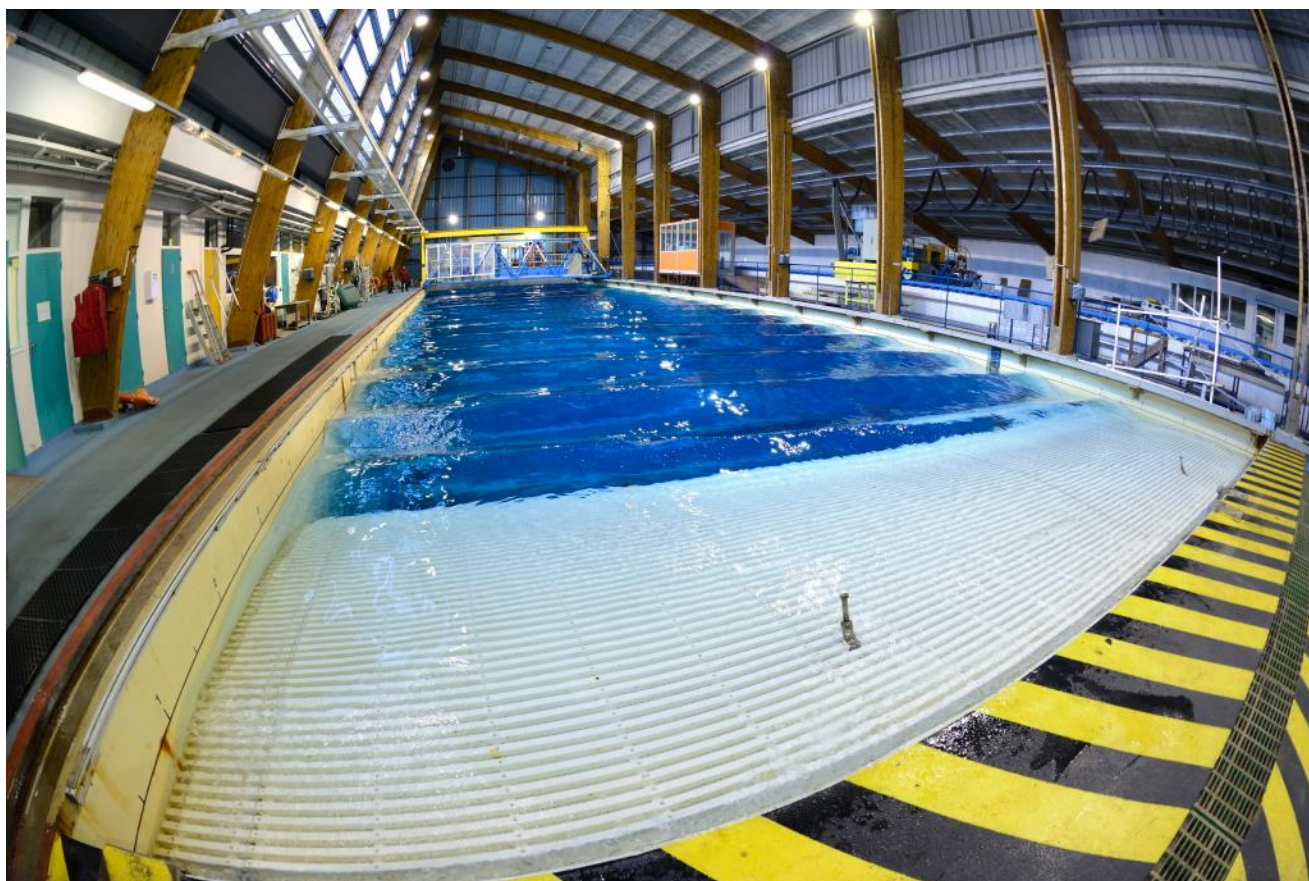


Présentation du projet de remplacement de la plage d'amortissement des vagues du bassin profond de l'IFREMER Plouzané



Fiche documentaire

Cahier des charges pour le remplacement de la plage d'amortissement des vagues du bassin profond de l'IFREMER Brest

Référence interne : REM/RDT/LhyMAR	Date de publication : 2025/05/14
Diffusion ☐ libre (internet) ☐ restreinte (intranet) levée d'embargo : AAAA/MM/JJ ☒ interdite (confidentielle) levée de confidentialité : AAAA/MM/JJ	Version : 1.1.0 Référence de l'illustration de couverture Crédit photo/ titre / date Langue(s) :

Résumé / Abstract :

Mots-clés / Key words :
Plage d'amortissement, vagues, bassin profond.

Comment citer ce document :

Disponibilité des données de la recherche :

DOI :

Commanditaire du rapport :

Nom / référence du contrat :

- ☐ Rapport intermédiaire (Réf. Bibliographique : XXX)
☒ Rapport définitif

Réf. Interne du rapport intermédiaire : R.DEP/UNIT/LABO AN-NUM/ID ARCHIMER)

Projets dans lesquels ce rapport s'inscrit (programme européen, campagne, etc.) :
CPER IJINMOR

Auteur(s) / adresse mail**Affiliation / Direction / Service, laboratoire**

auteur 1 / adresse mail

Affiliation / auteur 1

auteur 2 / adresse mail

Affiliation / auteur 2

auteur 3 / adresse mail

Affiliation / auteur 3

auteur 4 / adresse mail

Affiliation / auteur 4

Encadrement(s) :

Destinataires :

Validé par :

Sommaire

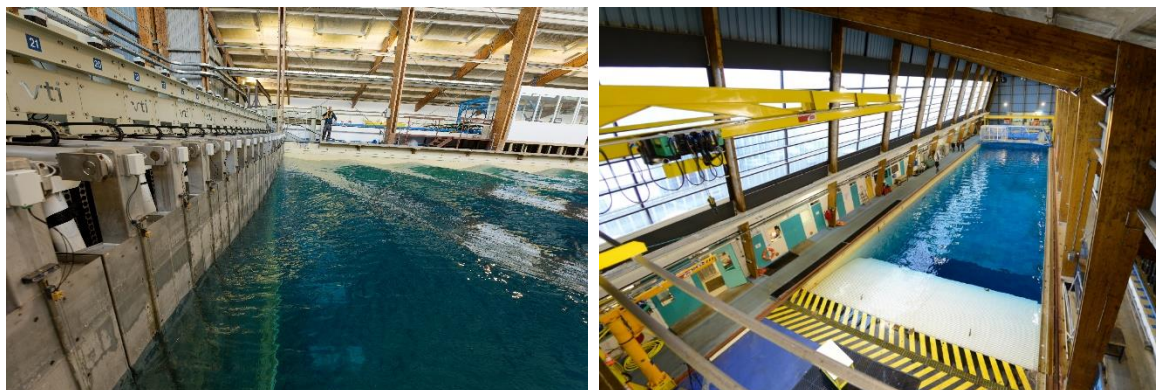
1. Introduction.....	7
2. Objectif de la prestation demandée.....	8
2.1. Etude technique.....	8
2.1.1. Objet de l'étude	8
2.1.1.1. Etude de faisabilité.....	8
2.1.1.2. Etude d'exécution	8
2.1.2. Démarche	8
2.1.3. Détail des livrables pour réception.....	8
2.1.3.1. Rapport d'étude de faisabilité	8
2.1.3.2. Rapport d'étude d'exécution.....	8
2.1.3.3. Rapport sur les notes de calcul	9
2.1.3.1. Procédure de qualification en charge et vérification des flèches	10
2.1.3.1. Procédure d'installation de la plage.....	10
2.1.3.2. Procédure de mise en fonctionnement de la plage.....	10
2.1.3.3. Procédure de maintenance	10
2.1.3.4. Procédure de démantèlement de l'ancienne plage.....	10
2.2. Réalisation de la plage d'amortissement et des éléments associés	11
2.2.1. Détail des livrables matériels (plage et ensembles).....	11
2.3. Livraison et installation de la plage d'amortissement et des éléments associés	12
2.4. Démantèlement et retraitement de la plage d'amortissement existante....	12
2.5. Conditions de réception des études	13
2.5.1. Livraison du rapport d'étude de faisabilité	13
2.5.2. Livraison du rapport d'exécution.....	13
2.5.3. Livraison du rapport sur les notes de calcul.....	13
2.6. Conditions de réception en usine et livrables	13
2.6.1. Livraison de l'ensemble des documents complets et définitifs	13
2.6.2. Conformité de la plage et de ses ensembles aux plans validés.....	13
2.6.3. Aspect général de la plage et qualité des finitions	13
2.6.4. Respect des données d'entrée et des tolérances définies dans le tableau récapitulatif en section 4.4.1	13
2.6.5. Qualité et conformité des matériaux, protection contre la corrosion.....	13
2.6.6. Rapport d'épreuve en charge et vérification des flèches	13
2.6.7. Visite IFREMER	14
2.6.8. Livraison d'un Dossier des Ouvrages Exécutés (DOE) - réception usine DOE-1	14
2.7. Conditions de réception au bassin et livrables	14
2.7.1. Démantèlement de l'ancienne plage	14
2.7.2. Livraison de la plage et de ses ensembles.....	14
2.7.3. Installation de la plage et de tous ses éléments associés.....	14

2.7.4.	Respect des données d'entrée et des tolérances	14
2.7.5.	Propreté de la pose et de l'installation in situ.....	14
2.7.6.	Positionnement de la plage et de l'ensemble de ses éléments dans le bassin	14
2.7.7.	Fonctionnement de la cinématique du système et de ses éléments	14
2.7.8.	Comportement et tenue de la plage sous sollicitations hydrodynamiques, incluant des cycles longs et des vagues extrêmes .	14
2.7.9.	Livraison de la procédure de maintenance définitive	14
2.7.10.	Livraison d'un Dossier des Ouvrages Exécutés (DOE) - réception bassin DOE-2.....	14
2.8.	Maintenance.....	14
3.	Description de l'installation existante.....	15
3.1.	Le bassin profond	15
3.1.1.	Environnement, contraintes et limitations	16
3.2.	Plage d'amortissement des vagues actuellement en place.....	18
3.2.1.	Avantages	19
3.2.2.	Détails et fonctionnement.....	19
3.2.3.	Détails des modules latéraux	21
3.2.4.	Documentation et plans (à titre indicatif).....	22
3.2.5.	Porosité (taux de vide) de la plage existante et caillebotis.....	23
4.	Caractéristiques de la nouvelle plage	24
4.1.	Problématiques à résoudre et points d'amélioration	24
4.1.1.	Structure de la plage	24
4.1.2.	Fragilité de la plage	24
4.1.3.	Blocs de positionnement et de verrouillage à revoir	25
4.1.4.	Absorber les vagues qui déferlent contre le mur « aval » en surface (Ensembles module complémentaire anti-reflux des vagues).....	26
4.1.5.	Minimiser la réflexion des vagues contre le mur « aval » sous la plage (Ensembles de blocs poreux sous l'eau anti-reflux des vagues).....	29
4.1.6.	Encastrement des équerres dans le parvis (ensembles permettant la fixation parvis et la rotation de la plage)	30
4.1.7.	Pouvoir positionner la plage à son angle de travail avec le crochet 1.25 T du pont.....	30
4.1.8.	Augmenter la longueur de la plage.....	31
4.2.	Environnement, contraintes et limitations.....	32
4.2.1.	Résistance aux chargements cycliques et extrêmes	32
4.2.2.	Résistance de la plage en air et en eau	32
4.2.3.	Corrosion galvanique et vieillissement	33
4.2.4.	Masse de la plage principale (sans ses modules complémentaires).....	33
4.2.5.	Installation générale	33
4.2.6.	Accessibilité des éléments de boulonnage des modules complémentaires de la plage.....	34
4.2.7.	Maintenance	35
4.3.	Fonctionnalités	35
4.3.1.	Absorption des vagues (porosité et caillebotis)	35

4.3.2.	Pivotante (ensembles permettant la fixation parvis et la rotation de la plage).....	35
4.3.3.	Positionner la plage à son angle de travail (ensembles des blocs de positionnement avec système de verrouillage automatique)	35
4.3.4.	Positionner la plage en position de stockage (ensembles et système de repliement et de maintien en position de stockage).....	35
4.3.5.	Plage modulaire (ensembles modules latéraux complémentaire).....	35
4.3.6.	Levage	35
4.3.7.	Tableau récapitulatif des données d'entrée :	36
4.3.8.	Conditions à prendre en compte pour les calculs sur la plage	42
4.3.8.1.	Calculs statiques de résistance à la charge hydrodynamique	42

1. Introduction

L'IFREMER dispose de plusieurs infrastructures expérimentales qu'il gère et exploite dans le cadre de ses programmes d'étude et de recherche. Parmi celles-ci, les moyens d'essais en hydrodynamique du centre IFREMER de Plouzané comprennent un bassin profond à houle et un canal d'expérimentation, équipés notamment de générateurs de houle récemment installés.



À la suite de cette récente installation et des nouvelles capacités de génération de vagues associées, l'IFREMER souhaite engager le remplacement de la plage d'amortissement des vagues du bassin profond, devenue inadaptée aux exigences actuelles. En effet, la plage existante présente des faiblesses structurelles pour les amplitudes et les périodes de vagues les plus extrêmes, et son domaine fréquentiel d'amortissement doit être adapté aux possibilités étendues offertes par le nouveau générateur de houle du bassin profond.

Ce projet comprend :

Le remplacement de la plage d'amortissement des vagues du bassin profond

Le présent document a pour objet la définition du projet relatif à la conception, la réalisation et la mise en service de la nouvelle plage d'amortissement des vagues destinée au bassin profond.

Il comprend une présentation de l'installation existante, accompagnée d'une documentation en annexe à titre indicatif, ainsi qu'une description détaillée des caractéristiques et fonctionnalités de la plage à concevoir et des éléments associés nécessaires à son installation et à son exploitation.

2. Objectif de la prestation demandée

La prestation consiste en la conception, la réalisation, la livraison, l'installation et la mise en service de la plage d'amortissement des vagues dans le bassin profond, à l'issue de l'analyse du besoin et de l'étude technique.

2.1. Etude technique

2.1.1. Objet de l'étude

L'étude technique se décompose en deux phases.

2.1.1.1. Etude de faisabilité

Dans un premier temps, une étude de faisabilité sera réalisée afin d'évaluer la possibilité de mise en œuvre du projet de remplacement de la plage d'amortissement des vagues du bassin d'essais profond de l'IFREMER, au regard des améliorations attendues, des caractéristiques techniques requises définies dans le présent document, ainsi que des contraintes d'intégration, de fabrication et de montage.

2.1.1.2. Etude d'exécution

Dans un deuxième temps, une étude d'exécution sera réalisée afin de définir l'ensemble des dispositions nécessaires à la fabrication et à l'installation de la plage d'amortissement des vagues. Celle-ci comprendra notamment les plans de fabrication détaillés, les plans de montage, les nomenclatures, les notes de calcul, les spécifications techniques ainsi que les procédures associées.

Une attention particulière sera portée au dimensionnement et à la justification structurelle de la plage, notamment au regard du respect des géométries, des interfaces avec l'existant ainsi que des chargements cycliques et extrêmes.

2.1.2. Démarche

La démarche devra s'appuyer sur :

- Une analyse du besoin associée à la définition des fonctions et des objectifs d'utilisation de la plage d'amortissement des vagues, intégrant les contraintes fonctionnelles du bassin (passerelles, soufflerie, prestations acoustiques, opérations d'immersion, opérations de maintenance, future réfection du liner).
- Une analyse comparative de différentes solutions techniques.
- La réalisation de relevés dimensionnels sur site par le titulaire, lors de ses visites, en vue de l'établissement des plans. Ces relevés devront couvrir au minimum le bâti existant, l'ancienne plage, ainsi que les éléments et structures susceptibles de contraindre ou de limiter l'utilisation de la future plage.

2.1.3. Détail des livrables pour réception

Les livrables comprendront :

2.1.3.1. Rapport d'étude de faisabilité

Ce rapport constituera le support de validation de l'étude de faisabilité.

2.1.3.2. Rapport d'étude d'exécution

Ce rapport constituera le support de validation de l'étude d'exécution. Il comprendra l'ensemble des documents associés, notamment les plans de fabrication et de montage, les notes de calcul, ainsi que les spécifications techniques et les procédures associées.

2.1.3.3. Rapport sur les notes de calcul

Ce rapport constituera le support de validation des notes de calcul. Il présentera les résultats des études de dimensionnement structurel, notamment au regard des données d'entrée définies en section 4.4.1 et des indications précisées en section 4.4.5 :

- Calculs statiques de résistance (sans chargement et en air) de la plage pour vérifier sa résistance et les flèches maximales admissibles sous son propre poids, dans les conditions suivantes : position horizontale (stockage sur le parvis pour intégration ou maintenance), en position de travail à 30° (bassin), et en position de stockage à environ 90° (bassin).
- Calculs statiques de résistance à la charge hydrodynamique appliquée à la plage. Vérification des flèches maximales admissibles selon les conditions et les différents cas de figure d'application du chargement sur le profil (linéaire et non linéaire).
- Calculs des fréquences propres en eau de la plage à l'aide d'un logiciel de type ABAQUS afin de prendre en compte la masse ajoutée de l'eau pour vérifier les conditions définies dans le présent document.
- Calculs de fatigue et résistance de la plage en tenant compte des chargements cycliques et extrêmes sur 20 ans.
- Calcul de la porosité (taux de vide dû aux perçages sur la peau) globale de la plage. La détermination de la porosité globale reposera sur une approche itérative, basée sur le choix de la porosité locale (que composent les trous et leur répartition) en fonction du masquage structurel (jonctions, supports du caillebotis), afin d'obtenir la porosité globale finale. Le taux de porosité global final ainsi que le taux de masquage devront être indiqués dans le rapport.
- Calculs de résistance des ensembles et systèmes de fixation, de positionnement et de verrouillage, charnières et autres pièces fortement sollicitées.
- Calculs de résistance pour le levage lors de la manutention pour déterminer le placement et le dimensionnement des points de levage ainsi que la résistance de la plage selon les conditions de levage.
- Calculs des ensembles supports permettant la dépose en sécurité de la plage en attente sur le parvis afin de garantir un accès par le dessous pour inspection et maintenance dans le respect de la réglementation en vigueur en matière de santé et de sécurité au travail.

Les hypothèses de calcul, les modèles utilisés, les cas de charge et les critères de validation devront être explicitement justifiés dans le rapport.

Coefficients de sécurité :

Les différents coefficients de sécurité à appliquer seront déterminés par le titulaire. Certains concernent la sécurité du personnel et le levage, d'autres la résistance des ensembles à leurs conditions d'utilisation dans le bassin.

2.1.3.1. Procédure de qualification en charge et vérification des flèches

2.1.3.1. Procédure d'installation de la plage

Etablissement d'un protocole et trame de vérification de l'installation en discussion avec l'IFREMER pour la réception finale.

2.1.3.2. Procédure de mise en fonctionnement de la plage

- Manuel d'utilisation
- Spécifications techniques
- Plans de disposition générale

Etablissement d'un protocole de vérification et trame de mise en fonctionnement de la plage en discussion avec l'IFREMER pour la réception finale.

2.1.3.3. Procédure de maintenance

- Manuel et protocole de maintenance
- Tableau périodique de maintenance
- La liste des pièces consommables et d'usure avec description et détails des fournisseurs
- Plans de détails techniques permettant le remplacement des pièces d'usure

2.1.3.4. Procédure de démantèlement de l'ancienne plage

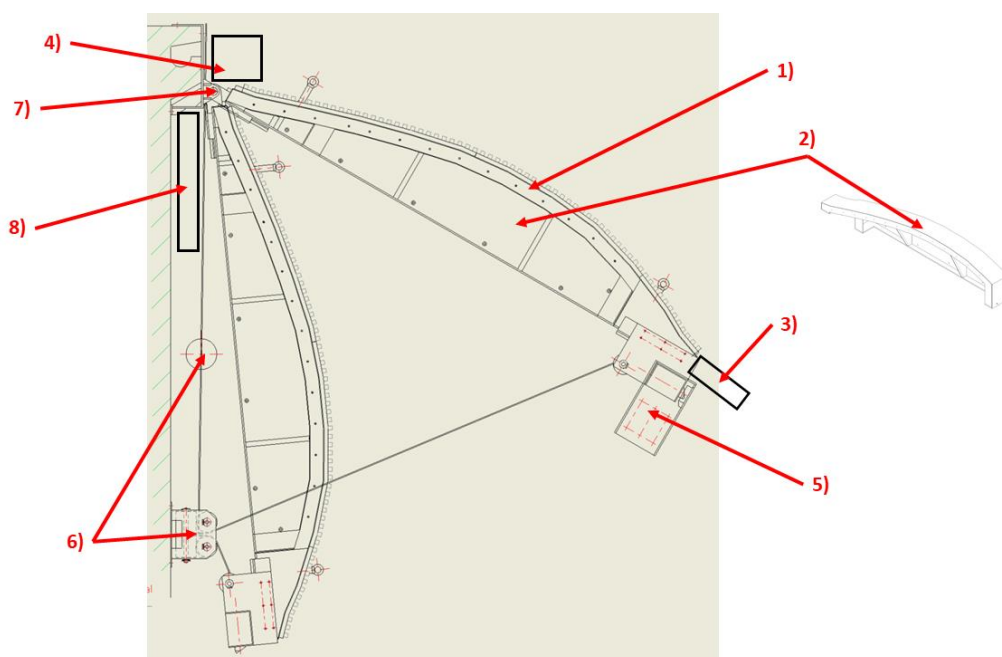
2.2. Réalisation de la plage d'amortissement et des éléments associés

La prestation demandée inclut la réalisation de la plage d'amortissement des vagues et des éléments associés à fournir dans les livrables, conformément aux préconisations définies dans le cadre de l'étude technique du titulaire et validées par l'IFREMER.

2.2.1. Détail des livrables matériels (plage et ensembles)

- 1) et 3) Plage d'amortissement des vagues (corps principal allongé d'environ un mètre dans la longueur par rapport à l'ancienne plage).
- 2) Ensembles modules latéraux complémentaires (à installer sur les côtés de la plage d'amortissement des vagues).
- 4) Ensembles module complémentaire anti-reflux des vagues avec blocs poreux et structure.
- 5) Ensembles des blocs de positionnement avec système de verrouillage.
- 6) Ensembles et système de repliement et de maintien en position de stockage.
- 7) Ensembles permettant la fixation sur le parvis et la rotation de la plage.
- 8) Ensembles anti-reflux des vagues sous l'eau avec blocs poreux et structure.
- 9) Ensembles supports pour la dépose et le stockage en sécurité de la plage sur le parvis du bassin afin de permettre un accès par le dessous pour inspection et maintenance.
- 10) Tous les accessoires utiles et nécessaires au levage pendant le déchargement, la mise en place et l'exploitation de la plage d'amortissement des vagues ainsi que les opérations de maintenance.

Schéma de principe donnant la représentation des livrables (sur la base des plans à titre indicatifs de la plage actuelle) :



2.3. Livraison et installation de la plage d'amortissement et des éléments associés

La prestation demandée inclut la livraison et l'installation de la plage d'amortissement des vagues et des éléments associés dans le bassin, ces opérations étant à la charge du titulaire.

Le titulaire devra prévoir l'utilisation d'une grue à bras télescopique pour les opérations d'installation, le pont de levage 19T pouvant être temporairement indisponible (maintenance). Le parvis intérieur présente également des limitations de charge ainsi qu'une zone à accès limité ; la grue devra donc opérer depuis le parvis extérieur, la porte du bassin devant être maintenue ouverte pendant les opérations.

Exemple de la livraison de la plage actuelle du bassin profond :



Horaires d'ouverture pour livraison et intervention au bassin :

Du lundi au jeudi 8h30h-12h30 – 13h30-18h00.

Vendredi 8h30h-12h30 – 13h30-16h30.

Adresse de livraison et de réalisation des travaux :

IFREMER

Bassin d'essais (bât 227)

1625 Rte de Sainte-Anne

29280 Plouzané

2.4. Démantèlement et retraitement de la plage d'amortissement existante

La prestation demandée inclut le démantèlement de la plage d'amortissement des vagues existante ainsi que tous ses éléments. Le titulaire en assurera l'évacuation et le retraitement.

2.5. Conditions de réception des études

2.5.1. Livraison du rapport d'étude de faisabilité

Ce rapport constituera le support de validation de l'étude de faisabilité.

2.5.2. Livraison du rapport d'exécution

Ce rapport constituera le support de validation de l'étude d'exécution. Il comprendra l'ensemble des documents associés, notamment les plans de fabrication et de montage, les notes de calcul, ainsi que les spécifications techniques et les procédures associées.

2.5.3. Livraison du rapport sur les notes de calcul

Ce rapport constituera le support de validation des notes de calcul.

2.6. Conditions de réception en usine et livrables

2.6.1. Livraison de l'ensemble des documents complets et définitifs

2.6.2. Conformité de la plage et de ses ensembles aux plans validés

2.6.3. Aspect général de la plage et qualité des finitions

2.6.4. Respect des données d'entrée et des tolérances définies dans le tableau récapitulatif en section 4.4.1

2.6.5. Qualité et conformité des matériaux, protection contre la corrosion

Les matériaux sélectionnés doivent être conformes à ceux établis et validés lors de l'étude. Ils devront être durables dans le temps dans les conditions particulières du bassin d'essais, soit par leurs propriétés intrinsèques, soit par les protections mises en œuvre, garantissant la protection contre la corrosion et le vieillissement.

2.6.6. Rapport d'épreuve en charge et vérification des flèches

Les résultats et certificats relatifs aux vérifications des flèches et aux épreuves en charge (reproduisant une configuration similaire aux points de fixation futurs), réalisés par le titulaire avant la livraison au bassin, devront figurer dans un rapport détaillant chaque étape de vérification, comprenant :

- 1) Epreuve de la plage en position horizontale (sans chargement et en air) pour vérifier les flèches maximales admissibles sous son propre poids.
- 2) Epreuve de la plage en position horizontale (avec chargement et en air) pour vérifier les flèches maximales admissibles sous charge maximale équivalente (charge hydrodynamique, simulée par des sacs de sable ou dispositifs équivalents).
- 3) Epreuve des ensembles supports permettant la dépose en sécurité de la plage sur le parvis afin de permettre un accès par le dessous pour inspection et maintenance, **avec certificat d'épreuve et plaques signalétiques appliquées sur ces derniers.**
- 4) Epreuve de levage de la plage.

2.6.7. Visite IFREMER

2.6.8. Livraison d'un Dossier des Ouvrages Exécutés (DOE) - réception usine DOE-1

2.7. Conditions de réception au bassin et livrables

Le titulaire devra être présent sur le site IFREMER pour l'ensemble des points ci-dessous.

2.7.1. Démantèlement de l'ancienne plage

2.7.2. Livraison de la plage et de ses ensembles

2.7.3. Installation de la plage et de tous ses éléments associés

2.7.4. Respect des données d'entrée et des tolérances

Voir tableau récapitulatif en 4.4.1

2.7.5. Propreté de la pose et de l'installation in situ

2.7.6. Positionnement de la plage et de l'ensemble de ses éléments dans le bassin

2.7.7. Fonctionnement de la cinématique du système et de ses éléments

2.7.8. Comportement et tenue de la plage sous sollicitations hydrodynamiques, incluant des cycles longs et des vagues extrêmes

2.7.9. Livraison de la procédure de maintenance définitive

2.7.10. Livraison d'un Dossier des Ouvrages Exécutés (DOE) - réception bassin DOE-2

2.8. Maintenance

Conformément aux dispositions définies dans le rapport technique, la procédure de maintenance et les documents associés, le titulaire devra assurer la maintenance de la plage d'amortissement des vagues et de ses éléments pendant toute la durée de validité de l'accord-cadre, afin d'en garantir le bon fonctionnement.

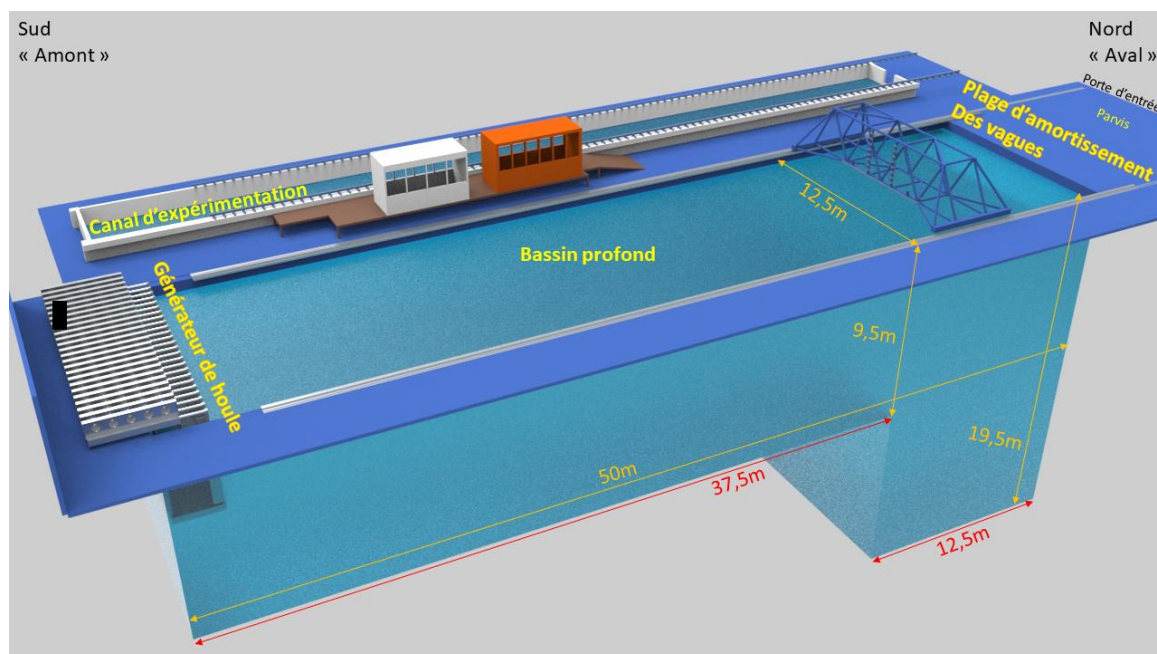
À ce titre, il est attendu du titulaire :

- D'assurer la maintenance curative et préventive complète de la plage, de ses éléments et de ses sous-ensembles dans le cadre d'un contrat de maintenance, incluant le réglage, le dépannage ainsi que le remplacement des pièces, des ensembles et des pièces d'usure. La dépose de la plage seule sur le parvis du bassin relève de la compétence de l'équipe IFREMER.
- D'intervenir en cas d'avarie ou de casse dans un délai maximal de trois semaines.
- De garantir la disponibilité des pièces de rechange dans le commerce pendant une durée minimale de dix ans.
- D'assurer les réparations des éléments en composite.

3. Description de l'installation existante

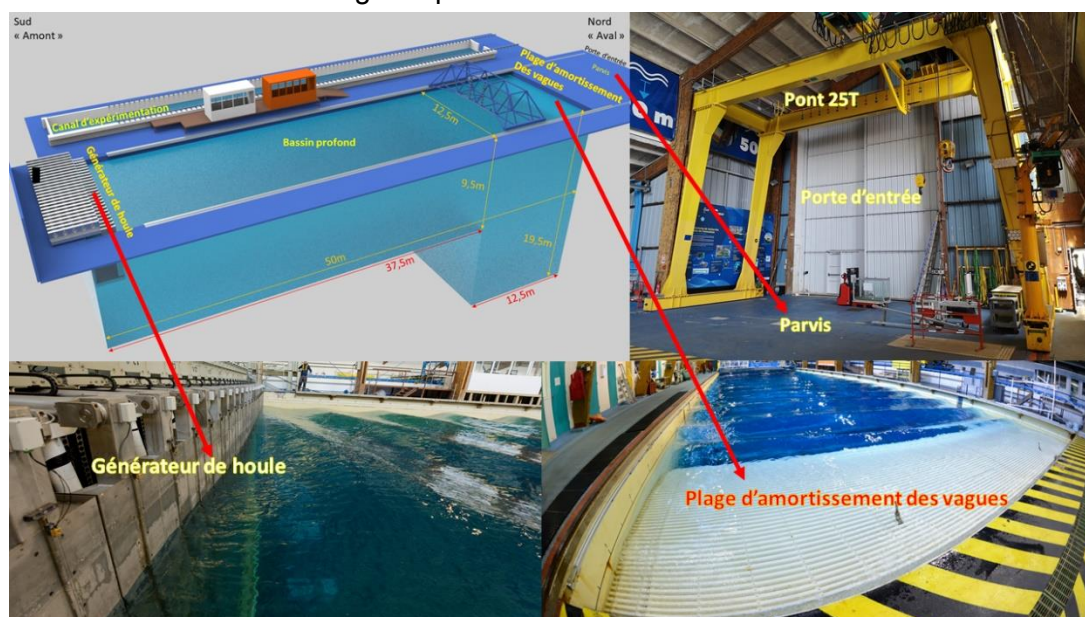
Le bassin profond de l'IFREMER est situé sur le centre de Bretagne à Plouzané. Il est destiné aux activités de recherche menées par l'IFREMER et ses partenaires, notamment dans les domaines de l'hydrodynamique, du développement d'instrumentation océanographique et de l'acoustique sous-marine.

3.1. Le bassin profond



Le bassin profond de l'IFREMER a été creusé à même le sol et est délimité par des parois verticales et un fond, en béton armé précontraint recouverts de toile imprégnée (liner). Il est hébergé dans un bâtiment clos incluant également bureaux et locaux techniques. D'une longueur de 50 m pour une largeur de 12.5 m, il a une profondeur nominale (niveau d'eau pour essais en présence de houle) de 9.50 m sur les trois quarts de sa longueur (37.50 m) et une profondeur de 19.5 m sur le dernier quart (12.50 m).

Le bassin est rempli d'eau de mer, chlorée avec un ajout de floculant, et filtrée en continu par circulation à travers de filtres à sable. Les entrées et sorties d'eau de ce circuit de filtration sont situées le long des parois "amont" et "aval" du bassin.



Le bassin est équipé d'un générateur de vagues à son extrémité « amont » et d'une plage d'amortissement des vagues à son extrémité « aval ». Il est également enjambé par une passerelle motorisée et une passerelle remorquable, ainsi que par un portique de manutention de 19 tonnes de capacité et un portique de manutention de 5 tonnes de capacité. Les portiques roulants se déplacent sur des rails dédiés de type « chemin de fer » situés à l'est et à l'ouest du bassin. Les passerelles roulent sur des rails dédiés, rectifiés, situés à l'est et à l'ouest à la limite supérieure du bassin et empiétant légèrement sur celle-ci. Une soufflerie mobile peut venir se positionner sous le pont de 5 tonnes, ainsi que sur le bord du parvis où est fixée la plage.

Les rails des portiques roulants sont déployés depuis le « parvis » en aval du bassin jusqu'à une position en amont du bassin.

Les chemins de roulement des passerelles sont déployés depuis le « parvis » en aval du bassin jusqu'au générateur de houle.



3.1.1. Environnement, contraintes et limitations

- Le personnel IFREMER est formé à la manutention ; des plongeurs de l'IFREMER peuvent aider à l'installation des équipements ; un pont de 19T avec plusieurs crochets et une potence sert à l'installation des équipements sans restriction de déplacement et d'accès à la fosse tant que le bassin est plein. Un pont secondaire de 5T peut être déployé sur les mêmes rails de roulement mais ne peut pas croiser le pont de 19T.
- Le bassin peut être en partie vidangé pour la réalisation de l'installation, excepté le fond de la fosse profonde. Dans ce cas, l'accès au-dessus de la fosse où se positionne la plage est restreint pour le pont 19T mais peut se faire avec le pont de 5T.
- La présence de rails déportés légèrement au-dessus du bassin (rail en U et chemin de roulement des passerelles) peut contraindre la mise en place de la plage. La présence d'un gros tuyau de filtration est à signaler, ainsi que d'une goulotte de trop-plein, d'un décrochement de la maçonnerie sous cette goulotte, et de hublots d'observation sur toute la hauteur de la fosse de 20 m (voir plans à titre indicatif).

- Une nacelle de travail suspendue au pont peut être déployée (avec dérogation spéciale pour notre site et sous réserve d'autorisation) afin de réaliser des travaux le long des parois à l'intérieur du bassin, ainsi qu'un ponton flottant.
- Les parois du bassin sont réalisées en béton précontraint et la maçonnerie peut présenter des défauts (perpendicularité, planéité, états des surfaces etc.). A noter également une déflexion des parois bassin vide et un retour à une surface plane sous l'effet de la pression hydrostatique lorsque le bassin est rempli (principalement côté Est présentant un vide derrière la paroi pour les galeries d'accès), voir section 4.4.3.
- Les parois du bassin sont en béton armé précontraint avec présence de ferrailage de 20 mm, revêtues de toile imprégnée vieillissante (liner). Une photo de carottage réalisé dans le béton en partie Sud (Amont) du côté du générateur de houle est disponible ainsi que les carottes. Des précautions sont à prendre sur le Liner notamment pour garantir l'étanchéité ainsi que la fixation précise d'éléments en paroi ou sur le parvis. Les perçages devront donc probablement se faire en favorisant le carottage (puis avec l'utilisation de scellements chimiques de qualité), en évitant les simples perçages. Les perçages devront être effectués de façon à respecter l'intégrité de l'armature acier et des câbles de précontrainte noyés dans le béton. A noter aussi la présence d'anciens scellements de fixation (avec des tiges) des installations précédentes auxquels il faudra s'adapter.

D'une manière générale et d'expérience, les contraintes et difficultés d'installation ne doivent pas être sous-estimées pour une mise en place précise et optimale des éléments, leur réglage, l'étanchéité etc.

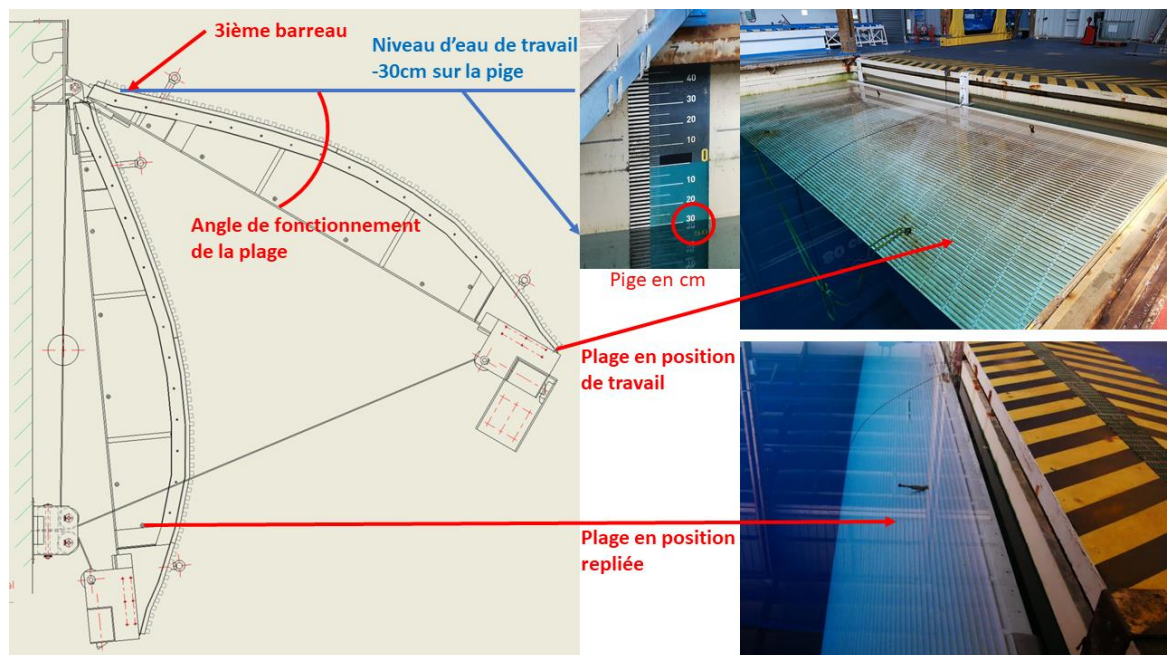
Pour cela, il est demandé la visite du titulaire et de ses sous-traitants pour la partie installation avec des références de chantiers.

- Le bassin est rempli d'eau de mer, à température ambiante, chlorée avec ajout de flocculant pour la filtration de l'eau pour éviter le biofouling, avec les caractéristiques suivantes pH: 7.5 - 8.5, salinité: 35 g/L, chlore libre: 2 - 3 mg/L, température 16 °C. A noter l'exposition à la lumière du jour du bassin.
- Les durées de remplissage en eau de mer et de vidange du bassin prennent plusieurs jours pour chaque étape. Pour y avoir recours cela doit être planifié à l'avance par le titulaire avec l'équipe IFREMER.
- Les aspects de corrosion et de vieillissement des matériaux sont critiques et absolument à prendre en compte dans la conception, la réalisation et l'installation, les effets électrochimiques dans l'eau de mer ou en air salin étant aggravés sur les matériaux et entre eux. Tout élément de visserie, tige scellée etc. doit être à minima en inox A4-70 ou BUMAX. Certains gros éléments en acier peuvent être protégés par galvanisation à chaud et peints (RAL à définir), en plus d'une protection par anodes sacrificielles. Les éléments en inox (à minima 316L, super duplex, etc.) sont aussi à protéger par anodes sacrificielles sans contraindre l'utilisation. D'une manière générale, une certaine logique entre les couples électrochimiques doit être observée.

3.2. Plage d'amortissement des vagues actuellement en place

La plage d'amortissement des vagues est positionnée à l'extrémité « aval » du bassin. Elle est constituée d'un profil courbe réalisé en matériau composite en fibre de verre perforé, recouvert d'un caillebotis en polyéthylène (PE). Plusieurs modules assemblés composent la totalité de la plage, comprenant la plage principale et ses deux modules latéraux ainsi que le système de verrouillage par tétons.

Occupant presque toute la largeur du bassin, elle pèse aux alentours de 5 à 6 tonnes et présente une flottabilité légèrement négative en eau de mer. Sa largeur est d'environ 12 465 mm et sa longueur d'environ 5 230 mm. Elle est maintenue par trois charnières sur des équerres fixées sur le bord de la paroi « aval » du bassin. Ces charnières permettent de la positionner verticalement le long de la paroi « aval » en mode stockage et de la positionner en incidence, affleurant la surface, dans les phases opérationnelles (niveau d'eau arrivant sur la troisième rangée du haut du caillebotis). Dans ce dernier cas, des blocs de verrouillage situés le long des parois latérales sous l'eau maintiennent la plage en place grâce à un système mécanique permettant l'entrée et la sortie des tétons de la plage en tirant au pont sur un câble actionneur. Des renvois d'angle sont aussi présents sur la paroi « aval » sous la plage, permettant le passage optimal du câble actionneur. L'angle de travail actuel de la plage, permettant une absorption optimale de l'ancienne gamme de houle générée, est de 30° sous la surface de l'eau, lorsque celle-ci est au niveau -30 cm sur la puge de niveau d'eau.



3.2.1. Avantages

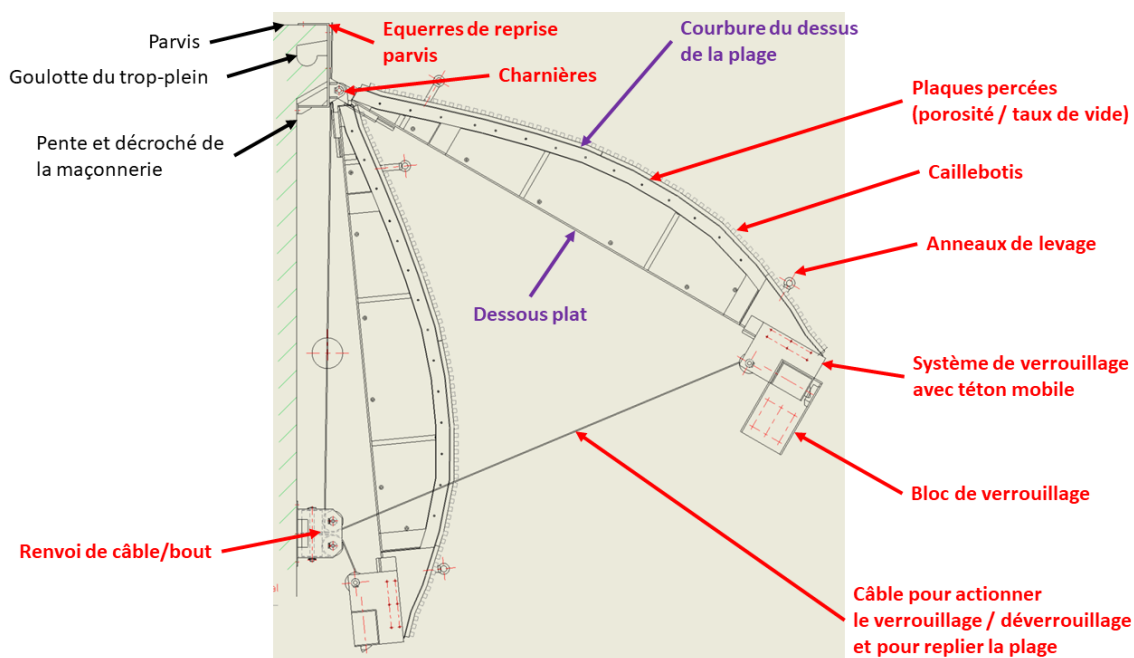
Avec les matériaux actuels et le traitement de l'eau, le « biofouling » (colonisation biologique des algues) n'est pas un problème. Le nettoyage très épisodique (une fois tous les cinq ans environ) par jet d'eau sous pression suffit (Kärcher).

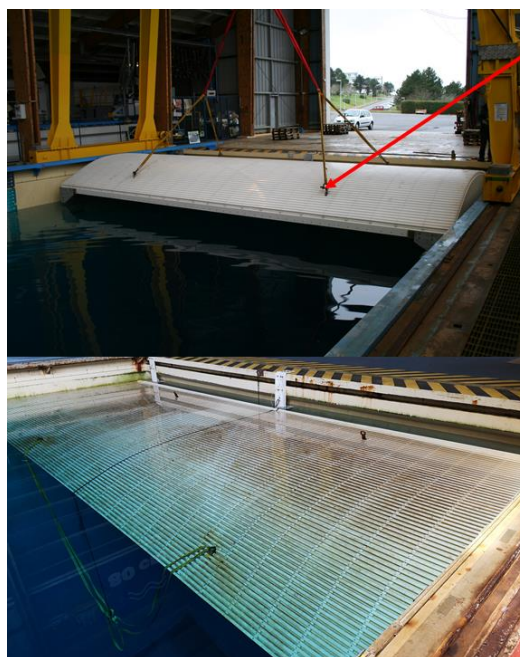
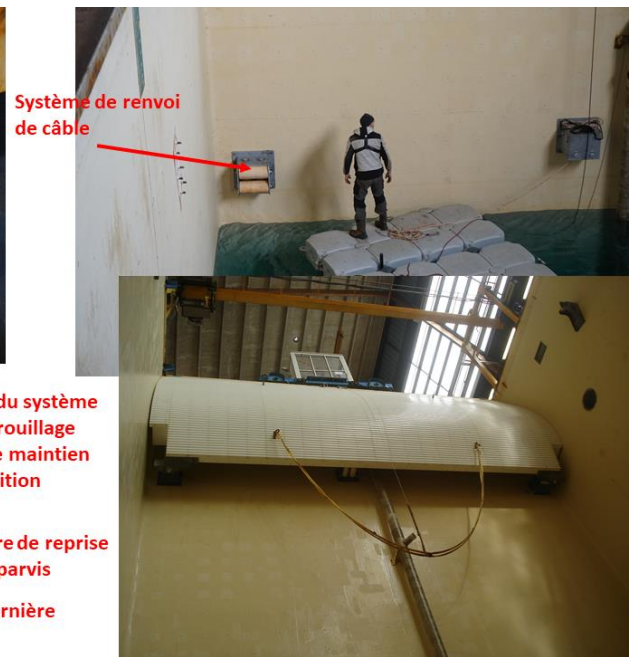
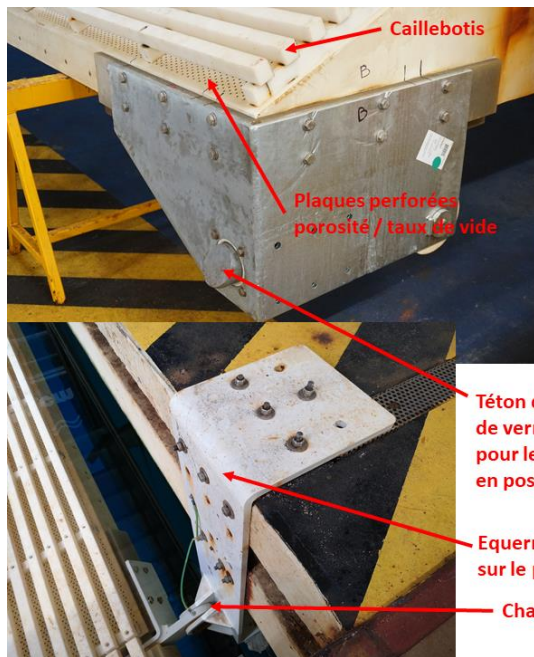
Les aspects de corrosion sont aussi évités, grâce à la plage en composite, ce qui constitue un avantage dans le contexte du bassin rempli en eau de mer chlorée. En outre, elle vieillit très bien en eau de mer, et son poids reste raisonnable au regard de sa taille, du fait du composite et des autres matériaux à faible densité qui la composent.

Les blocs de verrouillage existants en acier galvanisé à chaud présentent une bonne tenue à la corrosion dans le temps.

De manière générale, la conception de la plage actuelle est plutôt satisfaisante, à l'exception du dimensionnement structurel, qui doit être revu, ainsi que du système de verrouillage, qui nécessite une évolution.

3.2.2. Détails et fonctionnement

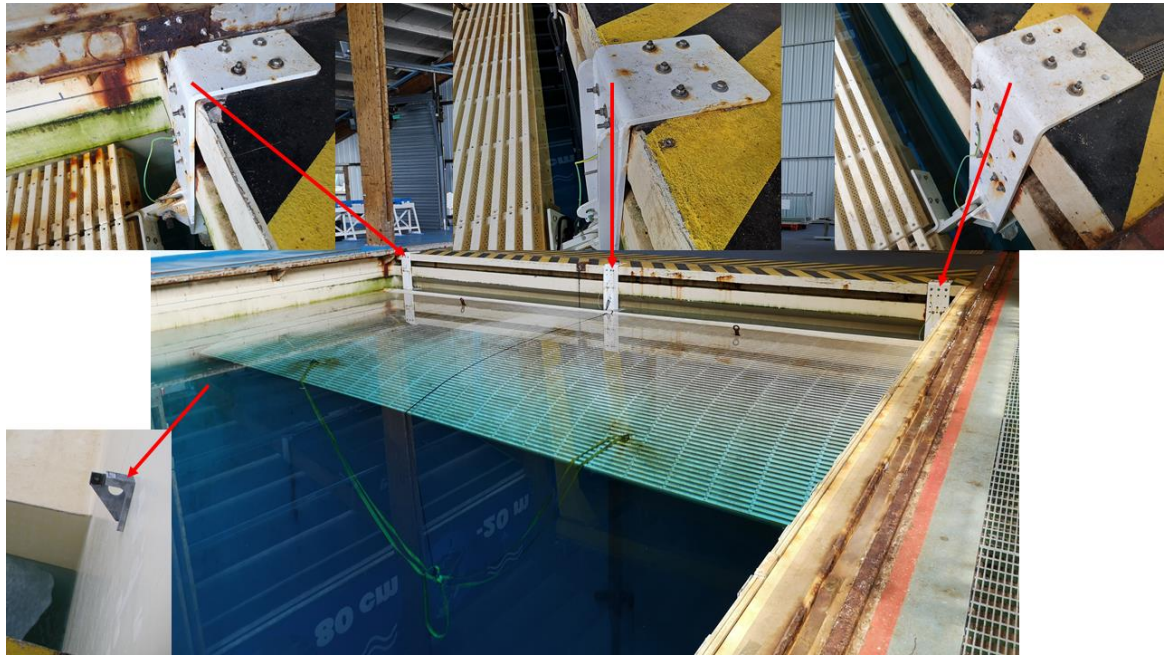




4 anneaux de levage permanents

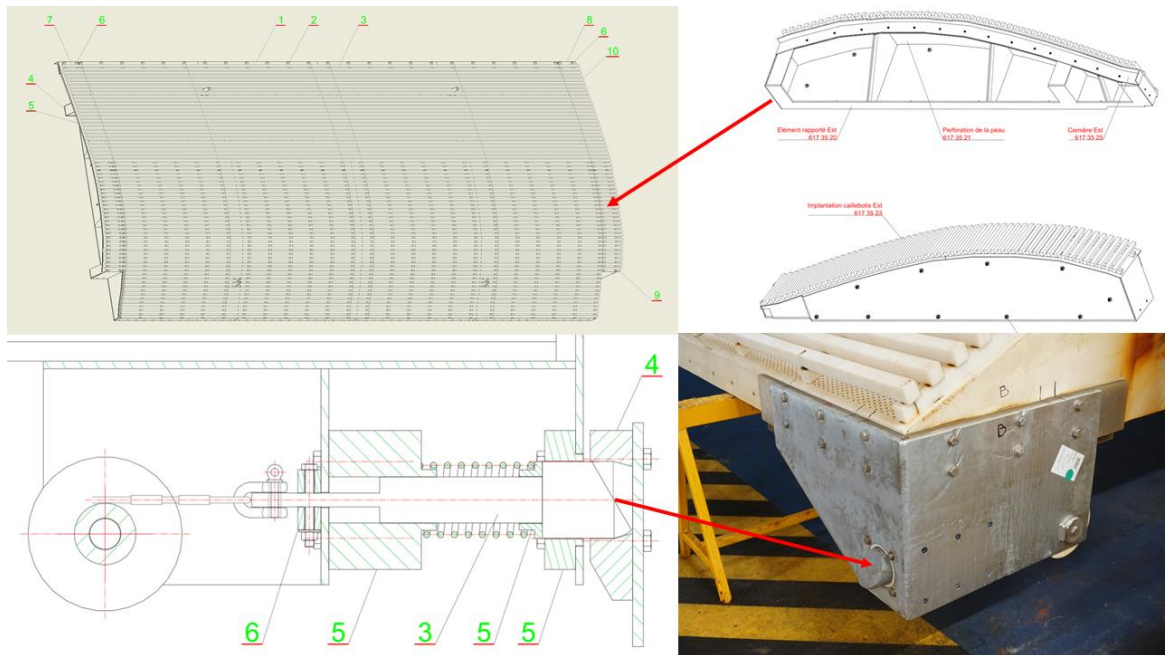
2 blocs de verrouillage pour le positionnement de la plage au bon angle



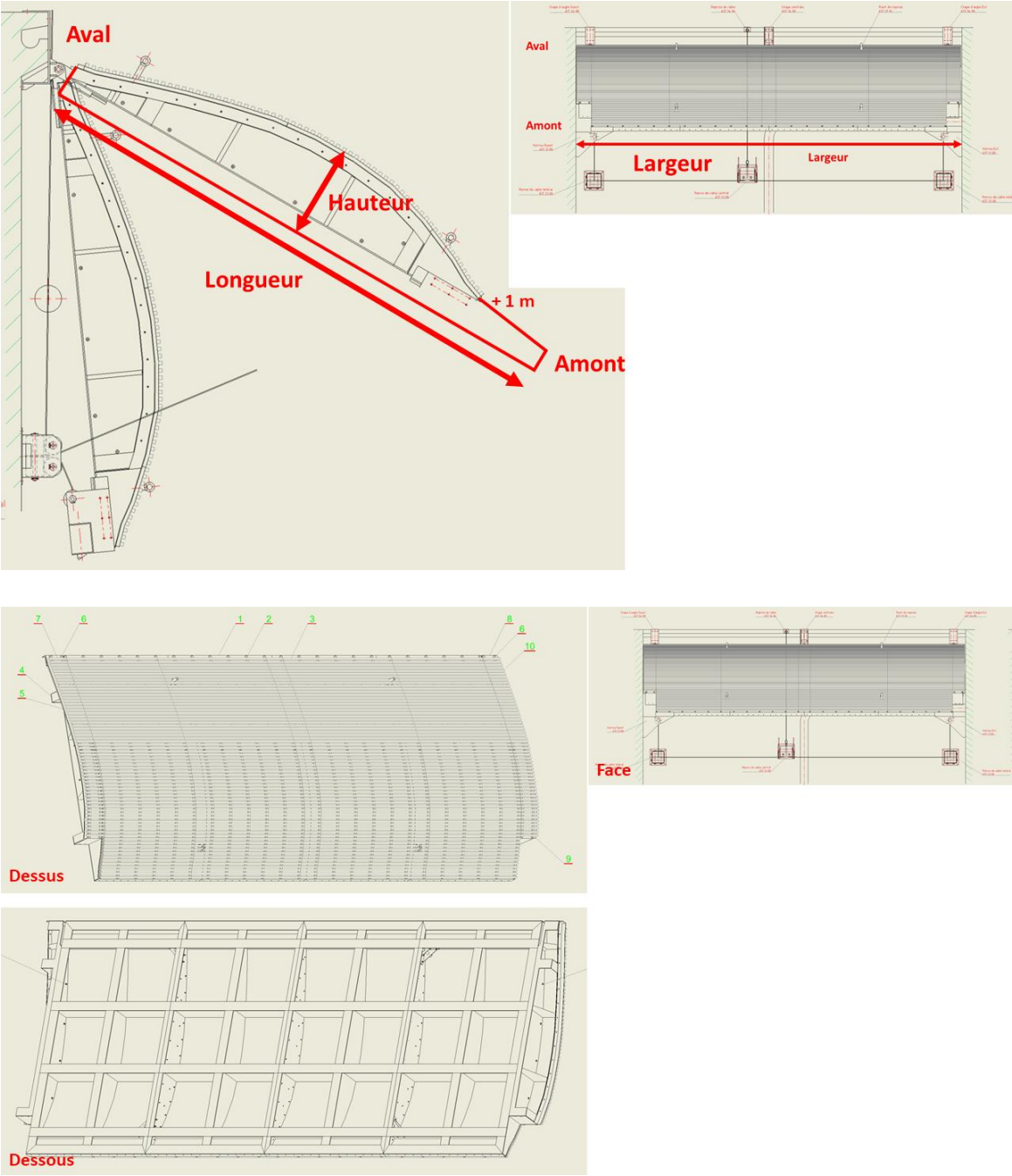


3.2.3. Détails des modules latéraux

Les modules démontables composant la plage permettent son assemblage final en eau, afin de pouvoir se positionner au plus près des parois pour amortir les vagues sur la plus grande largeur du bassin possible. Cette méthode facilite également le passage de la plage lors de l'installation, les rails déportés au-dessus du bassin réduisant la largeur d'accès. Une fois assemblés, ces modules n'empêchent pas le fonctionnement et la rotation de la plage pour sa mise en place. La fixation de ces modules sur la plage se fait actuellement par intervention de plongeurs.



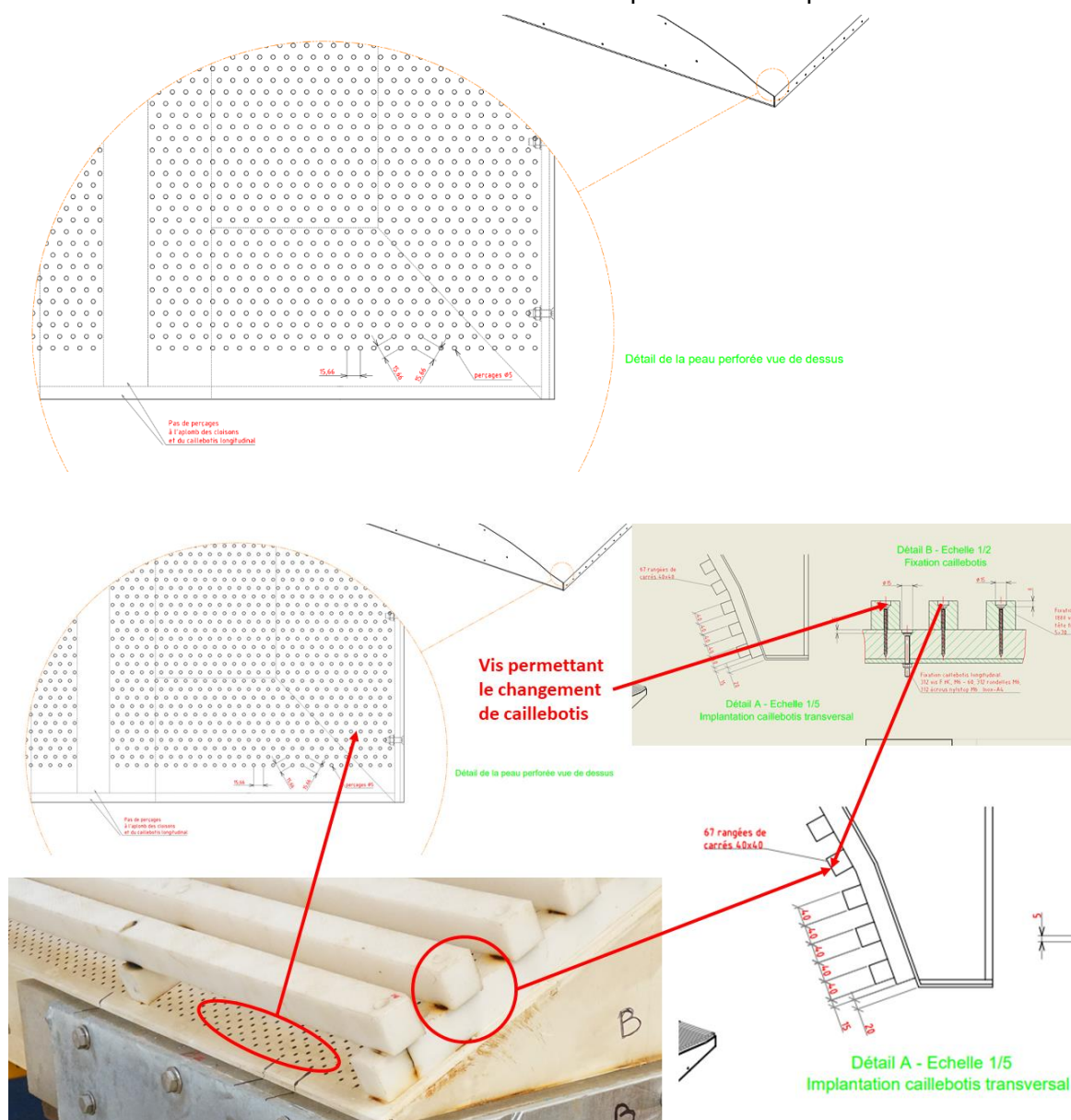
3.2.4. Documentation et plans (à titre indicatif)



3.2.5. Porosité (taux de vide) de la plage existante et caillebotis

Le taux de porosité (ou taux de vide) local des plaques perforées existantes en composite en fibre de verre est de 9 %, sans prise en compte du masquage des divers éléments. Il est réduit à une valeur globale proche de 8 % en tenant compte du masquage des divers éléments sur toute la plage (poutres structurales, caillebotis mis à part). A noter que les trous s'arrêtent à la limite de la structure de la plage afin de ne pas fragiliser celle-ci.

La porosité de la plage, ou taux de vide, est obtenue par la répartition de plusieurs centaines de milliers de trous sur toute la surface supérieure de la plage (côté courbure, sous le caillebotis), d'un diamètre 5 mm et de 15.6 mm d'entraxe et disposés selon un maillage triangulaire. De plus, à l'époque tous ces perçages ont été réalisés manuellement avec une certaine consommation de forets due à l'abrasion sur la fibre de verre. L'épaisseur de la paroi perforée en composite est de 6 mm. Le rapport épaisseur/diamètre des trous, paramètre déterminant pour le fonctionnement de la plage, est défini tel que : $D^2/e = 4.5 \text{ mm}$. D étant le diamètre des trous et e l'épaisseur de la paroi.



Le caillebotis, qui participe aussi à l'absorption des vagues, est composé de 67 rangées de carrés en polyéthylène (PE) sur toute la largeur de la plage, de 40 * 40mm espacés tous les 40mm, qui peuvent être remplacés grâce à des vis accessibles par le dessus. Le caillebotis supporte le poids d'un homme pour intervention sur la plage.

4. Caractéristiques de la nouvelle plage

Sur la base de la plage existante telle que décrite précédemment, dont la nouvelle plage d'amortissement des vagues devra en partie reprendre les caractéristiques, les objectifs principaux étant les suivants :

- Améliorer l'absorption des vagues en l'adaptant à la gamme de houle produite par le nouveau générateur de houle.
- Disposer d'une plage plus robuste, capable de résister aux vagues plus importantes du nouveau générateur de houle.
- Améliorer le fonctionnement, l'exploitation et l'ergonomie autour de la plage.

La proposition du titulaire devra préciser :

- Les caractéristiques principales de la plage d'amortissement des vagues.
- Les choix de conception mécanique.
- Les choix des matériaux.
- Le dimensionnement de la structure et de ses fixations.
- La tenue aux chargements cycliques et extrêmes pour une période de 20 ans.

Ces éléments devront permettre de répondre aux exigences décrites dans les paragraphes ci-après, en tenant compte de tout ce qui a été indiqué précédemment.

4.1. Problématiques à résoudre et points d'amélioration

La solution proposée devra prendre en compte les différents points d'amélioration.

4.1.1. Structure de la plage

La plage actuelle est entièrement conçue en composite, tant pour sa structure porteuse que pour sa partie absorbante (peau perforée).

Cependant, la nouvelle plage pourra être réalisée avec une structure porteuse métallique et recouverte de composite (peau perforée), si le titulaire juge cette solution plus adaptée et pérenne, sous réserve de garantir sa tenue à la corrosion.

4.1.2. Fragilité de la plage

- Si la structure porteuse est réalisée en composite, le dimensionnement de la poutre de la plage (et sa zone élargie) où sont reprises les charnières (poutre où a été constatée une fragilité) devra être majoré.
- Veiller au bon dimensionnement et au nombre de boulons repris sur les interfaces composites, ainsi qu'au renfort au niveau du passage de boulons ou de vis sur ces jonctions.
- De manière générale, le dimensionnement de la structure doit faire en sorte qu'elle résiste aux sollicitations cycliques et extrêmes plus importantes, induites par le nouveau générateur de vagues.
- Renforcer les éventuelles zones où d'autres fragilités non visibles pourraient potentiellement être présentes.
- Veiller au bon dimensionnement des équerres et des charnières.

- Malgré la porosité locale, le matériau dans lequel les trous seront présents (surface supérieure de la plage) ne devra pas se déformer au-delà de la tolérance indiquée en 4.4.1 (critère de flèche pour les sections de paroi poreuse) sous la pression et l'effet de pompage des vagues (garantir une rigidité suffisante).
- La plage ne doit pas présenter de torsion ou de précontrainte, que ce soit à vide avant montage/installation sur site (voir flèches maximums autorisées) ou en position dans le bassin. La planéité de la surface courbe poreuse doit être maîtrisée.
- Que ce soit sur la structure de la plage, la surface supérieure poreuse, le caillebotis et autres éléments, la nouvelle plage ne doit pas présenter de déformation anormale sous les efforts induits par les vagues extrêmes lors des essais, en dehors des tolérances de flèches maximales.

4.1.3. Blocs de positionnement et de verrouillage à revoir

Il est demandé de concevoir de nouveaux blocs de positionnement intégrant le système permettant le verrouillage de la plage de façon plus simple et plus pratique :

- Ces blocs permettront de positionner la plage dans le bassin au bon angle de travail pour amortir les vagues de façon optimale.
- Ces blocs seront placés à l'extrémité amont immergée de la plage (le long du bord d'attaque) et situés sous l'eau, fixés sur les parois latérales du bassin.
- Le système mécanique de verrouillage sera inclus si possible dans les blocs de positionnement et non plus dans la plage.
- Les blocs et le système mécanique devront être robustes et ne nécessitant pas d'entretien particulier, étant positionnés sous l'eau, et pouvoir être démontables.
- **Le système devra être automatique pour le verrouillage lors de la mise en position avec le crochet de 1.25 T, et ne devra pas pouvoir se déverrouiller spontanément sous les efforts induits par les vagues ou le poids de la plage en air.**
- La plage ne devra pas présenter de battement dans le système mécanique sous les efforts induits par les vagues une fois le verrouillage effectué (réglage de butée éventuel etc.).
- Le déverrouillage devra pouvoir se faire sur chaque bloc, par exemple en tirant un bout (cordage) depuis la surface par un opérateur, et rester déverrouillé jusqu'à la prochaine mise en position de la plage. Le bout restera en place et accroché sur le bord du bassin. Prévoir les taquets ou autres dispositifs équivalents pour le maintien des bouts sans interférer avec les rails et autres.
- Une option de verrouillage manuel avec un plongeur doit aussi être complémentaire au système de verrouillage automatique dans le cas où ce dernier serait temporairement dysfonctionnel en attendant sa remise en état. Par exemple un axe de bridage.
- Avec ce système, le câble actionneur actuel et ses renvois d'angle seront supprimés, sauf pour le maintien en position de stockage contre le mur « aval » où un renvoi d'angle central pourra être réutilisé, s'il est fonctionnel, en bon état et adapté. Dans le cas contraire, il faudra concevoir et développer un nouveau système.
- **En position de stockage et en position de travail, le système devra aussi pouvoir supporter le poids de la plage en air. En effet, il est possible que le bassin soit vidé avec la plage laissée en position de travail sur les blocs de verrouillage ou en position de stockage.**

En eau, le système devra supporter le chargement hydrodynamique F_{max} équivalente avec un coefficient de sécurité déterminé par le titulaire.

- Le positionnement de la plage doit garantir son horizontalité sur toute la largeur du bassin ainsi que sa planéité au niveau de la surface courbe poreuse supérieure. Le positionnement ne devra pas induire de précontrainte de torsion.

A noter que lors de la mise en position avec le crochet 1.25 T, l'utilisateur une fois arrivé en butée, peut potentiellement continuer à exercer un effort de traction avec le crochet le temps de réagir et d'arrêter le pont :

- Le système de butée doit prévoir une résistance suffisante pour pallier ce phénomène et pourra intégrer un indicateur visuel mécanique permettant d'indiquer l'arrêt de la traction.

La fixation des éléments sur la maçonnerie et les éventuelles erreurs de calage peuvent induire des décalages, des frottements ou des jeux trop importants, et donc influencer sur la qualité du fonctionnement global. Il est recommandé de prévoir des calages réglables ou autres dispositifs équivalents, des gabarits de perçage etc. notamment afin d'obtenir la mise en position optimale de la plage et d'éviter l'usure prématurée de certaines pièces.

Des solutions techniques seront proposées et discutées par le titulaire du marché lors des réunions de conception.

4.1.4. Absorber les vagues qui déferlent contre le mur « aval » en surface (Ensembles module complémentaire anti-reflux des vagues)

Un système modulaire support contenant des blocs poreux (PWA blocks) NC20-48TOR de chez Zenit Technologies (ou équivalent) devra être conçu, de manière optimale du point de vue hydrodynamique (peu de surface de châssis apparente face aux vagues). Il aura pour objectif d'absorber les vagues déferlantes qui ne sont pas totalement amorties par la plage afin d'éviter qu'elles n'impactent le mur et ne soient réfléchies, ainsi que de limiter les éclaboussures sur le parvis.

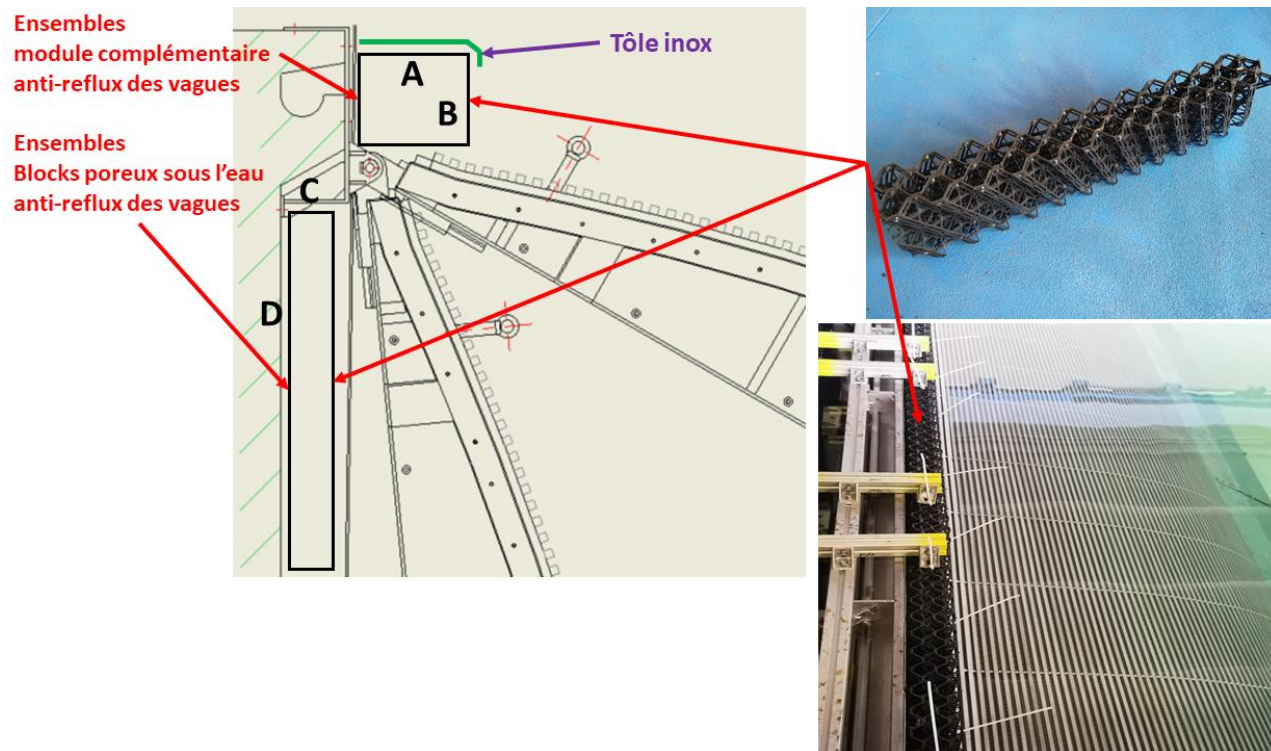
Il viendra se reprendre sur les points de fixation sur le parvis (équerres) ou sur le bâti, et ne devra ni gêner ni contraindre la mobilité de la plage. Il devra être installé sur toute la largeur de la plage (il pourra être en plusieurs parties), et démontable.

Ce système modulaire de blocs poreux ira des dernières rangées de barreaux du caillebotis (affleurant), ou placés en arrière de ceux-ci, jusqu'au muret. Si possible incluant la zone immergée entre l'arrière de la plage et le mur, la profondeur d'immersion sera à préciser dans ce cas. En hauteur, il remontera jusqu'au niveau bas de la goulotte de trop-plein afin de ne pas empêcher l'écroulement de la surface d'eau du bassin.

Le système sera recouvert sur le dessus d'une tôle en inox et celle-ci sera munie d'un dispositif antidérapant, avec un rebord extérieur courbé vers le bas (faisant face aux vagues).

Cet élément aura pour objectif principal d'empêcher les éclaboussures d'eau de monter plus haut. La plaque (ainsi que la structure) devra être suffisamment résistante pour supporter le poids d'un opérateur circulant dessus si cela est compatible avec les contraintes de dimensionnement et l'intégration. De plus, le bord recourbé servira à reprendre les frottements d'une embarcation légère en plastique lors des manipulations de mise ou de sortie d'eau de cette dernière.

Aucun plan de ce système n'existe à ce jour, il sera à développer entièrement. Des solutions techniques seront proposées par le titulaire du marché et par l'équipe IFREMER puis discutées lors des réunions de conception. Quelques essais préliminaires ont toutefois été réalisés par l'IFREMER sur une maquette afin d'orienter les premières études.



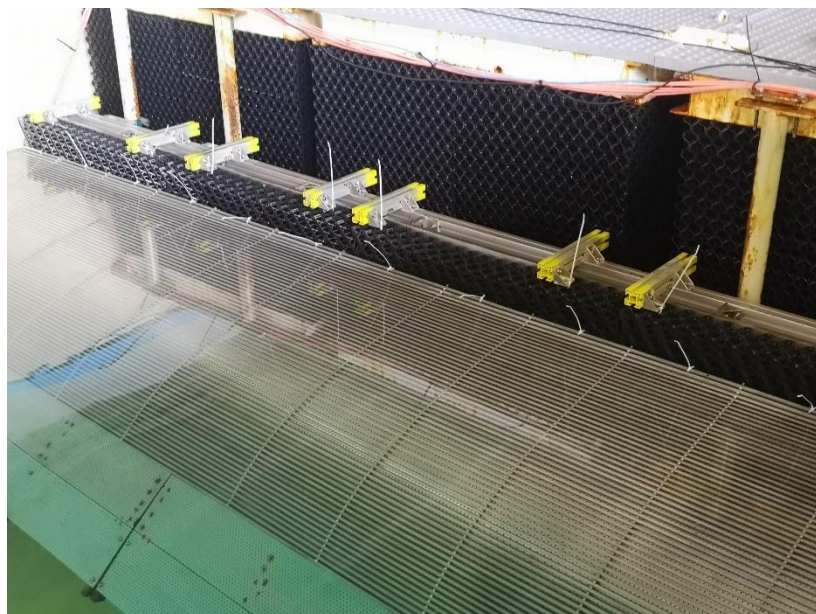
Dimensions approximatives « Ensembles module complémentaire anti-reflux des vagues »

A (longueur)= 400 à 800 mm environ

B (hauteur) = 600 mm environ

Largeur= toute la largeur de la plage (et du bassin)

Essais de la méthode anti-reflux des vagues avec des blocks poreux entre le derrière de la plage et le muret, sur une maquette instrumentée de la plage, pour valider l'effet sur le taux de réflexion dans le canal.

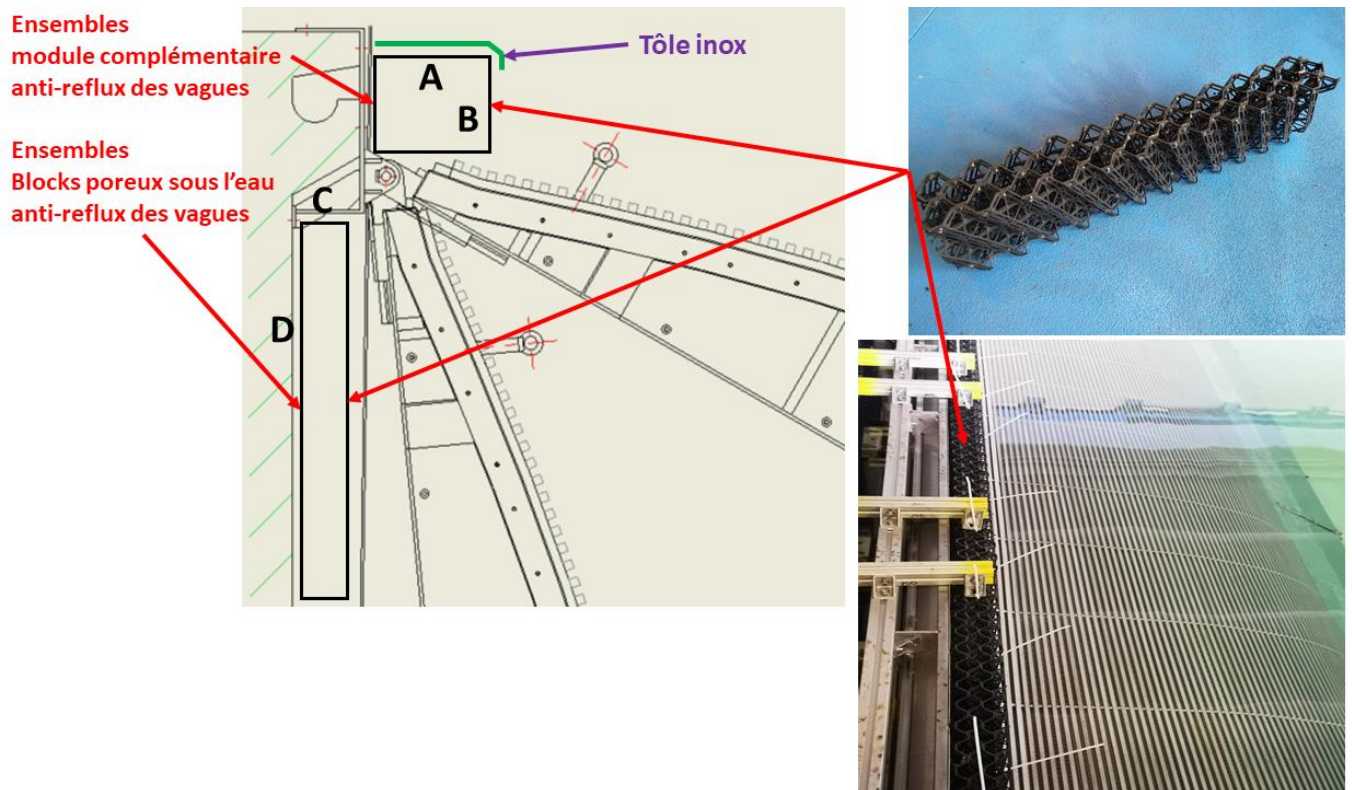


4.1.5. Minimiser la réflexion des vagues contre le mur « aval » sous la plage (Ensembles de blocs poreux sous l'eau anti-reflux des vagues)

Un châssis support contenant des blocs poreux (PWA blocks) NC20-48TOR de chez Zenit Technologies (ou équivalent) devra être conçu, de manière optimale du point de vue hydrodynamique (peu de surface de châssis apparente face aux vagues). Il aura pour objectif d'absorber les vagues qui ne sont pas totalement amorties par la plage afin d'éviter leur réflexion sur le mur.

Il viendra se reprendre sur le bâti sous l'eau, sous le décroché du muret, et ne devra ni gêner ni contraindre la mobilité de la plage, notamment en position de stockage entre le dessous de la plage et le mur. Si nécessaire, des passages seront prévus dans le châssis ou dans les blocs poreux afin de permettre le passage des éléments du système de positionnement (câble, notamment).

Il devra être installé sur toute la largeur du bassin (éventuellement en plusieurs parties).



Dimensions approximatives « Ensembles blocks poreux sous l'eau anti-reflux des vagues »

C (longueur)= 300 mm environ

D (hauteur) = 2000 mm environ

Largeur= toute la largeur du bassin

4.1.6. Encastrement des équerres dans le parvis (ensembles permettant la fixation parvis et la rotation de la plage)

Si le même système de reprise sur le bord du parvis par l'intermédiaire d'équerres est retenu, le titulaire devra veiller à ce que les plaques et la boulonnerie ne dépassent pas de la surface du parvis (prévoir une réserve dans le béton par exemple) afin de ne pas gêner le passage de la soufflerie mobile. En cas de cavité résiduelle, celle-ci devra être comblée de manière soignée par une résine présentant une résistance adaptée à l'usure et aux charges, de type époxy pour avoir une surface plane et continue.



4.1.7. Pouvoir positionner la plage à son angle de travail avec le crochet 1.25 T du pont

La plage devra pouvoir être mise en position de travail en eau, à l'aide du crochet de 1,25 T du pont, et se verrouiller automatiquement au bon angle grâce aux blocs de positionnement et de verrouillage.

Un opérateur interviendra depuis une embarcation afin de détacher, si nécessaire, l'élingage du crochet ; toutefois, cette opération devra être évitée dans la mesure du possible.

L'élingage restera en place, immergé dans le bassin, et sera récupéré à l'aide d'un bout, comme c'est le cas actuellement.

4.1.8. Augmenter la longueur de la plage

La plage sera allongée d'environ un mètre supplémentaire par rapport à la plage existante. Cet allongement sera intégré au corps principal de la plage (non modulaire), par le prolongement de la courbure du côté amont, face aux vagues (bord d'attaque), la longueur passant d'environ 5 230 mm à 6 200 mm.

En conséquence, la hauteur (h) de la plage pourra également être augmentée afin de garantir une hauteur suffisante en extrémité de plage et d'assurer la tenue structurelle de l'ensemble ; ces éléments seront définis par le titulaire.

De plus, le positionnement des blocs de verrouillage en extrémité de plage sera à définir en fonction de la longueur totale de la plage.

Schéma de principe indiquant l'allongement de la plage et le potentiel changement de hauteur (sur la base des plans à titre indicatif de la plage actuelle) :

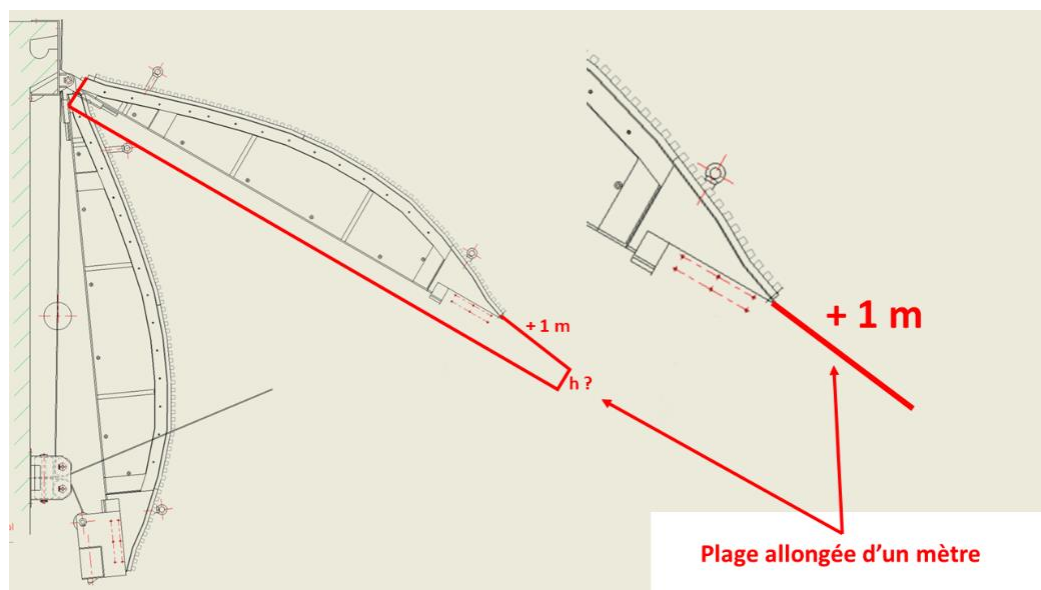
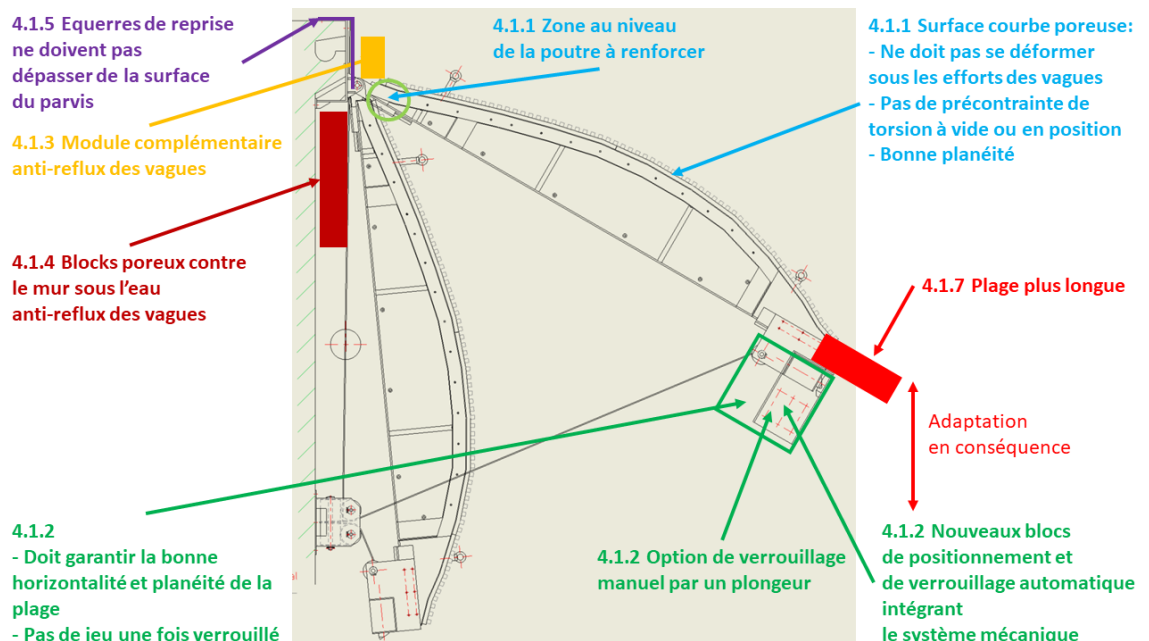


Schéma de principe donnant la représentation de quelques améliorations demandées (sur la base des plans à titre indicatifs de la plage actuelle) :



4.2. Environnement, contraintes et limitations

En plus des éléments indiqués dans le point « 3.1.1 Environnement, contraintes et limitations ».

4.2.1. Résistance aux chargements cycliques et extrêmes

La plage d'amortissement devra être dimensionnée pour résister, sur une période de 20 ans, aux chargements cycliques et extrêmes rencontrés au bassin d'essais dans le cadre de son exploitation normale.

La prévision du nombre de cycles estimée par l'IFREMER sur une période d'un an, pour une gamme de fréquences de houle et d'amplitudes types, est précisée dans le tableau récapitulatif en section 4.4.1.

Les chargements extrêmes seront notamment utilisés pour valider la réception finale de la plage après son installation et sa mise en service par le titulaire.

La plage devra faire l'objet d'une étude de calcul portant sur sa tenue mécanique et son vieillissement sous ces chargements cycliques et extrêmes, en tenant compte des éléments suivants :

- Le vieillissement des matériaux en eau de mer chlorée du bassin.
- Les caractéristiques des matériaux sélectionnés.
- Les efforts induits par les chargements dynamiques sur la structure et les éléments qui la composent.

4.2.2. Résistance de la plage en air et en eau

Le niveau d'eau du bassin est amené à varier régulièrement pour des raisons de maintenance ou d'essais (bassin plein ou vide ; en air ou en eau), ce qui implique que la plage ne bénéficiera pas en permanence de la portance en eau pour compenser son poids propre.

Bassin vide, plage en air :

La plage et les éléments associés devront être dimensionnés pour être suffisamment résistants afin de supporter le poids propre de la plage lorsque le bassin sera vide, qu'elle soit en position de travail sur les blocs de verrouillage ou en position de stockage.

Par ailleurs, la plage devra pouvoir supporter son propre poids, repris sur ses points de levage lors des opérations de manutention au pont (notamment lors de la livraison, de l'installation ou du démontage).

Bassin plein, en eau :

La plage et les éléments associés devront être dimensionnés pour être suffisamment résistants afin de supporter les chargements hydrodynamiques, tels que définis dans le tableau récapitulatif en section 4.4.1.

4.2.3. Corrosion galvanique et vieillissement

Le titulaire devra prévoir, pour la plage, ses modules complémentaires et ses éléments associés, ainsi que pour tout autre support, ensemble ou pièce, des matériaux et des traitements de surface adaptés à une utilisation en eau de mer chlorée, garantissant leur résistance au vieillissement et à la corrosion.

Les éléments métalliques structurants devront être protégés par des anodes sacrificielles.

Les phénomènes de corrosion galvanique devront être pris en compte dans la conception, la réalisation et l'installation, les effets électrochimiques étant aggravés entre les matériaux et en présence d'eau de mer ou d'atmosphère saline.

Tout élément de visserie devra être au minimum en inox A4-70 ou en BUMAX.

Certains éléments en acier de forte dimension pourront être protégés par galvanisation à chaud et peints (RAL à définir), en complément d'une protection par anodes sacrificielles.

Les éléments en inox (au minimum 316L, super duplex, etc.) devront également être protégés par anodes sacrificielles, sans que cela ne contraigne leur utilisation.

Le vieillissement des matériaux composites de la nouvelle plage devra garantir sa tenue à long terme. À ce titre, l'utilisation de résines polyester est proscrite.

4.2.4. Masse de la plage principale (sans ses modules complémentaires)

En fonction des matériaux retenus et de la conception de la plage, le titulaire devra viser une masse inférieure à 5 tonnes pour le corps principal de la plage, hors modules complémentaires, afin de permettre l'utilisation des portiques 19 T et 5 T.

Une masse maximale de 7 tonnes ne devra pas être dépassée.

Une flottabilité additionnelle pourra être intégrée sous la plage, sous réserve que le comportement hydrodynamique de celle-ci ne soit pas dégradé et que sa flottabilité globale reste négative en eau de mer.

Cette option devra faire l'objet d'une validation préalable par l'IFREMER.

4.2.5. Installation générale

- L'axe des charnières devra être facilement insérable lors de la mise en place de la plage (alignement des axes, notamment).
- Des paliers lisses remplaçables devront être prévus au niveau des logements des axes de rotation entre la plage et les équerres, afin de permettre leur remplacement en cas d'usure.
- La plage, hors modules complémentaires, devra pouvoir être introduite par la grande porte du bassin et manœuvrée entre les pieds du pont de 19 t (la diagonale de la plage devra pouvoir passer). Une attention particulière devra être portée à la largeur maximale disponible entre les pieds du pont.
- L'installation de la plage et des éléments associés devra respecter l'intégrité des chemins et rails de roulement des ponts de manutention, des passerelles et de la soufflerie, et ne devra pas altérer les capacités d'utilisation de ces équipements.
- Tous les éléments fixés sur les parois et le liner devront être démontables en cas de réfection de celui-ci.
- Une fois mise en position de travail et verrouillée dans le système de blocs de verrouillage, la plage et ses ensembles ne devront pas présenter de jeu sous les efforts induits par les vagues (effet de pompage).

- Le positionnement de la plage en position de travail devra garantir son horizontalité ainsi que sa planéité au niveau de la surface courbe poreuse supérieure. La plage ne devra pas présenter de torsion ou de précontrainte, que ce soit à vide ou en position dans le bassin.
- Les écrous devront être majoritairement de type « écrous frein » afin d'éviter les desserrages dus aux vibrations ou autres sollicitations.

4.2.6. Accessibilité des éléments de boulonnage des modules complémentaires de la plage

La visserie et la boulonnerie des modules complémentaires fixés sur la plage devront être facilement accessibles aux opérateurs, et l'espace nécessaire à l'utilisation des outillages devra être prévu (largeur de débattement pour clés de serrage, notamment).

Il est à noter que des plongeurs IFREMER peuvent être amenés à réaliser certaines étapes du montage sous l'eau ; les manipulations et accès devront donc être aussi simples que possible et compatibles avec des interventions en scaphandre autonome.

4.2.7. Maintenance

Une maintenance minimale est recherchée pour la nouvelle plage, incluant l'ensemble des éléments (blocs de verrouillage, charnières, ensembles de fixation, etc.), à l'image de la plage existante, tout en garantissant le bon fonctionnement de l'ensemble.

Les opérations de maintenance devront être limitées à des interventions simples, telles que :

- Des graissages ponctuels.
- Un nettoyage au jet d'eau haute pression (type Kärcher).

4.3. Fonctionnalités

La nouvelle plage d'amortissement des vagues (ainsi que ses éléments associés) devra reprendre les fonctions principales de la plage existante, à savoir :

4.3.1. Absorption des vagues (porosité et caillebotis)

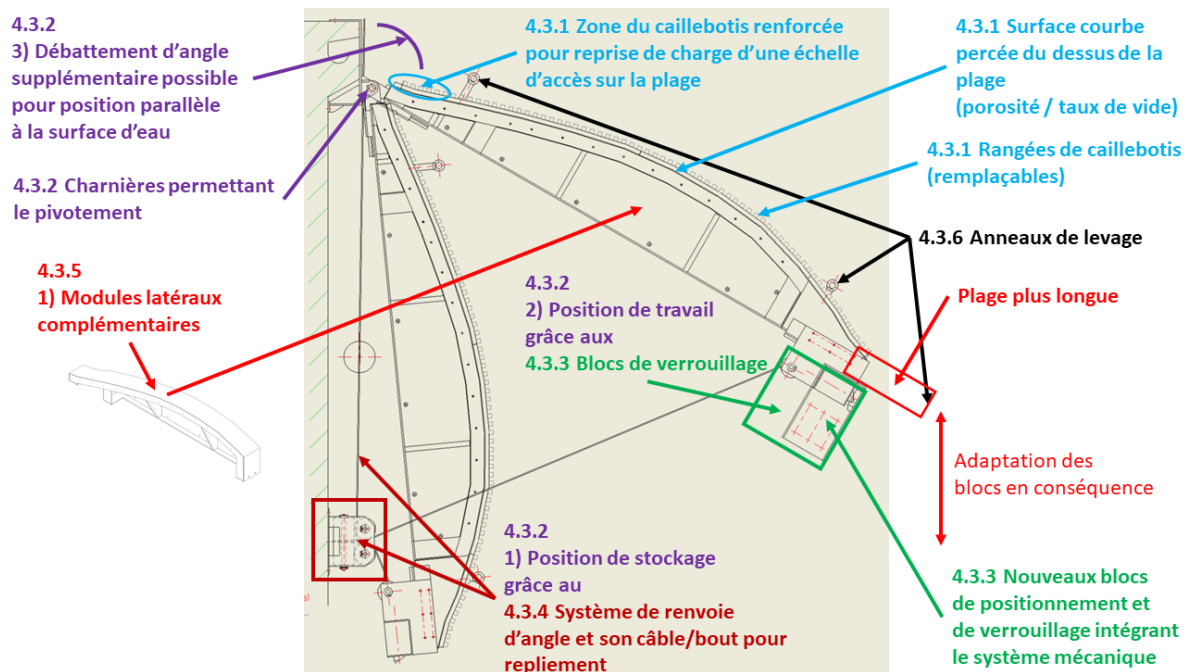
4.3.2. Pivotante (ensembles permettant la fixation parvis et la rotation de la plage)

4.3.3. Positionner la plage à son angle de travail (ensembles des blocs de positionnement avec système de verrouillage automatique)

4.3.4. Positionner la plage en position de stockage (ensembles et système de repliement et de maintien en position de stockage)

4.3.5. Plage modulaire (ensembles modules latéraux complémentaire)

Schéma de principe donnant la représentation de quelques fonctions demandées (sur la base des plans à titre indicatifs de la plage actuelle) :



4.3.6. Levage

Données dimensionnantes à utiliser pour la conception de la plage et ses ensembles

4.3.7. Tableau récapitulatif des données d'entrée :

Définition d'un cycle pour une houle : période entre un creux et une crête. Par exemple sur une durée de 60 secondes pour une houle de 0.5 Hz (soit 2 s) ; nb cycles = $60/2 = 30$.

	Valeurs figées en rouge Valeurs évolutives en bleu	Tolérances
Gamme globale de houle générée au bassin	0.2 à 1.25 Hz de 0 à 800 mm soit 0.8 à 5 s de 0 à 800 mm Voir courbe du générateur de houle en annexe	
Gamme de houle extrême (aussi utile pour le calcul modal)	Houles supérieures à 500 mm sur la gamme de période entre 1.6s et 4.3s ; et Houles de 800 mm sur la gamme de périodes entre 1.9s et 3.5s Voir courbe du générateur de houle en annexe	
Gamme de houle extrême Pour la réception en bassin. Durée des houles 60 secondes	2 s 400 et 800 mm 2,5 s 400 et 800 mm 3 s 400 et 800 mm 3,5 s 400 et 750 mm 4 s 300 et 580 mm	
Gamme de houle moyenne Pour la réception en bassin. Durée des houles 1200 secondes pour les houles irrégulières et 300s pour les houles régulières.	Houle irrégulière : Hs=300mm, Tp=2.2s Hs=400mm, Tp=2.2s Houle régulière : H=400mm, T=2.5s H=400 mm ; T adapté en fonction de modes privilégiés	
Houle extrême pour les mesures des flèches lors des essais de réception en bassin.	Hauteur et période à définir sur place après les essais sur houles régulières extrêmes et mesures modales	

Chargement hydrodynamique dimensionnant P_{max} ou $2P_{max}$ en pic pour la plage à prendre en considération pour les houles extrêmes (<u>pour les calculs statiques</u>) comme indiqué en 4.4.5.1 <u>Cette valeur ne comprend pas de coefficient de sécurité</u>	<u>Pour répartition linéaire de la pression sur la longueur de la plage :</u> $P_z \text{ max} = 2016 \text{ Pa}$ $P_x \text{ max} = 602 \text{ Pa}$ <u>Pour répartitions non linéaire du pic de pression sur la longueur de la plage :</u> $2P_z \text{ max} = 4032 \text{ Pa}$ $2P_x \text{ max} = 1204 \text{ Pa}$	
Répartitions minimums de chargement à tester du pic de pression $2P_{max}$ et P_{max} (<u>hors coeff de sécurité</u>, pour les calculs statiques) pour les positions suivantes dans la longueur de la plage comme indiqué en 4.4.5.1	$2P_{max}$ placé à $\frac{1}{2}$ de la longueur $2P_{max}$ placé à $\frac{1}{4}$ de la longueur $2P_{max}$ placé à $\frac{3}{4}$ de la longueur P_{max} homogènement répartie sur la longueur Autres configurations : à définir par le titulaire	
Effort dimensionnant F_{max} total <u>Cette valeur ne comprend pas de coefficient de sécurité</u>	$F_z \text{ max} = 156\,250 \text{ N}$ $F_x \text{ max} = 46\,680 \text{ N}$	
Définition de l'Effort F_{max} équivalent en valeur absolue	$F_{max} \text{ équivalent} = F_z \text{ max} + F_x \text{ max} + \text{poussée d'Archimède} + \text{poids de la plage} + \text{coeff sécurité}$	
Nombres de cycles de vagues sur 1 an d'utilisation (houles moyennes et houles extrêmes)	185 000 cycles au total Total comprenant 41 000 cycles de houles extrêmes	
Nombre de cycles pour les calculs de fatigue sur 20 ans	$185\,000 \times 20 = 3\,700\,000$ cycles au total à $F_{max} / 2$ Total comprenant 820 000 cycles de houles extrêmes à F_{max}	
Chargement hydrodynamique dimensionnant à prendre en considération <u>pour le calcul en fatigue</u> suivant les cycles <u>Cette valeur ne comprend pas de coefficient de sécurité</u>	$P_{max} / 2$ $P_z \text{ max} / 2 = 1008 \text{ Pa}$ $P_x \text{ max} / 2 = 301 \text{ Pa}$	

Dimensions en mm de la plage totale (modules latéraux et allongement frontal compris)	12460 mm de large Toute la largeur du bassin. Cette largeur est à adapter au plus proche des parois sans frottement de la plage sur les murs (à par les balais ou lèvres) 6200 mm de long	
Dimensions des modules latéraux	Largeur minimum de 500 mm Pour le passage du corps de la plage entre les rails déportés au-dessus du bassin Le corps principal de la plage (sa diagonale) doit pouvoir effectuer une rotation entre les pieds du pont 19T (sans ses modules latéraux)	
Ecartement (espace vide) de chacun des côtés de la plage par rapport aux murs	Minimum 10 mm => attention ne devant pas provoquer de frottement de la plage sur les murs Maximum 35 mm => attention ne devant pas provoquer de frottement de la plage sur les murs Placement obligatoire de balais ou de lèvres pour combler tout le vide (améliore le comportement hydro)	
Forme du profil de la plage	Courbe identique à l'existante + allongement en partie amont	
Allongement de la plage	Dans le prolongement relativement naturel de la courbe côté amont. Allongement inclus dans le corps principal de la plage	
Niveau 0 ou référence, de la surface de l'eau sur la pège déjà en place du bassin	-30 cm Moins trente centimètres sur la pège	

Horizontalité de la plage installée dans le bassin (en air et en eau)	Horizontalité en référence du niveau d'eau du bassin (en eau) et d'un niveau laser (en air). Delta max entre les deux extrémités bâbord et tribord = 15 mm max. Lignes du corps de la plage incluses dans cet écart.	
Angle de travail de la plage par rapport à la surface d'eau (plage sous l'eau)	30° Trente degrés	
Position de la plage par rapport à la surface d'eau (en position de travail 30°)	Le dessus du bord de fuite (bord arrière à angle droit) est situé à 25 mm sous la surface d'eau.	
Décalage de la plage par rapport au muret du parvis	X dans la longueur du bassin = cote libre, maximum 150 à 200 mm d'éloignement du mur Z dans la hauteur du bassin = bord de fuite de la plage 25 mm sous l'eau	
Porosité locale (taux de vide des plaques perforées)	9% environ, à adapter en fonction du taux de masquage pour obtenir la porosité globale souhaitée	
Porosité globale (taux de vide), à recalculer avec le taux de masquage structurel	8.5 %	
Taille des trous	5 mm de diamètre	
Disposition des trous	Espacement d'environ 15.66 mm => cette valeur va dépendre aussi du taux de porosité global final après recalcul Disposés en triangles (rangées en quinconce comme la plage actuelle)	
Epaisseur de la paroi poreuse (surface courbe percée)	6mm	

Caillebotis en PE ou PEHD (dimension et espacement des rangées)	Barres carrées de 40mm * 40mm * 12.5m espacées tous les 40mm, parallèles au bord d'attaque courant dans la largeur de la plage (environ 12.5m). Similaire à la plage actuelle. Les rangées sont déportées en hauteur par rapport au-dessus de la surface de la plage de 40 mm, l'équivalent d'une barre carrée. Similaire à la plage actuelle. Au minimum 67 rangées pour la partie de la courbe similaire à l'ancienne plage + les rangées de l'allongement frontal. Valable pour le corps principal de la plage et ses modules latéraux.	
Porosité du module pour vagues déferlantes et module sous l'eau	Blocks poreux (PWA blocks) NC20-48TOR de chez Zenit technologies (ou équivalent)	
Critère de flèche maximum (en air ou en eau selon le plus défavorable).	30 mm	
Critère de flèche maximum pour les sections de paroi poreuse prises localement sous la charge hydrodynamique	3 mm => Adapter les couples de renfort en conséquence	
Fréquence propre de la plage <u>en eau</u> à calculer (avec masse d'eau ajouté)	La première fréquence propre doit être supérieure à 8 Hz. Autrement dit, la plage ne doit pas rentrer en résonnance de 0 à 8 Hz	
Coeff de sécurité minimum à appliquer sur la structure de la plage pour les chargements hydrodynamiques (hors levage et sécurité)	Minimum 3 Reste à définir par le titulaire	
Coeff de sécurité minimum à appliquer sur les ensembles support de dépose sur le parvis pour inspection par le dessous	A définir par le titulaire. Respecter la réglementation en vigueur sur la santé et la sécurité au travail	

Coeff de sécurité minimum à appliquer sur les ensembles	Minimum 3 Reste à définir par le titulaire	
Matériaux recommandés pour la plage et ses modules	Composites (exemple : fibre de verre et époxy) Attention : pas de polyesters	
Masse du corps principal de la plage (maximum ou idéale) sans ses modules et dans l'air	5 Tonnes maximum (idéal) 7 Tonnes maximum	
Cas minimums (à prendre en compte dans les calculs statiques) pour lesquels vérifier la résistance de la plage <u>en air</u> ainsi que ses flèches maximums autorisées	1) dans la position horizontale (stockage parvis) 2) en position de travail à 30° 3) et en position de stockage à environ 90° 4) Levage Autres : à définir par le titulaire	
Flottabilité plage et modules	Négative (la plage sera coulante en eau de mer) Mais pas trop éloignée de la neutralité dans l'eau de mer. Plage relevable en eau avec le crochet 1.25T.	
Aspect et finition	Lisse sans aspérités sur le dessus Côté moule (lisse) pour le dessus de plage avec Gelcoat Passage d'un Gelcoat sur le dessous de la plage après démoulage si un contre-moule n'est pas utilisé	
Couleur des matériaux à privilégier	Blanc	
Propriété de l'eau	Eau de mer Température ambiante PH: 7.5 - 8.5, salinité: 3.2% - 3.6%, chlore libre: 2 - 3 mg/l	

4.3.8. Conditions à prendre en compte pour les calculs sur la plage

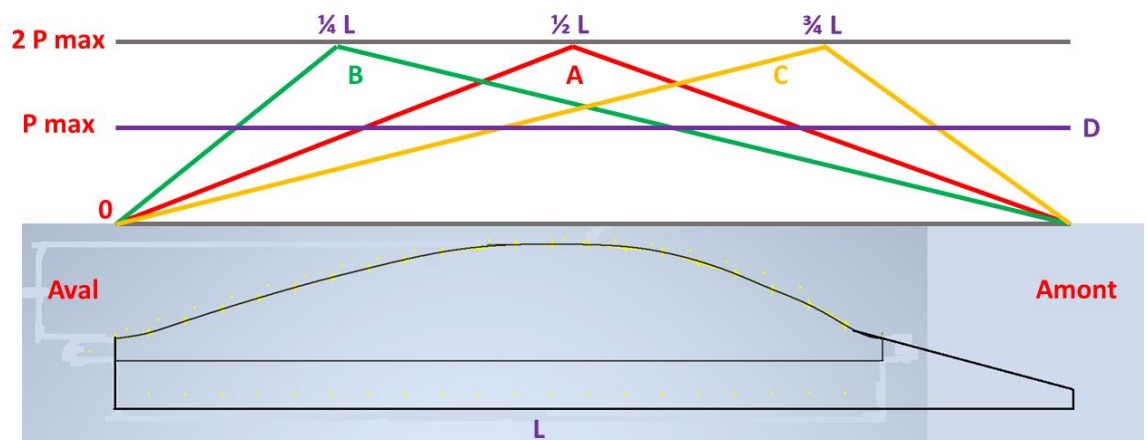
4.3.8.1. Calculs statiques de résistance à la charge hydrodynamique

Les efforts statiques maximums équivalents pour l'étude de chargement hydrodynamique sont définis (en relatif) tels que :

$F_{\text{max}} \text{ équivalent} = F_z \text{ max} + F_x \text{ max} + \text{poussée d'Archimède} + \text{poids de la plage} + \text{coeff sécurité}$

Application des efforts sur la plage pour les calculs :

La pression P varie en localisation suivant l'avancée de la vague sur la plage, et la localisation précise P_{max} n'est pas connue et évolutive, il est donc nécessaire de tester plusieurs cas de figures minimums pour les calculs statiques de résistance à la charge hydrodynamique, définis tels que sur le schéma ci-dessous.



- A = $2P_{\text{max}}$ placé à $1/2$ de la longueur
- B = $2P_{\text{max}}$ placé à $1/4$ de la longueur
- C = $2P_{\text{max}}$ placé à $3/4$ de la longueur
- D = P_{max} homogènement répartie sur la longueur

Ces différentes configurations (minimums à tester) de répartition de pression dans la longueur de la plage sont donc à utiliser dans les calculs, le titulaire étant libre de pousser l'étude plus loin. Le schéma indique la répartition des efforts à appliquer le long du profil de la plage.

$2P_{\text{max}}$ étant le pic maximum des efforts placé à une coordonnée précise divisant la longueur de la plage ($1/2 L$; $1/4 L$; $3/4 L$), le reste de la distribution des efforts se faisant de façon décroissante sur le reste de la longueur.

$2P_{\text{max}}$ n'exprime donc pas la prise en compte d'un quelconque facteur de sécurité, il est pris pour respecter la distribution surfacique des efforts sous la courbe. Le titulaire réalisera son étude avec le coefficient de sécurité en plus qui conviendra.

P_{max} comprend deux composantes $P_z \text{ max}$ et $P_x \text{ max}$, définies dans le tableau en 4.4.1. La composante $P_x \text{ max}$ des vagues (repère bassin) suivant leur direction étant négative par rapport au repère de la plage (qui est normal à la plage).

Les chargements hydrodynamiques P_z et P_x sont considérés comme étant de directions opposées en fonction du passage des crêtes et des creux des vagues.