE NORD



Etape 8: Mise en place des batteurs et des guideaux - Mise en eau du modèle

MODELE PHYSIQUE EN CUVE A HOULES DE L'ENRACINEMENT DE LA DIGUE NORD

INSTRUMENTATION

8 713239 – Maitrise d'œuvre pour l'extension de Port-La Nouvelle – Mission MOD – Octobre 2014 – Essais en cuve à houles de l'enracinement de la digue nord Figure 3.0

MODELE PHYSIQUE EN CUVE A HOULES DE L'ENRACINEMENT DE LA DIGUE NORD

DISPOSITIF DE MESURE DES FRANCHISSEMENTS



Franchissements à l'extrémité
du linéaire équipé de mur de
couronnement



Franchissements au coude

8 713239 – Maitrise d'œuvre pour l'extension de Port-La Nouvelle – Mission MOD – Octobre 2014 – Essais en cuve à houles de l'enracinement de la digue nord Figure 3.1

MODELE PHYSIQUE EN CUVE A HOULES DE L'ENRACINEMENT DE LA DIGUE NORD

Limnimètre de contrôle de niveau



8 713239 – Maitrise d'œuvre pour l'extension de Port-La Nouvelle – Mission MOD – Octobre 2014 – Essais en cuve à houles de l'enracinement de la digue nord Figure 3.2

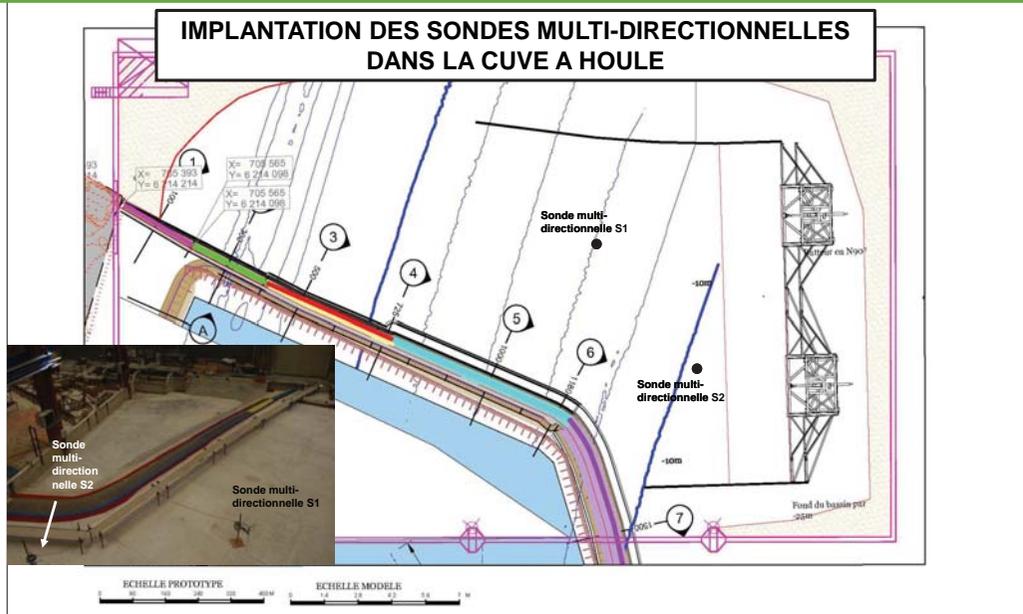
MODELE PHYSIQUE EN CUVE A HOULES DE L'ENRACINEMENT DE LA DIGUE NORD

Sondes multi-directionnelles



8 713239 – Maitrise d'œuvre pour l'extension de Port-La Nouvelle – Mission MOD – Octobre 2014 – Essais en cuve à houles de l'enracinement de la digue nord Figure 3.3

MODELE PHYSIQUE EN CUVE A HOULES DE L'ENRACINEMENT DE LA DIGUE NORD



8 713239 – Maîtrise d'œuvre pour l'extension de Port-La Nouvelle – Mission MOD – Octobre 2014 – Essais en cuve à houles de l'enracinement de la digue nord Figure 3.4

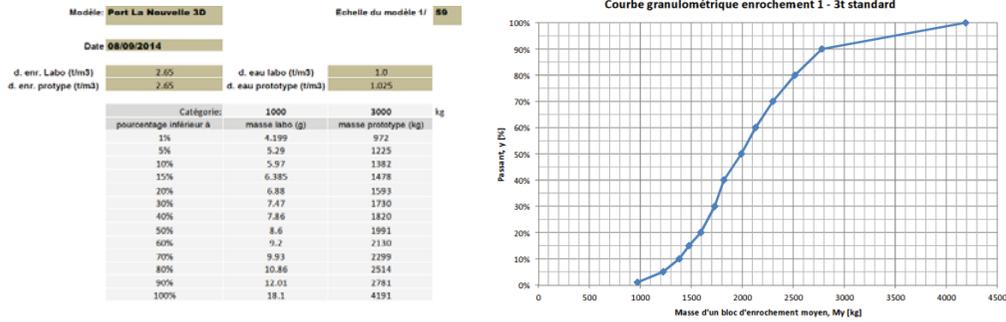
MODELE PHYSIQUE EN CUVE A HOULES DE L'ENRACINEMENT DE LA DIGUE NORD



8 713239 – Maîtrise d'œuvre pour l'extension de Port-La Nouvelle – Mission MOD – Octobre 2014 – Essais en cuve à houles de l'enracinement de la digue nord Figure 4.0

MODELE PHYSIQUE EN CUVE A HOULES DE L'ENRACINEMENT DE LA DIGUE NORD

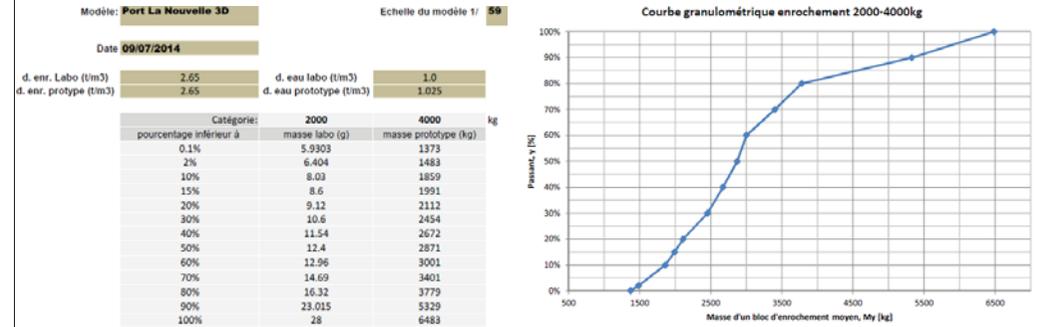
Courbe granulométrique de la catégorie [1t - 3t]



8 713239 – Maîtrise d'œuvre pour l'extension de Port-La Nouvelle – Mission MOD – Octobre 2014 – Essais en cuve à houles de l'enracinement de la digue nord Figure 4.1

MODELE PHYSIQUE EN CUVE A HOULES DE L'ENRACINEMENT DE LA DIGUE NORD

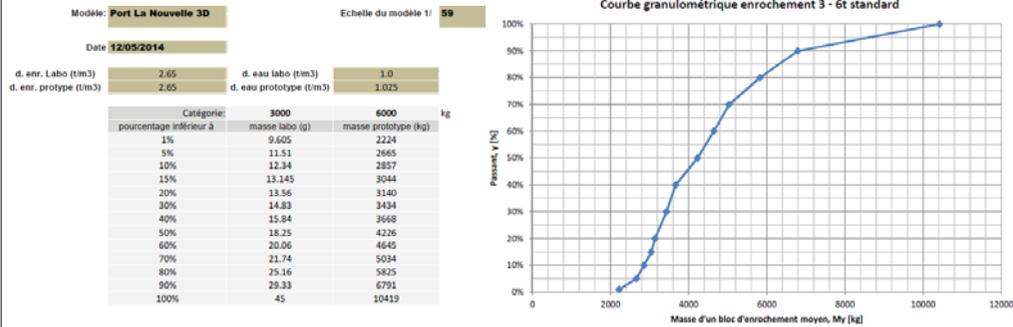
Courbe granulométrique de la catégorie [2t - 4t]



8 713239 – Maîtrise d'œuvre pour l'extension de Port-La Nouvelle – Mission MOD – Octobre 2014 – Essais en cuve à houles de l'enracinement de la digue nord Figure 4.2

MODELE PHYSIQUE EN CUVE A HOULES DE L'ENRACINEMENT DE LA DIGUE NORD

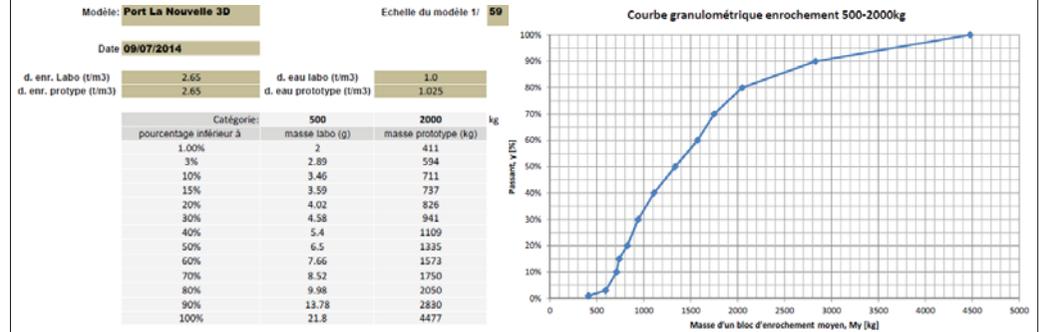
Courbe granulométrique de la catégorie [3t – 6t]



8 713239 – Maîtrise d'œuvre pour l'extension de Port-La Nouvelle – Mission MOD – Octobre 2014 – Essais en cuve à houles de l'enracinement de la digue nord Figure 4.3

MODELE PHYSIQUE EN CUVE A HOULES DE L'ENRACINEMENT DE LA DIGUE NORD

Courbe granulométrique de la catégorie [0.5t – 2t]



8 713239 – Maîtrise d'œuvre pour l'extension de Port-La Nouvelle – Mission MOD – Octobre 2014 – Essais en cuve à houles de l'enracinement de la digue nord Figure 4.4

ANNEXES



ANNEXE 1: PHOTOS PRISES AU COURS DES ESSAIS

Test 1 : Houles de tassement

coté mer – avant essai



PM 300 – PM 200



PM 100 – PM 200



PM 0 – PM 100



PM 600 – PM 500



PM 500 – PM 400



PM 400 – PM 300

coté mer – avant essai



PM 900 – PM 800



PM 800 – PM 700



PM 700 – PM 600



PM 1200 – PM 1100



PM 1100 – PM 1000



PM 1000 – PM 900

coté mer – avant essai



PM 1400 – PM 1300



PM 1300 – PM 1200

Photos prises pendant l'essai



Test 2 : Houles de tassement

Photos prises pendant l'essai

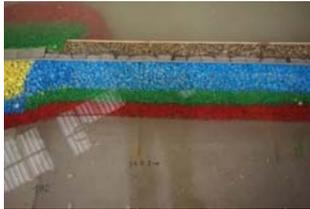


Test 3 : Houles de période de retour 1 an

coté mer – après essai



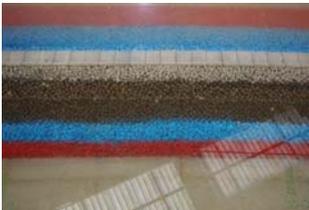
PM 300 – PM 200



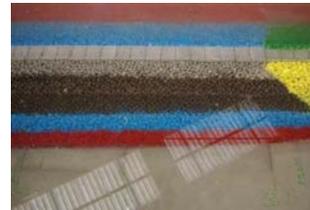
PM 100 – PM 200



PM 0 – PM 100



PM 600 – PM 500

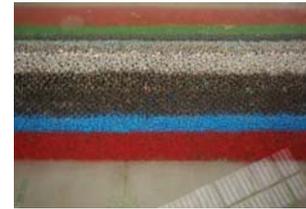


PM 500 – PM 400

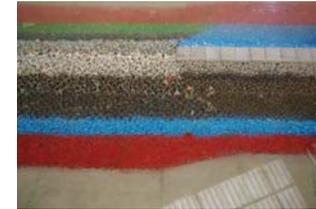


PM 400 – PM 300

coté mer – après essai



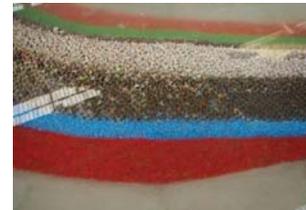
PM 900 – PM 800



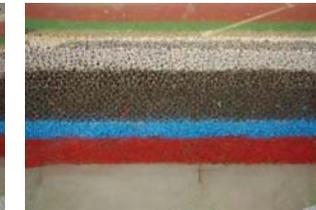
PM 800 – PM 700



PM 700 – PM 600



PM 1200 – PM 1100



PM 1100 – PM 1000

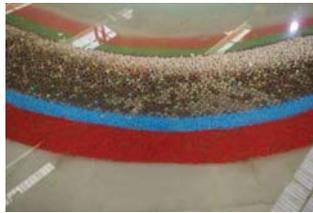


PM 1000 – PM 900

coté mer – après essai



PM 1400 – PM 1300



PM 1300– PM 1200

Photos prises pendant l'essai



Photos prises pendant l'essai

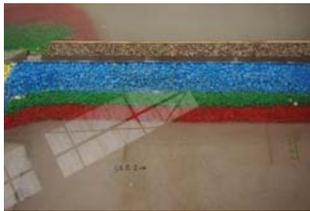


Test 4 : Houles de période de retour 1 an – période longue (10s)

coté mer – après essai



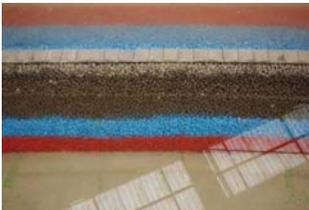
PM 300 – PM 200



PM 100 – PM 200



PM 0 – PM 100



PM 600 – PM 500

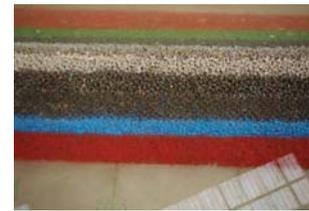


PM 500 – PM 400



PM 400 – PM 300

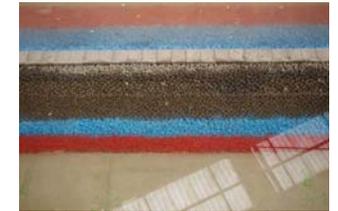
coté mer – après essai



PM 900 – PM 800



PM 800 – PM 700



PM 700 – PM 600



PM 1200 – PM 1100



PM 1100 – PM 1000



PM 1000 – PM 900

coté mer – après essai



PM 1400 – PM 1300



PM 1300 – PM 1200

Photos prises pendant l'essai



Photos prises pendant l'essai

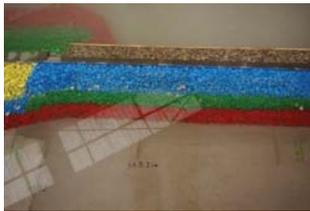


Test 5 : Houles de période de retour 10 ans – houle extrême intermédiaire

coté mer – après essai



PM 300 – PM 200



PM 100 – PM 200



PM 0 – PM 100



PM 600 – PM 500

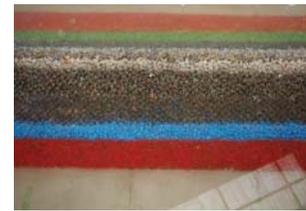


PM 500 – PM 400



PM 400 – PM 300

coté mer – après essai



PM 900 – PM 800



PM 800 – PM 700



PM 700 – PM 600



PM 1200 – PM 1100



PM 1100 – PM 1000



PM 1000 – PM 900

coté mer – après essai



PM 1400 – PM 1300



PM 1300 – PM 1200

Photos prises pendant l'essai



Photos prises pendant l'essai



Test 6 : Houles de période de retour 100 ans –

coté mer – après essai



PM 300 – PM 200



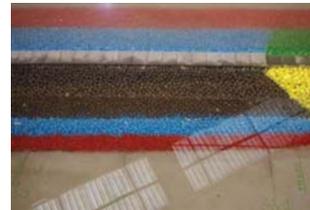
PM 100 – PM 200



PM 0 – PM 100



PM 600 – PM 500



PM 500 – PM 400



PM 400 – PM 300

coté mer – après essai



PM 900 – PM 800



PM 800 – PM 700



PM 700 – PM 600



PM 1200 – PM 1100



PM 1100 – PM 1000

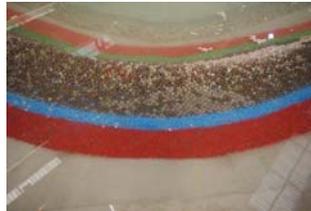


PM 1000 – PM 900

coté mer – après essai

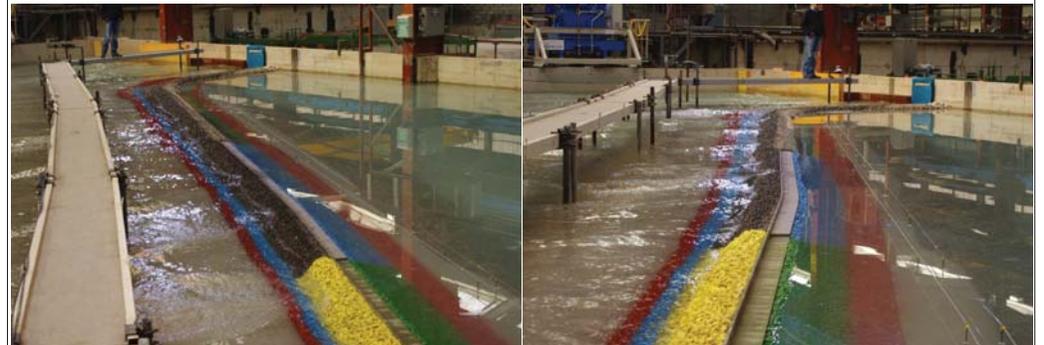


PM 1400 – PM 1300



PM 1300 – PM 1200

Photos prises pendant l'essai



Photos prises pendant l'essai



Photos prises pendant l'essai



Test 7-a : Houles de période de retour 100 ans – longue période (15s)

coté mer – après essai



PM 300 – PM 200



PM 100 – PM 200



PM 0 – PM 100



PM 600 – PM 500



PM 500 – PM 400



PM 400 – PM 300

coté mer – après essai



PM 900 – PM 800



PM 800 – PM 700



PM 700 – PM 600



PM 1200 – PM 1100



PM 1100 – PM 1000



PM 1000 – PM 900

coté mer – après essai



PM 1400 – PM 1300



PM 1300 – PM 1200

coté port – après essai



PM 700 - PM 800

Photos prises pendant l'essai



Photos prises pendant l'essai



Photos prises pendant l'essai



Photos prises pendant l'essai



Test 7-b : Houles de période de retour 100 ans – longue période (15s)

coté mer – après essai



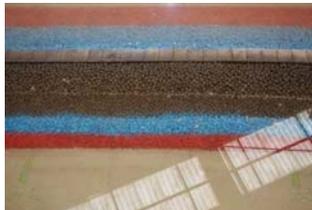
PM 300 – PM 200



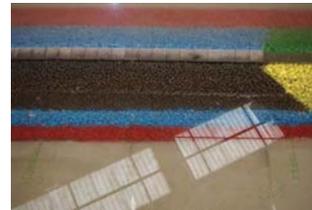
PM 100 – PM 200



PM 0 – PM 100



PM 600 – PM 500

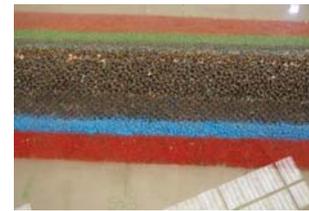


PM 500 – PM 400

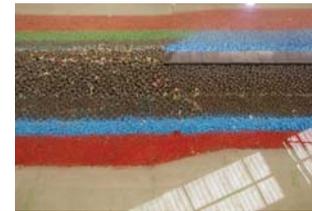


PM 400 – PM 300

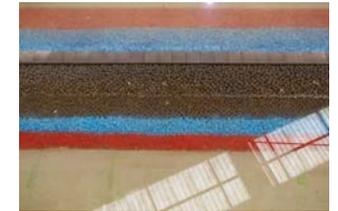
coté mer – après essai



PM 900 – PM 800



PM 800 – PM 700



PM 700 – PM 600



PM 1200 – PM 1100



PM 1100 – PM 1000



PM 1000 – PM 900

coté mer – après essai



PM 1400 – PM 1300



PM 1300 – PM 1200

Photos prises pendant l'essai



Photos prises pendant l'essai



Photos prises pendant l'essai

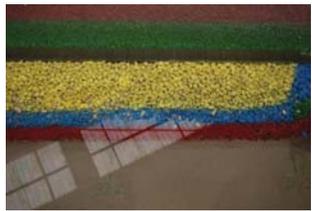


Photos prises pendant l'essai



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

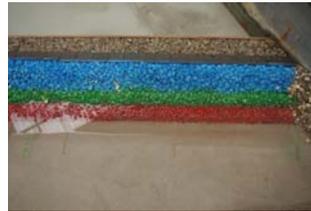
coté mer – après essai



PM 300 – PM 200



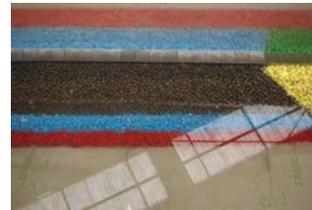
PM 100 – PM 200



PM 0 – PM 100



PM 600 – PM 500



PM 500 – PM 400

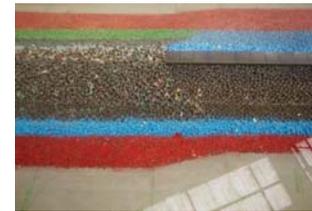


PM 400 – PM 300

coté mer – après essai



PM 900 – PM 800



PM 800 – PM 700



PM 700 – PM 600



PM 1200 – PM 1100



PM 1100 – PM 1000



PM 1000 – PM 900

coté mer – après essai



PM 1400 – PM 1300



PM 1300 – PM 1200

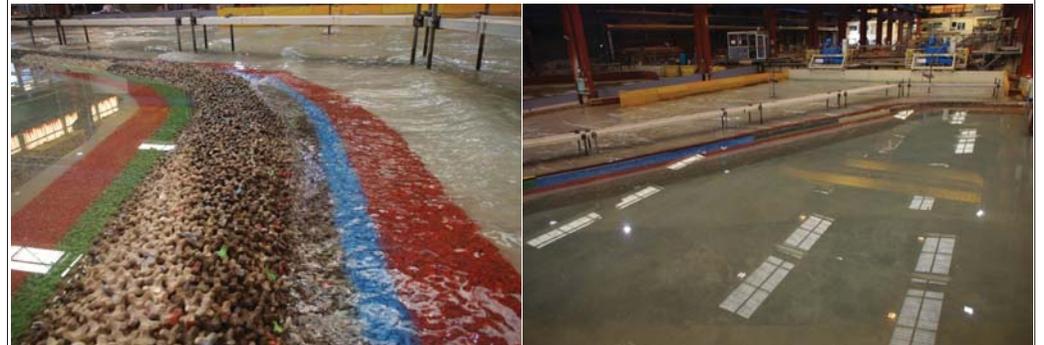
Photos prises pendant l'essai



Photos prises pendant l'essai



Photos prises pendant l'essai



Test 9 : Houles « 120% »

coté mer – après essai



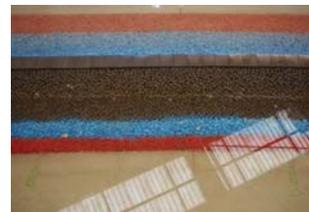
PM 300 – PM 200



PM 100 – PM 200



PM 0 – PM 100



PM 600 – PM 500

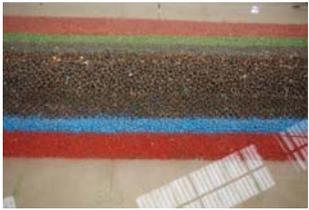


PM 500 – PM 400

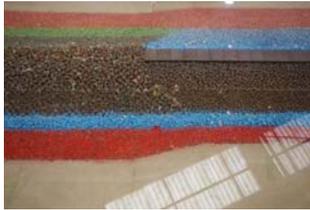


PM 400 – PM 300

coté mer – après essai



PM 900 – PM 800



PM 800 – PM 700



PM 700 – PM 600



PM 1200 – PM 1100



PM 1100 – PM 1000



PM 1000 – PM 900

coté mer – après essai



PM 1400 – PM 1300



PM 1300 – PM 1200

coté port – après essai



PM 600 - PM 700

coté port – après essai



PM 700 - PM 800

Photos prises pendant l'essai



Photos prises pendant l'essai



Photos prises pendant l'essai



Photos prises pendant l'essai

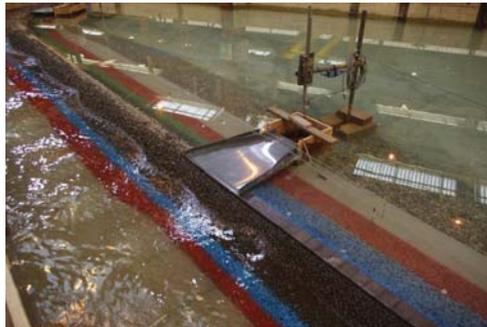


Photos prises pendant l'essai



Test 11 : conditions annuelles - niveau sur-élevé de 0,5m

Photos prises pendant l'essai



Photos prises pendant l'essai



Test 12 : conditions annuelles - niveau sur-élevé de 1m

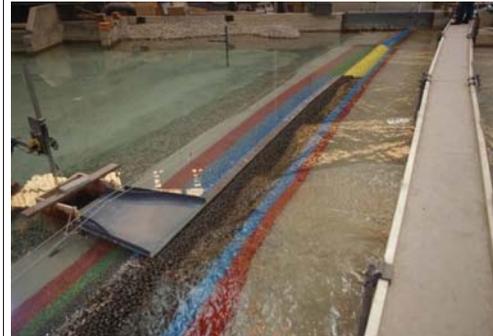
Photos prises pendant l'essai



Photos prises pendant l'essai



Photos prises pendant l'essai



Test 13 : conditions centennales - niveau sur-élevé de 0,5m

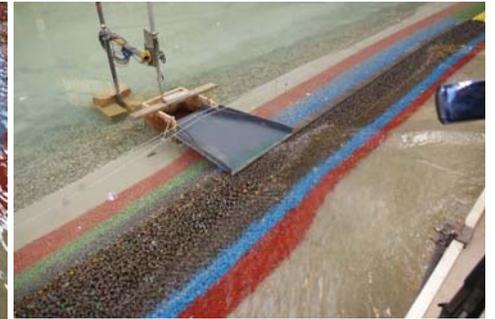
Photos prises après l'essai (talus arrière – vers le PM 650)



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

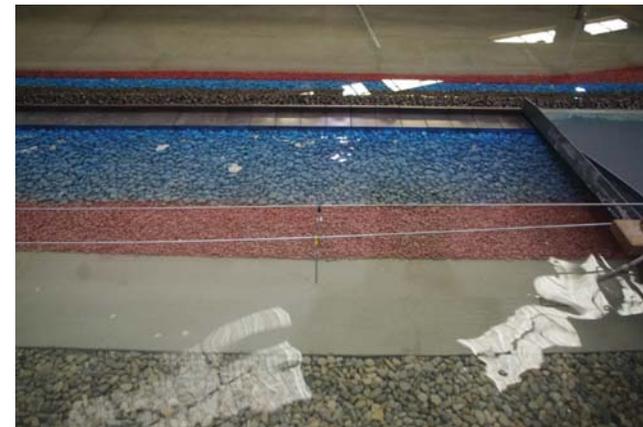


Photos prises pendant l'essai



Test 14 : conditions centennales - niveau sur-élevé de 1m

Photos prises après l'essai (talus arrière – vers le PM 650)



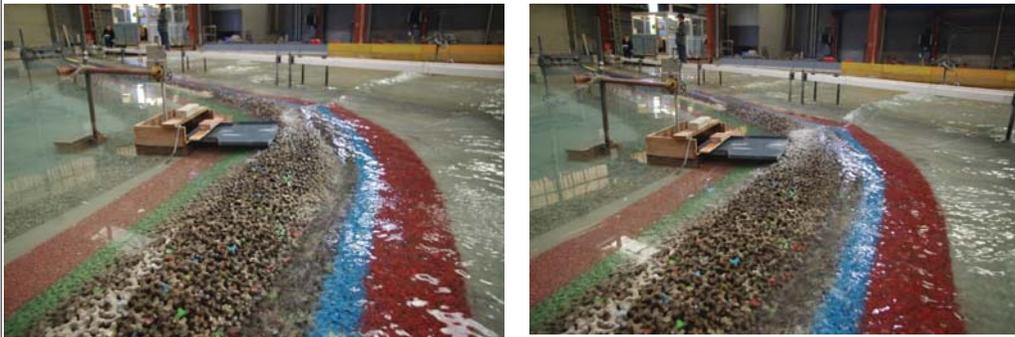
Photos prises pendant l'essai



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



Photos prises pendant l'essai

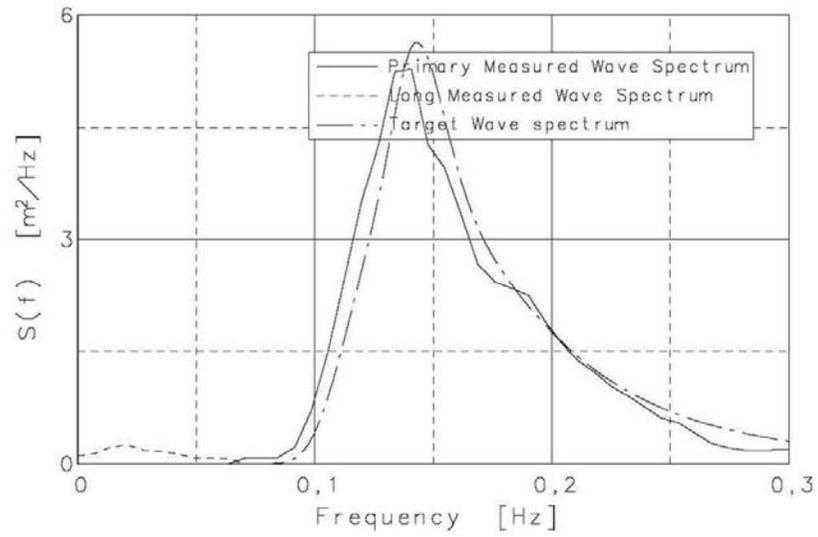


Photos prises pendant l'essai

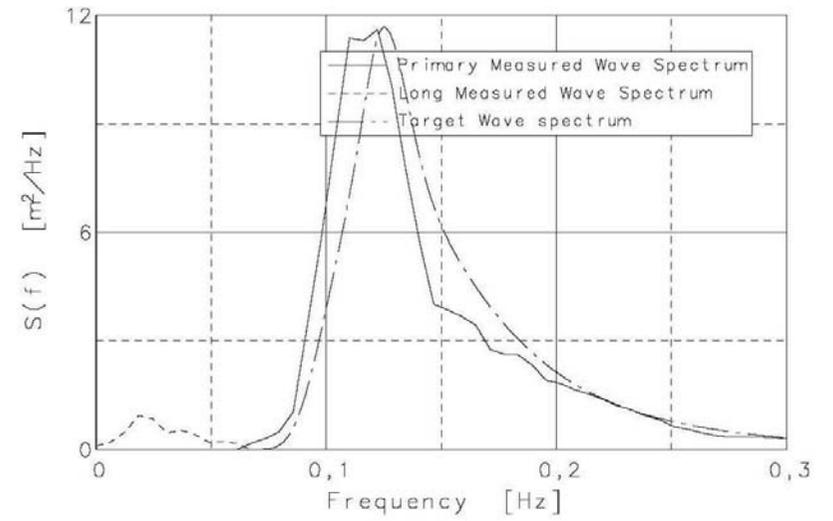


ANNEXE 2: SPECTRES DES HOULES GENEREES MESUREES A LA
SONDE S1

Test 2



Test 3



Test 6

