

Appel à manifestation d'intérêt

Wave'Inov

Règlement

Date de clôture de l'appel à manifestation d'intérêt

19/09/2026 à 17h00 (CET)

Adresse de consultation de l'AMI

<https://www.pole-mer-bretagne-atlantique.com/opportunités-app-ami/wave-inov>

Résumé

Face à l'évolution des conditions hydrodynamiques et à la diversité des enjeux associés aux environnements soumis à l'action de la houle, l'expérimentation en conditions contrôlées constitue un outil essentiel pour l'analyse, la qualification et la validation de solutions techniques. Qu'il s'agisse d'ouvrages, de dispositifs, de méthodes ou d'outils numériques, les projets doivent pouvoir être évalués dans des configurations représentatives et reproductibles, afin de caractériser leur comportement hydrodynamique, d'identifier leurs domaines de validité et d'éclairer leur mise en œuvre opérationnelle.

Dans ce contexte, le Cerema et BUILDERS Ecole d'ingénieurs (BUILDERS), ci-après « les Partenaires », lancent un Appel à manifestation d'intérêt (AMI) visant à soutenir des projets innovants nécessitant la réalisation d'essais hydrodynamiques en canal à houle. Cet AMI a pour ambition de valoriser le droit de tirage du Cerema sur le canal à houle du laboratoire Jean Chapon de BUILDERS, en mettant cette infrastructure expérimentale de référence au service de l'innovation appliquée dans les domaines majoritairement liés aux ouvrages côtiers et portuaires, mais plus largement à toute problématique compatible avec les capacités du canal.

L'AMI s'adresse à des consortiums public-privé, porteurs de projets à fort potentiel opérationnel et scientifique. Les projets sélectionnés devront s'inscrire dans les capacités et limites techniques du canal à houle et être valorisables dans les limites des propriétés intellectuelles pour la communauté technique et scientifique : méthodes et protocoles d'essais, jeux de données expérimentales, outils d'ingénierie, retours d'expérience ou éléments de validation transférables aux maîtres d'ouvrage, aux acteurs publics et aux professionnels du secteur.

Les projets pourront porter sur des innovations matérielles, méthodologiques ou numériques, incluant, le cas échéant, une articulation explicite entre essais physiques et modélisation. En favorisant l'expérimentation, la démonstration et la capitalisation des résultats, cet AMI vise à créer un cadre propice à l'émergence de solutions robustes, reproductibles et directement mobilisables face aux enjeux actuels et futurs des environnements maritimes, côtiers et littoraux. Les modalités financières, juridiques et de sélection sont précisées dans le présent règlement.

Mots-clés

Canal à houle, essais hydrodynamiques, ouvrages côtiers, ouvrages portuaires, ingénierie côtière, adaptation au changement climatique, innovation technologique, validation expérimentale, modélisation numérique, résilience des infrastructures, jumeau numérique

Dates importantes

Clôture de l'appel à manifestation d'intérêt

Les éléments du dossier de candidature doivent être envoyés sous forme électronique, y compris les documents signés par le responsable légal de chacun des candidats, impérativement avant le :

19/09/2026 A 17H (HEURE DE PARIS)

A l'adresse :
waveinov@polemer-ba.com

L'AMI se déroulera selon le calendrier suivant :

- Webinaire : 3 juillet 11h-12h15
- Clôture des candidatures au plus tard le 19/09/2026 à 17h00
- Désignation du lauréat : le 30/10/2026
- Mise au point de la convention avec le lauréat du 02/11/2026 au 20/11/2026
- Campagne d'essais entre le 1^{er} décembre 2026 et le 12 mars 2027.

Ces dates sont susceptibles d'évoluer en fonction d'éventuelles contraintes de calendrier.

Contact

waveinov@polemer-ba.com

Définitions

Les Partenaires

Désignent le Cerema et BUILDERS École d'ingénieurs, co-organisateur de l'appel à manifestation d'intérêt.

Projet

Désigne l'objet des essais réalisés en laboratoire physique dans le cadre du présent appel à manifestation d'intérêt.

Il correspond uniquement à la partie expérimentale menée en canal à houle, et non à un projet global plus large.

Porteur de projet

Désigne la partie du consortium public-privé qui assure la coordination du projet. Il est l'interlocuteur principal des Partenaires et assure le suivi du projet.

SOMMAIRE

1	Contexte et Objectifs de l'Appel à Manifestation d'Intérêt.....	6
1.1	Contexte	6
1.2	Objectifs de l'AMI.....	6
2	Thématiques visées	7
3	Examen des projets proposés	7
3.1	Procédure de sélection.....	7
3.2	Critères d'éligibilité	8
3.2.1	Bénéficiaires	8
3.2.2	Critère de localisation géographique du projet ou du porteur de projet.....	9
3.3	Critères de sélection.....	9
4	Modalités de mise à disposition – Offre AMI.....	9
4.1	Mise à disposition du canal	9
4.2	Appui technique	10
5	Modalités de candidature	10
5.1	Contenu du dossier de candidature	10
5.2	Procédure de candidature.....	11
6	Engagements des partenaires et du lauréat	11
6.1	Conventionnement.....	11
	Obligation de BUILDERS et du Cerema.....	12
	Obligations à la charge du porteur de projet.....	12
6.2	Confidentialité	12
7	ANNEXE - Description du canal à houle	14
7.1.1	Caractéristiques générales	14
7.1.2	Mesure, acquisition et traitement des données	16
7.1.3	Contraintes et limites d'utilisation du canal a houle	17
7.1.4	Aspects financiers.....	18

1 CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'AMI

1.1 Contexte

Le présent Appel à Manifestation d'Intérêt (AMI) s'inscrit dans la continuité des travaux engagés au sein du comité de pilotage du canal à houle du laboratoire Jean Chapon, instance réunissant le Cerema, BUILDERS, la Direction générale de la prévention des risques (DGPR) et la Direction Générale des Infrastructures, des Transports et des Mobilités (DGITM). Ces travaux ont permis d'identifier le potentiel du canal à houle comme outil structurant pour l'ingénierie côtière et portuaire, tout en soulignant la nécessité de mieux cadrer son usage au regard des besoins opérationnels des acteurs publics et économiques.

Dans ce contexte, le lancement d'un AMI vise à accélérer et soutenir des projets répondant à des problématiques concrètes liées à l'adaptation des territoires littoraux, aux infrastructures côtières et portuaires, notamment en tant qu'infrastructure de l'eau au service de multiples usages (protection, aménagement, production de connaissance, innovation), en particulier en matière de résilience, de durabilité et d'adaptation au changement climatique. L'AMI a également pour objectif d'identifier des projets à forte valeur ajoutée opérationnelle, capables de produire des méthodes, données et retours d'expérience directement exploitables par les maîtres d'ouvrage, les gestionnaires et les acteurs publics et privés.

L'AMI constitue en outre un outil de vérification de l'adéquation entre les ambitions techniques et scientifiques des porteurs de projets et les capacités réelles du canal à houle, notamment en termes de paramètres de houle, de durée des essais et de contraintes d'exploitation. Il s'inscrit également dans une logique de valorisation des services rendus multiples par ces infrastructures de l'eau, à la croisée des enjeux environnementaux, économiques et territoriaux. Il permet ainsi de sécuriser la faisabilité des projets sélectionnés et d'optimiser les conditions de mise en œuvre des campagnes d'essais.

La gouvernance scientifique de l'AMI est assurée par le Cerema, au sein de la Direction technique risques, eaux et mer, en lien étroit avec BUILDERS. Les modalités précises de sélection, d'évaluation et de décision, ainsi que les règles de contractualisation et de suivi des projets, seront détaillées dans le présent règlement de l'AMI. Dans un premier temps, le présent Appel à manifestation d'intérêt est lancé à l'échelle nationale.

1.2 Objectifs de l'AMI

Le présent Appel à Manifestation d'Intérêt (AMI) a pour objectif de sélectionner un projet innovant porté par un consortium associant des acteurs publics et privés, en vue de la réalisation d'essais hydrodynamiques dans le canal à houle du laboratoire Jean Chapon. L'AMI s'appuie sur cette infrastructure expérimentale comme un outil de validation, de démonstration et de production de connaissances appliquées au service de l'ingénierie côtière et portuaire.

L'AMI vise à valoriser le droit de tirage du Cerema sur le canal à houle de BUILDERS en soutenant des projets générant un bénéfice partagé pour la communauté technique et scientifique. L'AMI a également pour objectif de favoriser des collaborations structurantes entre acteurs économiques, recherche appliquée et institutions publiques, et d'encourager la capitalisation et la diffusion des résultats, dans le respect des exigences de confidentialité, de propriété intellectuelle et des intérêts des parties impliqués. Les projets devront ainsi démontrer leur capacité à produire des retombées opérationnelles durables et à contribuer à l'amélioration des pratiques et des référentiels techniques existants.

2 THEMATIQUES VISEES

L'AMI s'adresse à des projets relevant de thématiques à la fois techniques et scientifiques, en lien avec les aménagements et dispositifs côtiers et portuaires.

Thématiques techniques :

- Aménagements littoraux et portuaires ;
- Ouvrages et matériaux ;
- Solutions douces ;
- SFN ;
- Exploitation, maintenance et durabilité des infrastructures côtières ;
- Résilience et adaptation au changement climatique ;
- Éco-conception ;
- Récupération d'énergie.

Thématiques scientifiques :

- Consolidation et développement de modèles numériques avec validation expérimentale ;
- Développement de méthodologies d'essais et d'analyse ;
- Jumeaux numériques ;
- Appui à l'évolution des normes et référentiels techniques, tels que les Eurocodes.

Les sujets liés aux énergies marines renouvelables (EMR) peuvent également être considérés, mais ne constituent pas un axe central de l'AMI.

3 EXAMEN DES PROJETS PROPOSES

3.1 Procédure de sélection

Les projets soumis dans le cadre de l'AMI seront évalués par un jury. Le jury pourra, si nécessaire, faire appel à des expertises auprès des personnels des Partenaires et procéder à des auditions des porteurs de projets éligibles.

Chaque projet devra être accompagné d'un **dossier de candidature**¹ comprenant :

- Les objectifs et la méthodologie proposée,
- La compatibilité du projet avec le canal concerné,
- Une ébauche du programme des essais effectifs sur une durée maximale de 1 mois,
- Des éléments de référence sur l'avancement de la réflexion,
- Un plan de finance global du projet,

¹ Voir chapitre 5.1 pour plus d'informations

- La présentation du porteur et des parties impliqués,
- Les livrables attendus et le plan de valorisation.

À l'issue de ses travaux, le jury remettra un rapport au Comité de pilotage de l'AMI comprenant :

- 1°) la recevabilité et l'évaluation de chaque projet sur la base des critères définis au § 3.2 et §3.3 ;
- 2°) la liste des projets pouvant être retenus en raison de leur qualité et de leur pertinence technique et scientifique ;
- 3°) le projet retenu pour cette campagne.

Les membres du jury et les experts externes s'engagent au respect des règles de déontologie et d'intégrité scientifique, ainsi qu'à la confidentialité des informations reçues. Toute situation de conflit d'intérêts devra être déclarée et donnera lieu à une mesure corrective.

La composition du jury sera rendue publique sur le site de l'AMI à l'issue de la procédure de sélection.

Les Partenaires ne sont redevables aux candidats à l'AMI d'aucun dédommagement (avantage, ou remboursement).

3.2 Critères d'éligibilité

Les projets soumis dans le cadre du présent AMI devront obligatoirement inclure la réalisation d'essais physiques en canal à houle, constituant un élément central et structurant de la démarche proposée. Les projets devront s'inscrire dans une logique de vérification d'un concept, de validation ou de qualification expérimentale, en lien direct avec les capacités et limites techniques du canal à houle du laboratoire Jean Chapon.

Les projets attendus relèveront d'une ou plusieurs catégories d'innovation. Ils pourront porter sur des innovations matérielles, telles que des ouvrages, dispositifs, géométries ou assemblages applicables aux infrastructures côtières et portuaires. Ils pourront également concerner des innovations méthodologiques, incluant notamment le développement ou l'amélioration de protocoles d'essais, de méthodes d'évaluation des performances ou des contributions à l'appui et à l'évolution de référentiels techniques et normatifs. Enfin, les projets pourront intégrer une dimension d'innovation numérique, à condition de démontrer explicitement la corrélation entre les essais expérimentaux réalisés en canal et des approches de modélisation numérique.

Le niveau de maturité technologique des solutions proposées devra être clairement précisé par les porteurs de projet, qu'il s'agisse d'une preuve de concept (POC), d'un prototype ou d'un autre stade de développement pertinent au regard des objectifs de l'AMI et des contraintes du canal.

3.2.1 Bénéficiaires

Les conditions d'éligibilité et de participation au présent Appel à manifestation d'intérêt sont les suivantes :

- Les projets doivent être portés par un consortium public-privé. La partie coordinatrice est désigné comme porteur de projet. Le projet est qualifié de projet en consortium et un protocole unique est signé entre le Cerema, BUILDERS et le porteur de projet.
- Les projets portés exclusivement par des établissements de recherche ou relevant uniquement de la recherche académique ne sont pas éligibles.
- Les consortiums avec des organismes de recherche sont autorisés, à condition que :
 - le projet conserve une finalité opérationnelle,
 - le porteur de projet soit un acteur économique.
- Enfin, il faudra que le projet corresponde aux thématiques de l'AMI, précisés au point 2.

3.2.2 Critère de localisation géographique du projet ou du porteur de projet

Dans un premier temps, l'Appel à manifestation d'intérêt est lancé à l'échelle nationale. À ce titre, les projets doivent répondre à l'une des conditions suivantes :

- être réalisés sur le territoire français, en hexagone ou en outre-mer ;
- ou être portés par une entité française.

L'Appel à manifestation d'intérêt s'adresse à l'ensemble des acteurs économiques implantés sur le territoire national. Une extension ultérieure du périmètre géographique pourra être envisagée au regard des retours et des résultats issus de cette première phase.

3.3 Critères de sélection

Les projets déposés dans le cadre du présent AMI feront l'objet d'une évaluation comparative, fondée sur les critères suivants :

- Pertinence scientifique et technique :
 - adéquation du projet avec les capacités et contraintes du canal à houle du laboratoire Jean Chapon,
 - cohérence entre les objectifs du projet, le programme d'essais et les caractéristiques de l'infrastructure,
 - caractère innovant du projet (critère principal).
 - qualité, clarté et robustesse du programme d'essais proposé.
- Intérêts et retombées prévisionnelles du projet :
 - retombées attendues pour les acteurs opérationnels,
 - impact des résultats produits,
 - perspectives de diffusion, d'exploitation et d'appropriation des livrables.
 - capacité à mener le projet dans les délais et conditions prévus.
- Perspectives de prolongation et de valorisation du projet :
 - perspectives de prolongation ou de valorisation au-delà des essais,
 - potentiel en matière de recherche et développement,
 - opportunités de contractualisation ultérieure ou d'intégration dans des démarches plus larges.
- Qualité du porteur de projet et du consortium :
 - compétences mobilisées,
 - expérience des équipes,
 - complémentarité des parties du consortium.

4 MODALITES DE MISE A DISPOSITION – OFFRE AMI

4.1 Mise à disposition du canal

Dans le cadre du présent AMI, le canal à houle exploité par BUILDERS sera être mis à disposition du lauréat pour la réalisation de leurs essais hydrodynamiques. Cette mise à disposition est prévue pour une durée pouvant aller jusqu'à un mois d'essais effectifs consécutifs, hors phases de calibration, de construction et de déconstruction des dispositifs expérimentaux.

La durée maximale d'occupation du canal dans le cadre d'un projet retenu est fixée à trois mois, incluant l'ensemble des phases de préparation, de mise en œuvre et de remise en état, à savoir la construction et la déconstruction des maquettes et de la bathymétrie et des aménagements nécessaires aux essais.

Les 3 mois se dérouleront du 1er décembre 2026 au 12 mars 2027 (compte-tenu des deux semaines de fermeture de Builders du 19 décembre 2026 au 1er janvier 2027), avec une possibilité de décalage suivants les impératifs liés au canal, et sous réserve de disponibilité.

Toute demande de prolongation au-delà des durées initialement prévues devra faire l'objet d'une validation préalable par BUILDERS. En cas d'accord, cette prolongation donnera lieu à un nouveau contrat.

BUILDERS est éligible au Crédit d'Impôt Recherche à hauteur de 30 %, conformément à la réglementation en vigueur. Les candidats souhaitant mobiliser ce dispositif sont informés que la subvention perçue dans le cadre du présent AMI devra être déduite des bases de calcul du CIR, conformément aux règles fiscales applicables. Cette éligibilité pourra, le cas échéant, être prise en compte dans la structuration financière des projets, sans préjuger des obligations propres à chaque porteur de projet.

Le financement du projet retenu dans le cadre du présent AMI repose sur un principe de cofinancement entre le porteur de projet lauréat et les Partenaires de l'AMI. La contribution financière, pour un mois d'essais effectifs, du Cerema et de BUILDERS École d'Ingénieurs équivaut à 60k€ par projet, sous réserve d'ajustements et de négociations à préciser par BUILDERS en fonction de la nature des projets et des besoins spécifiques en instrumentation ou en maquettes.

4.2 Appui technique

Le Cerema assurera un accompagnement technique comprenant jusqu'à 4 jours d'expertise, 1 dédié à l'appui à l'élaboration du programme d'essais et 3 à l'exploitation des résultats.

BUILDERS École d'Ingénieurs assurera les essais sur la période dédiée, avec un appui technique des expérimentateurs pour consolider la campagne d'essais.

5 MODALITES DE CANDIDATURE

5.1 Contenu du dossier de candidature

Le dossier de candidature devra comporter l'ensemble des éléments nécessaires à l'évaluation scientifique et technique du projet.

Le dossier de soumission complet est constitué de deux documents intégralement renseignés :

- le « document scientifique », d'une longueur maximum de 12 pages, rédigé en français, comprenant une description du projet envisagé et une ébauche du programme d'essais (cf. dossier de candidature);
- le « document financier », qui comprend la description budgétaire du projet (estimation des coûts de la maquette et d'instrumentation spécifique).

Plus précisément, chaque projet devra être accompagné d'un **dossier de candidature** comprenant :

- Les objectifs et la méthodologie proposée,
- La compatibilité du projet avec le canal concerné,
- Une ébauche du programme des essais,
- Un plan de finance du projet
- La présentation du porteur et des parties impliquées,
- Les livrables attendus et le plan de valorisation.

Conformément à l'article 107§1 du Traité sur le fonctionnement de l'Union européenne (2016/C 262/01) du 19 juillet 2016 relatif aux aides d'État, et, au règlement 2023/2831 du 13 décembre 2023 relatif aux aides de minimis, les aides perçues par une entreprise ne sont pas soumises à notification à la

commission européenne dès lors qu'elles sont inférieures à 300 000 euros HT sur une période de trois ans.

L'aide apportée au lauréat dans le cadre du présent appel à manifestation d'intérêt est estimée à 60 000 euros HT en nature. Cette aide est répartie à parts égales entre les membres du consortium lauréat :

- 30 000 euros HT au bénéfice de la partie publique du consortium ;
- 30 000 euros HT au bénéfice de la partie privée du consortium.

La règle de minimis s'appliquant exclusivement aux entreprises, seule la part de 30 000 euros HT revenant à la partie privée est imputée sur le plafond. En conséquence, les aides complémentaires susceptibles d'être accordées à l'entreprise membre du consortium au titre du même projet ne devront pas excéder 270 000 euros HT, de sorte que le cumul total des aides publiques perçues par celle-ci reste en tout état de cause inférieur au plafond de minimis précité.

Les candidats doivent joindre à leur dossier de candidature une déclaration des aides de minimis perçues ou à percevoir sur les trois derniers fiscaux (comprenant celui en cours) pour que les Partenaires puissent s'assurer que le plafond n'est pas atteint.

Si le plafond total autorisé est dépassé l'aide ne pourra pas être octroyée au candidat.

5.2 Procédure de candidature

Les documents du dossier de candidature devront être transmis par le responsable scientifique et technique du projet selon les modalités avant la date de clôture et à l'adresse indiquées page 3 du présent appel AMI.

UN ACCUSÉ DE RÉCEPTION, sous forme électronique, sera envoyé au responsable scientifique et technique du projet lors du dépôt des documents.

Les porteurs de projet ainsi que le lauréat seront notifiés par courriel de la décision du comité de pilotage de l'AMI.

6 ENGAGEMENTS DES PARTENAIRES ET DU LAUREAT

6.1 Conventonnement

Une convention sera signée entre les Partenaires et le porteur de projet au plus tard avant le début des essais ou de commande éventuelle de la part de l'une ou l'autre des parties.

La convention précisera notamment :

- La période et la durée de la campagne d'essais
- La répartition de la contribution financière, des tâches et des livrables entre les Partenaires et le lauréat, ainsi que les moyens humains et financiers mobilisés en propre par ces derniers,
- Les modalités scientifiques, techniques et financières d'accès aux ressources partagées entre les Partenaires et le lauréat,
- Les modalités de valorisation des résultats obtenus à l'issue des recherches et de répartition des propriétés intellectuelles.

Les Partenaires se réservent le droit sans que leurs responsabilités puissent être mises en causes de déclarer l'abandon du présent AMI en cours de procédure pour des motifs d'intérêt général liés notamment, mais pas exclusivement, à des contraintes financières, humaines ou matérielles.

Cet abandon n'ouvre pas droit à indemnisation des candidats ou du lauréat.

Obligation de BUILDERS et du Cerema

BUILDERS :

- Met à disposition et assure l'exploitation technique du canal pendant la période autorisée d'essais.
- Assume la couverture assurantielle des essais qui se limite à l'exécution des essais en laboratoire (contrat d'assurance responsabilité civile professionnelle, spécifiquement adapté à la réalisation de prestations d'études). L'interprétation ainsi que l'utilisation des résultats sera sous la responsabilité du porteur du projet.
- Assure la préparation et la mise en œuvre opérationnelle des essais (calibration, exploitation) et fournit l'instrumentation décrite dans l'annexe et les données bruts.

Cerema :

- Assure la gouvernance scientifique et contractuelle de l'AMI.
- Fournit un appui technique limité (jusqu'à 4 jours d'expertise) pour l'élaboration du programme d'essais et l'exploitation des résultats.

Obligations à la charge du porteur de projet

- Le porteur de projet est responsable de l'ensemble des éléments et données nécessaires à la préparation, à la réalisation et à l'exploitation des essais en canal à houle. Il prend en charge les coûts liés :
 - Aux maquettes expérimentales (non fournies dans le cadre de l'AMI – estimation indicative : 3 000 € à 6 000 € HT) ;
 - À l'instrumentation complémentaire et aux prestations d'analyse (environ 3 000 € pour prestation d'analyse, voir annexe).
- Il élabore un programme d'essais détaillé, dont une première ébauche doit être fournie dans le dossier de candidature.
- Il assure la conception et la construction des maquettes expérimentales.
- Il prévoit et met en œuvre l'instrumentation complémentaire nécessaire aux essais.
- Il assure l'analyse et le traitement des données brutes produites.
- Le lauréat s'engage à remettre un rapport détaillé (entre 30 et 100 pages, sans les annexes, en Arial 11) aux Partenaires dans un délai d'un an après la campagne d'essais.

6.2 Confidentialité

Les membres du jury et les personnes ayant accès aux dossiers déposés dans le cadre de l'AMI s'engagent à garder confidentiels les projets qui lui sont soumis et le nom du lauréat jusqu'à la leur désignation.

Les documents fournis par les candidats sont transmis aux membres des instances de l'AMI. Les candidats sont informés que les membres de ces instances peuvent être amenés à communiquer ces

dossiers au sein de leur établissement afin de recueillir l'expertise de leurs collaborateurs. Les instances veilleront à rappeler les préconisations de confidentialité aux membres concernés.

Les documents transmis dans le cadre de l'AMI sont soumis à une confidentialité conforme aux dispositions de la réglementation en vigueur relative au droit d'accès aux documents administratifs.

Sous réserve des droits des tiers, toutes les Informations ainsi que leurs supports et leurs reproductions, transmises par les candidats resteront leur propriété. Les documents techniques de toutes sortes, les fichiers informatiques mis à la disposition par les candidats demeurent leur propriété. Ces informations ne peuvent être ni utilisés par des tiers, ni divulgués à des tiers en dehors du cadre décrit ci-dessus, sans le consentement écrit préalable des candidats.

7 ANNEXE - DESCRIPTION DU CANAL A HOULE

Le canal a houle est un des équipements majeurs de BUILDERS Ecole d'Ingénieurs à Caen. Construit et installé en 2018, il est le fruit d'une collaboration entre le Cerema, la Direction Générale de la Prévention des Risques (DGPR), de la Direction Générale des infrastructures et des transports et de la mer (DGITM) et du Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire.

Il est implanté dans le laboratoire Jean Chapon d'hydraulique côtière, dont les activités couvrent un ensemble de thématiques :

- Anticipation des besoins en matière de protection du littoral ;
- Evaluation et adaptation des ouvrages et infrastructures ;
- Soutien aux entreprises françaises ;
- Production de connaissances et formation des ingénieurs.

Equipement unique en France, il permet de tester à grande échelle l'impact de la houle sur les équipements côtiers (digues, jetées, protection du littoral etc....).

7.1.1 Caractéristiques générales

Les dimensions du canal sont les suivantes :

- Longueur : 40.0m ;
- Largeur : 1.0m ;
- Hauteur : 1.5m.

Ces dimensions importantes permettent de limiter les effets d'échelle, et de répondre au mieux aux critères Hydralab : à savoir un nombre suffisant de longueurs d'onde présent dans la veine des essais devant les structures à modéliser (3 à 5 longueurs d'onde à minima requises et obtention des profils de vitesses orbitales de la houle établie). Sa largeur permet de réduire les effets de bord et de travailler en « mètre linéaire d'ouvrage ».



Photos du canal à houle de BUILDERS Ecole d'Ingénieurs

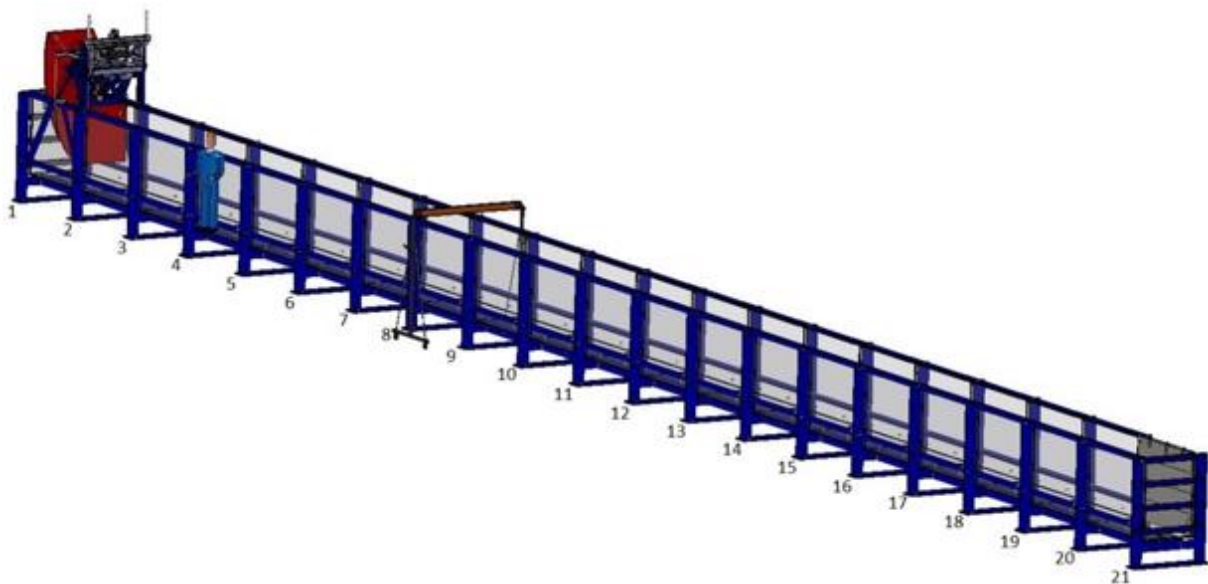
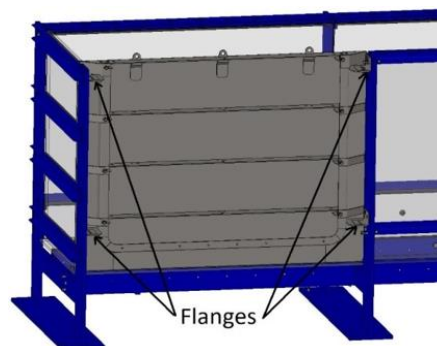


Illustration du canal à houle de BUILDERS Ecole d'Ingénieurs

Le fond et les parois latérales sont vitrés sur toute la longueur de la structure. Un traitement limitant les effets de l'abrasion est appliqué au verre, constitué d'un seul feuillet de 19 mm d'épaisseur. L'accès visuel permis par les parois vitrées offre aux ingénieurs une observation directe et rapide des phénomènes physiques mis en jeu dans les essais. La rectitude du canal (parois et fond) est particulièrement précise, de l'ordre du millimètre sur la longueur de 40 m (une telle précision n'est pas atteignable avec une veine d'essai en béton).

Le canal est muni d'une porte latérale de chargement au niveau du dernier segment proche de la zone « Modèle » afin de faciliter la construction de ces derniers, compte tenu de la taille du dispositif.



Porte latérale d'accès à la veine d'essais

Fond bathymétrique

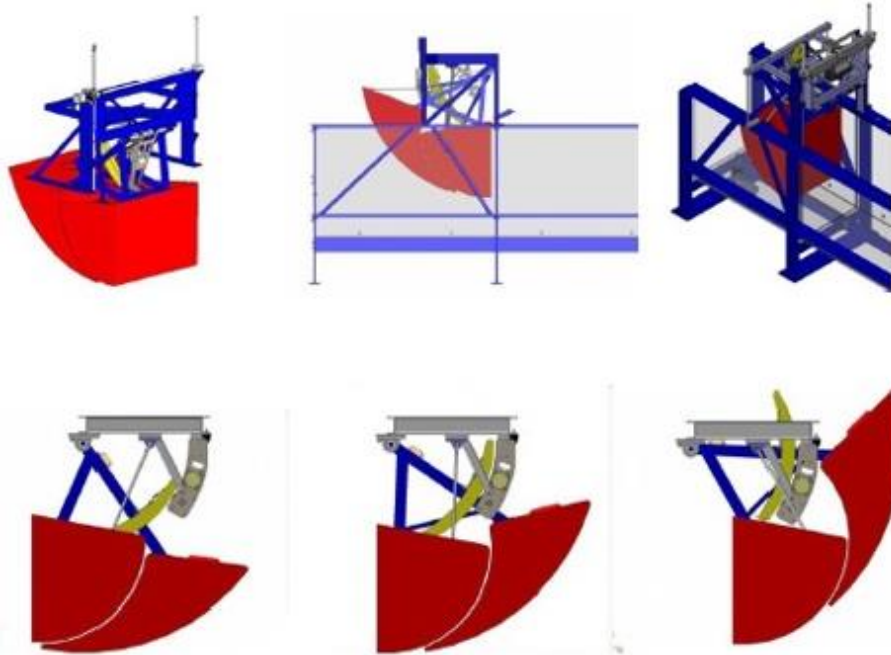
Le canal à houle est équipé d'un fond modulaire configurable, qui est utilisé pour reproduire en canal le ou les profils bathymétriques spécifiques à chaque série d'essais, en les approximant par une succession de pentes linéaires, avec un pas inférieur au mètre. Une plage absorbante en mousse à pores ouverts est positionnée à l'extrémité du canal (côté opposé au batteur), sa fonction est d'atténuer les ondes de courtes périodes qui ne sont pas absorbées par le générateur de houle, en particulier pour les essais de réglage des houles générées, qui se déroulent en l'absence de modèle d'ouvrage ou d'objet étudié dans le canal.

Génération de houle

Le canal est équipé d'un générateur de houle capable de produire des houles aléatoires d'une hauteur significative pouvant, suivant la période pic sélectionnée, dépasser les 25cm. La plage de périodes réalisables va de 0.8 à 5 secondes.

Le canal permet de reproduire des états de mer à l'échelle modèle identiques à ceux mesurés in situ.

Le batteur est de type piston ; il est équipé d'un système d'absorption active de la houle réfléchi dans la veine d'essai, afin de maximiser la qualité des états de mer générés. De plus, la cinématique du batteur est spécifiquement conçue pour minimiser les mouvements d'eau parasites derrière et sous celui-ci.



Détails du générateur de houle et de son fonctionnement

Le champ de houle généré est donc précisément ajusté à la consigne, même en présence de modèles d'ouvrages très réfléchissants. La répétabilité est de l'ordre du pourcent pour les valeurs d'amplitude et de période, ce qui permet d'obtenir des statistiques fiables dans les scénarios d'essais multiples.

L'interface entre l'utilisateur et le générateur de houle est assurée par un logiciel de contrôle-commande dédié. En houle irrégulière, Ce logiciel permet de générer les spectres standard, ou de configurer un spectre sur mesure, soit analytiquement, soit par tabulation de données spectrales obtenues par mesures sur site ou par des études de propagation.

7.1.2 Mesure, acquisition et traitement des données

Mesure d'élévation de surface libre :

Deux types de capteurs sont utilisés pour la mesure d'élévation de surface libre :

Sondes à ultrasons : mesure sans contact, utilisable même dans les zones de déferlement ou de très faible profondeur. Acquisition numérique ou analogique.

Sondes résistives : mesure intrusive, mais précise (erreur de l'ordre de 0.5% en conditions normales d'utilisation). Sorties numériques et stockage de données gérés par le logiciel de génération de houle. Analyse de données temporelles et spectrales gérée par un logiciel Njord (synthèse et analyse de houle).

Mesures de pression et d'efforts

Pour la mesure de pression, Le laboratoire est équipé d'un ensemble de 16 capteurs piézo-résistifs avec des gammes de mesure allant de 1Bar à 3.5Bar. Ces capteurs sont conçus pour des mesures de phénomènes hautement dynamiques (impacts de houle par exemple), ils sont submersibles (IP68) et sont typiquement utilisés pour instrumenter des modèles d'ouvrages testés en canal.



Exemple de capteur de pression

Système d'acquisition de données

Le canal est équipé d'une centrale acquisition National Instruments configurables pour tous les types de capteurs utilisés pour les essais (hormis les sondes résistives qui sont gérées séparément par une

centrale dédiée) : pressions, efforts, tous capteurs a sorties analogiques avec plage de tension maximum de 20V. 96 entrées analogiques sont disponibles en mode unifilaire (référéncé ou non), 48 en mode différentiel. La centrale comprend également un module d'entrées/sorties numériques configurables à volonté.

Mesures de franchissements

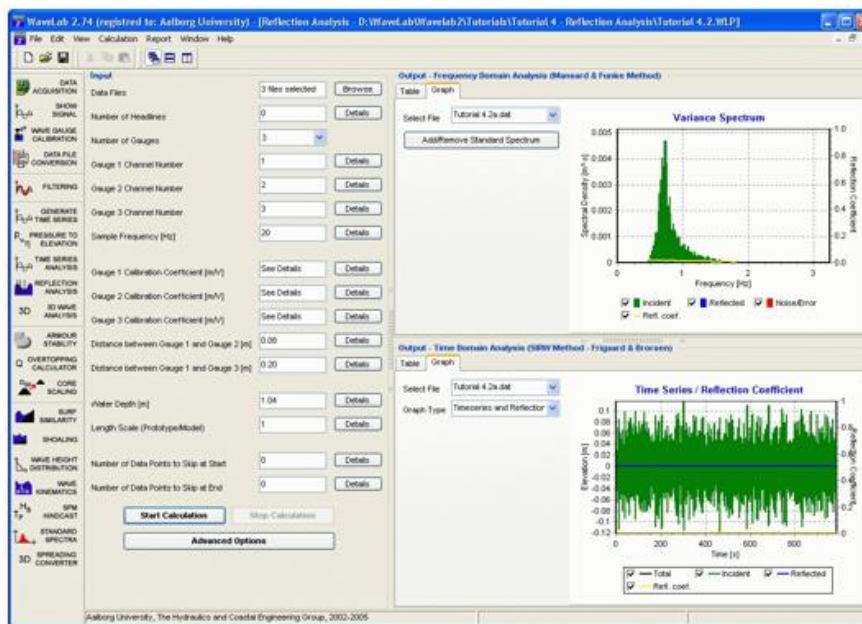
Les volumes et débits de franchissements sont mesurés à l'aide d'un bac collecteur disposé derrière la crête de l'ouvrage. Le volume d'eau franchissant l'ouvrage est mesuré instantanément et pesé au fur et à mesure afin de réinjecter les volumes franchis.

Ce dispositif de franchissement est modulable, selon que l'on souhaite travailler sur le volume franchissant, ramené à la durée totale de la tempête, ou analyser plus finement le franchissement vague par vague. La mesure des masses d'eau franchissantes s'effectue par débitmètre, mais on peut y adjoindre des mesures par sonde de surface libre et par capteur de pression.

Le dispositif est positionné en aval de l'ouvrage étudié, sans modification du profil de ce dernier (pas de modification du fonctionnement hydraulique lié à l'ouvrage). La jonction est assurée par un collecteur qui facilite l'écoulement quasi instantané vers le bac receveur.

Post-Traitement

Le logiciel « Wave lab » développé par l'université d'Aalborg partenaire de Builders Ecole d'Ingénieurs gère l'acquisition de données et des différents capteurs dans la veine d'essai. Il peut également servir pour le traitement et l'analyse des signaux de houle dans les domaines temporels et fréquentiels incluant l'analyse de réflexion.



Exemple de l'interface utilisateur du logiciel Wave Lab

7.1.3 Contraintes et limites d'utilisation du canal a houle

- Aucune activité biologique n'est autorisée dans le cadre des essais.
- Aucun transport de matériaux sédimentaires n'est prévu, en raison du système de filtration du canal. En limite basse, on prendra 1mm pour le D10. On accepte que les matériaux utilisés puissent contenir des fines même après lavage. Le canal est équipé d'un système de filtrage (filtre à sable, diamètre 0.4-0.8mm) avec un diamètre de coupure de l'ordre de 50 micromètres. L'utilisateur devra s'assurer que la fraction de fines résiduelles en-dessous de ce seuil est négligeable.

- Conditions de houle : Les essais seront réalisés en houle irrégulière, avec une période de pic (T_p) comprise entre 2 s et 4 s. La hauteur significative maximale (H_s) est fixée à 30 cm, en fonction du T_p retenu et sous réserve de conditions bathymétriques compatibles.
- Absence de courant : Aucun courant ne peut être généré dans le canal. Aucun investissement à court terme n'est envisagé pour la mise en œuvre d'essais couplés houle–courant.
- Durée des essais :
La durée maximale des essais est limitée à 3 heures en continu, correspondant à une demi-journée d'occupation du canal. Les essais de fatigue des matériaux ou des ouvrages sont donc exclus.
- Bathymétrie :
Le fond du canal est configurable et peut intégrer plusieurs pentes successives sur une longueur de 20 à 25 m, au sein d'un canal de 40 m. La mise en place d'une bathymétrie nécessite environ deux semaines de construction et une semaine de déconstruction. Le nombre de configurations bathymétriques est limité à deux sur une période de trois mois.
- Typologie d'essais exclue :
Les essais de type tsunami sont exclus, en raison des équipements spécifiques requis et de la longueur insuffisante du canal.
- Maquettes :
Plusieurs maquettes peuvent être testées au cours d'une même campagne, sous réserve que leur assemblage soit réalisé hors du canal.

7.1.4 Aspects financiers

- Le coût de conception et de réalisation des maquettes est à la charge du porteur de projet. Selon la complexité, l'enveloppe de coûts est estimée entre 3 000 € et 6 000 € HT.
- Des prestations intellectuelles complémentaires pourront être proposées, notamment pour l'analyse des données issues de capteurs de pression. À titre indicatif, le coût associé est estimé à 3 000 € HT.

