



Projet National

EMACOP

Energies MArines, COtières et Portuaires

Rapport de montage

(durée 4 ans)

SEPTEMBRE 2011

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	5
1 PRESENTATION GENERALE	6
1.1 Contexte	6
1.1.1 Les aménagements côtiers et portuaires.....	6
1.1.2 Les avantages	6
1.1.3 Les opportunités.....	7
1.2 Pratiques	7
1.3 Objectifs du projet	8
1.4 Organisation de la recherche	9
1.4.1 Les cinq systèmes ouvrage - dispositif (S).....	9
1.4.2 S'appuyant sur quatre groupes d'outils (O)	10
2 SYSTEMES (S) DE RECUPERATION D'ENERGIE MARINE	11
2.1 Dispositifs	11
2.1.1 Les systèmes houlomoteurs sur ouvrages neufs (S1)	11
2.1.2 Les systèmes houlomoteurs sur ouvrages anciens (S2)	12
2.1.3 Les systèmes houlomoteurs sur ouvrages détachés (S3).....	12
2.1.4 Les dispositifs marémoteurs sur bassins à flots (S4).....	13
2.1.5 Les dispositifs hydroliens sur ouvrages portuaires ou côtiers (S5).....	13
2.2 Objectifs	14
2.3 Les tâches transversales (T)	14
2.3.1 Tâche transversale T1 : Préciser les sites et leurs contraintes	14
2.3.2 Tâche transversale T2 : Sélectionner les technologies.....	16
2.3.2.1 Les systèmes houlomoteurs	16
2.3.2.2 Les systèmes hydroliens	17
2.3.3 Tâche transversale T3 : écrire le cahier des charges pour les essais.....	18
2.3.4 Tâche transversale T4 : Ecrire le rapport de faisabilité sur les sites retenus.....	19
2.3.5 Tâche transversale T5 : Liens permanents avec les maîtres d'ouvrage	19
3 OUTILS (O) NUMERIQUES ET EXPERIMENTAUX.....	20
3.1 Outils d'évaluation	20
3.1.1 Evaluation du rendement, survivabilité et fatigue (O1).....	20
3.1.2 Evaluation du potentiel houlomoteur d'un site (O2)	21
3.1.3 Impact hydrosédimentaire local et régional (O3)	22
3.1.4 Dimensionnement de l'ouvrage et étude socio-économique (O4)	23
3.2 Les tâches outils (O)	24
3.2.1 Tâche O1-1 : Etude du rendement	24
3.2.2 Tâche O1-2 : Etude de survivabilité	25
3.2.3 Tâche O1-3 : Etude de fatigue	26
3.2.4 Tâche O2-1 : Amélioration et validation des bases de données d'états de mer	27
3.2.5 Tâche O2-2 : Amélioration des outils de modélisation numérique à l'échelle côtière.....	28
3.2.6 Tâche O2-3 : Analyse et caractérisation des états de mer et du potentiel houlomoteur	29
3.2.7 Tâche O2-4 : Contribution à la prévision de production à court terme d'un système	29
3.2.8 Tâche O3-1 : Modélisation numérique de l'interface petite échelle / grande échelle.....	30
3.2.9 Tâche O3-2 : Evaluation de l'impact hydrosédimentaire local.....	31
3.2.9.1 Cas d'une digue portuaire.....	32
3.2.9.2 Cas d'une digue côtière (brise-lames détaché).....	32
3.2.9.3 Cas d'un site sans ouvrage.....	32
3.2.10 Tâche O3-3 : Etude numérique de l'impact hydrosédimentaire régional	33
3.2.11 Tâche O3-4 : Essais hydrosédimentaires numériques et physiques en bassin	33
3.2.12 Tâche O4-1 : Impact sur la fonction des ouvrages porteurs	34
3.2.13 Tâche O4-2 : Dimensionnement de l'ouvrage et étude économique	35
3.2.14 Tâche O4-3 : Impact sociétal	36
4 VALORISATION	36

5	ORGANISATION ET FONCTIONNEMENT	37
5.1	Règles de fonctionnement	37
5.2	Responsabilités des partenaires	38
5.2.1	Les systèmes houlomoteurs sur ouvrages neufs	38
5.2.2	Les systèmes houlomoteurs sur ouvrages anciens	38
5.2.3	Les systèmes houlomoteurs sur ouvrages détachés.....	38
5.2.4	Les dispositifs marémoteurs sur bassins à flots	38
5.2.5	Les dispositifs hydroliens sur ouvrages portuaires ou côtiers.....	38
5.2.6	Outils d'évaluation du rendement, survivabilité et fatigue	38
5.2.7	Les outils d'évaluation du potentiel houlomoteur d'un site	38
5.2.8	L'impact hydrosédimentaire local et régional	39
5.2.9	Dimensionnement de l'ouvrage et étude socio-économique.....	39
5.2.10	Matrice fonctionnelle	39
5.3	Partenaires potentiels.....	40
5.3.1	Maîtres d'ouvrages.....	40
5.3.2	Entreprises.....	40
5.3.3	Industriels.....	41
5.3.4	Ingénieries / Bureaux d'études.....	41
5.3.5	Centres de recherche / Laboratoires (publics – privés) / universités.....	41
5.4	Description des partenaires actifs.....	42
5.4.1	Laboratoire d'hydraulique Numérique (LHN) – CETMEF, UTC, CNRS.....	42
5.4.2	Laboratoire de Mécanique des Fluides – Equipe Hydro. Génie Océanique, Ecole Centrale de Nantes (ECN).....	43
5.4.3	Laboratoire Ondes et Milieux Complexes (LOMC), FRE CNRS 3102, Université du Havre (ULH).....	43
5.4.4	CETE de l'Ouest.....	44
5.4.5	L'IFSTTAR – Département Structures et Ouvrages d'Art.....	45
5.4.6	Open Ocean S.A.S	46
5.4.7	ISL Ingénierie	47
5.4.8	SOGREAH	49
5.4.9	IFREMER	49
5.4.10	EDF R&D – Laboratoire National d'Hydraulique et Environnement (LNHE).....	51
5.4.11	Laboratoire SIAME EA 4581 – Université de Pau et des Pays de l'Adour	52
5.5	Implication des partenaires actifs	53
5.5.1	UTC-CETMEF/LHN.....	53
5.5.2	ECN/LMF.....	53
5.5.3	ULH/LOMC.....	53
5.5.4	CETE de l'Ouest.....	53
5.5.5	IFSTTAR/SO/SMC.....	53
5.5.6	Open Ocean.....	53
5.5.7	ISL Ingénierie	53
5.5.8	SOGREAH.....	53
5.5.9	IFREMER	53
5.5.10	EDF/LNHE	54
5.5.11	UPPA/SIAME.....	54
5.6	Références des partenaires actifs	54
5.6.1	Publications UTC-CETMEF/LHN	54
5.6.2	Publications ECN/LMF	54
5.6.3	Publications ULH/LOMC	54
5.6.4	Références circonstanciées CETE de l'Ouest	54
5.6.5	Publications IFSTTAR/SOA/SMC	55
5.6.6	Publications Open Ocean.....	55
5.6.7	Références circonstanciées ISL.....	55
5.6.8	Références circonstanciées Sogreah	56
5.6.9	Publications Ifremer	56
5.6.10	Publications EDF/LNHE	56
5.6.11	Publications UPPA/SIAME.....	57
6	BUDGET PREVISIONNEL GLOBAL	58
7	PLAN PREVISIONNEL DE FINANCEMENT.....	61
8	PLANNING.....	62

Avant-Propos

Le programme initial présenté dans l'étude de faisabilité a été modifié afin de tenir compte des observations formulées par le comité d'orientation du Réseau Génie Civil et Urbain (RGCU), notamment en ce qui concerne l'acceptabilité sociétale, la recherche d'ouvrages à double fonction (digues équipées pour la récupération de la houle) et l'identification de l'économie à long terme des dispositifs proposés pour apprécier l'impact réel offert par l'énergie marine renouvelable.

Parallèlement, il est prévu d'observer les enjeux industriels résultant de ce projet.

Le budget de ce projet a été modifié pour tenir compte des modifications de programme énoncées ci-dessus. Cela se traduit par une augmentation sensible du budget due d'une part à la prise en compte pour partie des remarques du comité d'orientation du RGCU mais essentiellement pour les essais physiques et la modélisation numérique développés par quatre voire six techniques qui impliquent la réalisation de maquettes coûteuses pour valider les outils d'évaluation faisant appel à la modélisation.

Enfin, lors du lancement du projet, nous étudierons la possibilité de présenter certains axes de recherche au prochain appel à projet de l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) afin de réduire le financement assuré par le projet national.

1 PRESENTATION GENERALE

1.1 Contexte

1.1.1 Les aménagements côtiers et portuaires

Le littoral est par essence une zone dynamique exposée aux phénomènes naturels d'érosion et de submersion marine et aussi l'objet de nombreux aménagements humains. Les aménagements côtiers ont un double rôle, celui de préserver à long terme la zone littorale tout en offrant une possibilité d'aménagement face à des pressions humaines élevées. Aujourd'hui le parc est composé d'ouvrages divers, anciens et vieillissants qui vont devoir faire face aux problématiques classiques des aménagements côtiers (stabilité, durabilité, dynamique sédimentaire) mais aussi à celui de répondre efficacement aux effets du changement climatique.

Comme pour les défenses de côte, le patrimoine d'ouvrages maritimes et portuaires est vieillissant. Il doit aussi faire face à l'évolution du trafic, aussi bien en terme de taille de navire, de type et de mode de trafic qui nécessite une régulière adaptation et donc la modification voire la construction de nouveaux ouvrages permettant à la fois une bonne exploitation du port lui-même mais aussi une connexion optimale avec l'hinterland et les réseaux de distribution.

L'urgence climatique et la demande énergétique croissante ont par ailleurs poussé les différents pays à se fixer des objectifs pour limiter leurs émissions de gaz à effet de serre et à développer la part des énergies renouvelables. Dans ce cadre, les énergies marines renouvelables ont un rôle important à jouer en France qui a la deuxième façade maritime la plus grande au monde.

L'énergie marine portuaire et côtière offre certains avantages ou opportunités :

1.1.2 Les avantages

Les avantages intrinsèques de la récupération de l'énergie marine portuaire et côtière sont notamment :

- les coûts et délais d'installation sont mieux contrôlés puisque ces dispositifs sont construits à la côte et potentiellement par un plus grand nombre d'entreprises qualifiées pour le faire ;
- le transport de l'énergie est simplifié grâce à la proximité entre la source et le lieu d'emploi : permettant ainsi aux communes littorales d'obtenir une énergie propre et locale pour des éco-quartiers côtiers et littoraux tout en diminuant les impacts et les coûts associés aux infrastructures de transport d'électricité et à leur entretien ;
- l'entretien et la maintenance des dispositifs qui est facilité par la localisation sur le rivage ou à proximité du rivage ; ainsi les temps d'immobilisation sont mieux contrôlés et les coûts plus faibles qu'en pleine mer ;
- la fonction de récupération d'énergie étant combinée ou ajoutée à la fonction première de l'ouvrage, ses coûts d'installation pourraient être intégrés à celui de l'ouvrage ou bien elle pourrait être une source de revenus pour l'autorité en charge des aménagements.

1.1.3 Les opportunités

Dans le contexte présenté plus haut, l'énergie marine portuaire et côtière offre certaines opportunités :

- s'il est vrai que les installations off-shore induisent de nouveaux impacts sur l'environnement, les aménagements côtiers et portuaires 'traditionnels' sont une réponse à des pressions socio-économiques ou climatiques croissantes. La récupération de l'énergie lors de la construction ou l'adaptation de ces aménagements permettrait de minimiser (voire de rendre positif) ces impacts environnementaux dans la mesure où une partie de l'énergie serait absorbée au lieu d'être réfléchi. L'utilisation de digues comme « centrales électriques » est d'autant plus facile à accepter qu'une zone industrialo-portuaire est déjà dédiée à une activité industrielle.
- en réponse aux conséquences du changement climatique et au vieillissement des ouvrages parfois anciens, on peut raisonnablement envisager que des ouvrages existants vont devoir être adaptés (e.g. pour en limiter la probabilité de franchissement, voire de rupture). Il est aussi raisonnable d'envisager que des ouvrages nouveaux vont devoir être construits soit pour défendre directement le littoral ou maintenir suffisamment abritées des zones portuaires soit pour maintenir en place des structures naturelles de protection telles que les plages ou les dunes.

La mise en place de tels ouvrages aurait également un impact économique pour les communes y adhérant avec la création d'emplois spécifiques non délocalisables.

1.2 Pratiques

Dans le domaine littoral, les sources d'énergies marines de type hydraulique proviennent de la houle, des marées et des courants. Ces sources d'énergie sont présentes sur la totalité des côtes françaises y compris les DOM – TOM mais dans une moindre mesure en Méditerranée.

Les systèmes houlomoteurs sont en général classés en trois catégories : 1/ les systèmes à colonne d'eau oscillante 2/ les systèmes oscillants flottants ou non 3/ les systèmes à franchissements.

En matière de systèmes houlomoteurs une multitude de concepts et prototypes très divers existent mais les informations sur le rendement ou bien sur la survivabilité des systèmes sont rares.

Même si le potentiel exploitable pour les courants et la houle a été déterminé, ce travail n'est pas utilisable directement dans le domaine côtier à faibles profondeurs. Dans ce domaine, en effet, il faut prendre en compte les interactions houle – marée.

Le potentiel exploitable à la côte reste à déterminer.

De même les outils pour déterminer l'impact hydrosédimentaire des systèmes ne sont pas encore au point à l'échelle locale et régionale. L'impact hydrosédimentaire se décline sur deux plans : 1/ hydraulique : Comment l'ouvrage, doté ou non de sa fonction de récupération d'énergie, modifie les champs de houle et de courant (réflexion, absorption de la houle) ? 2/ sédimentaire : quel est l'impact de l'ouvrage à l'échelle régionale sur les transports sédimentaires et à l'échelle locale lorsque l'ouvrage est dans un environnement sur fond mobile ?

Les outils d'étude d'impact hydrosédimentaire restent à adapter.

Aucun projet n'a vu le jour en France et quelques projets sont installés dans le monde – le plus souvent des systèmes à colonne d'eau oscillante. Un dispositif est ainsi en construction à Mutriku au Pays Basque espagnol. La recherche sur ce thème émerge et semble progresser désormais très rapidement.

La France doit se lancer elle aussi dans la technologie sur des sites d'étude. Il faudra pouvoir y estimer l'énergie récupérable, le coût de revient du kWh, l'impact hydrosédimentaire, l'impact sur l'ouvrage,...

Nous nous intéressons aux ouvrages côtiers - ouvrage côtier détaché, pont, route littorale - et aux ouvrages portuaires - écluse portuaire, digue (adaptation d'ouvrage ancien ou ouvrage neuf).

Des problématiques plus ou moins particulières à la France émergent :

- de manière générale, quel système houlomoteur préconiser sur un ouvrage neuf ? Quel est son impact sur le dimensionnement de l'ouvrage aux événements extrêmes ?
- comment adapter nos digues qui sont la plupart des ouvrages anciens ? Quelle adaptation pour un ouvrage perforé du type Caisson Jarlan ? Il y a-t-il un intérêt à utiliser la réflexion sur l'ouvrage pour augmenter l'efficacité d'un dispositif détaché devant la digue ?
- comment utiliser les systèmes houlomoteurs pour limiter l'érosion sédimentaire : problématique de l'érosion des plages côtières et celle de l'érosion devant les digues ?
- la Manche avec ses systèmes macrotidaux – Comment optimiser le mode de gestion de ports à flots en matière de récupération de l'énergie marémotrice ?
- quels systèmes utiliser sur les piles de pont et les jetées ? Les systèmes mixtes houle / courants ont-ils un intérêt ? Quel effort supplémentaire est repris par les piles ? Dans le cadre de la remontée du niveau moyen de la mer, des projets barrières anti-tempête – pont – hydroliennes peuvent-ils voir le jour en estuaire ?

Des préconisations, des recherches complémentaires, des adaptations et des innovations sur les technologies sont nécessaires.

1.3 Objectifs du projet

Le projet est centré sur les ouvrages multifonctionnels sur petits fonds doté d'un dispositif de récupération d'énergie hydraulique. Nous avons affaire à un système ouvrage / dispositif de récupération soumis aux caractéristiques et contraintes de site.

1 - Le projet a d'abord pour objectif de mieux caractériser le potentiel exploitable et le rendement des technologies existantes afin d'aider le maître d'ouvrage dans ses choix d'aménagement. Une attention particulière sera aussi portée à la survivabilité du système, c'est-à-dire sa capacité à fonctionner ou par défaut à se maintenir en état lors d'événements extrêmes. Ce travail se déclinera sur une famille d'ouvrages déterminés : les ouvrages portuaires, les ouvrages côtiers, les ouvrages routiers littoraux. On distinguera la construction d'ouvrages neufs et l'adaptation d'ouvrages anciens. Les dispositifs de récupération seront classés en trois catégories : récupération de l'énergie de la houle, de la marée et des courants. Le calcul du potentiel houlomoteur exploitable demandera un travail d'adaptation particulier des bases de données existantes qui ne prennent pas en compte l'effet de la marée sur la houle. Cet effet devient très important en petites profondeurs.

2 - Un travail particulier de sélection et d'adaptation des technologies sera mis en œuvre en même temps qu'une action d'innovation sur les technologies. Cette innovation pourra porter soit sur

l'adaptation de technologies existantes, soit dans la proposition de nouveaux concepts. Sur ce dernier point : quelques objectifs technologiques seront mis en avant : adapter un dispositif sur un ouvrage ancien, exploiter au mieux la réflexion de la houle sur les ouvrages, réduire l'érosion côtière sur des ouvrages détachés, la récupération mixte houle –courants sur des rotors d'hydroliennes, ...

3 - L'impact hydrosédimentaire des systèmes sera analysé dans l'idée d'utiliser au mieux les systèmes houlomoteurs dans une optique de protection de côte. De même la réduction de la houle réfléchie sur les digues pourrait avoir un effet bénéfique en termes d'érosion côtière. Cette étude d'impact hydrosédimentaire doit se dérouler à grande échelle, soit à une échelle dite régionale. Une interface sera développée entre les résultats des études locales autour de l'ouvrage et les modèles régionaux.

4 – L'impact de l'intégration d'un système convertisseur sur les fonctions et la stabilité d'un ouvrage ancien sera déterminé. Pour un ouvrage neuf, l'évolution du dimensionnement sera estimée. On en déduira les conséquences en termes de coûts de construction. Une analyse de l'acceptation sociale de ces projets industriels sera produite en parallèle.

5 - Il s'agit enfin de tester l'applicabilité de ces concepts sur des sites d'étude. Afin de couvrir la diversité des configurations du littoral Français, une quinzaine de sites d'étude est proposée. Ces sites ont été choisis afin de pouvoir traiter une variété suffisante de type d'ouvrages et de forçage hydrodynamique. Les sites sont répartis sur la façade Atlantique, Manche – Mer du Nord, Méditerranée et Océan Indien. Ce travail devrait permettre d'estimer le coût du kWh associé à un dispositif de récupération d'énergie sur le site d'étude.

1.4 Organisation de la recherche

Le projet est basé sur deux entrées principales :

- les familles ouvrage/dispositif de récupération d'énergie qui seront elles –mêmes illustrées par les sites d'étude ;
- quatre groupes d'outils permettant le développement de ces dispositifs.

1.4.1 Les cinq systèmes ouvrage - dispositif (S)

Récupérant l'énergie houlomotrice :

- S1 - les digues de type ouvrage neuf
- S2 - les digues de type ouvrage ancien
- S3 - les ouvrages côtiers détachés de protection du trait de côte

Récupérant l'énergie marémotrice :

- S4 - les ouvrages portuaires : écluse portuaire

Récupérant l'énergie des courants :

- S5 : les piles de ponts et jetées équipées d'hydroliennes

Pour chaque famille, il s'agira :

- d'assurer une pré-sélection des technologies existantes. Les critères de base proposés sont les suivants : ratios énergétiques (énergie/volume, énergie/surface, énergie/largeur de capture), efforts-coûts-survivabilité, impacts, systèmes de conversion, maintenance,...

- de collecter les données, de définir les objectifs et contraintes d'utilisation sur les sites d'étude
- de proposer quelques adaptations ou concepts d'innovation
- d'en déduire un programme d'essais pour les thèmes « Outils »
- d'utiliser les résultats des thèmes « Outils » pour évaluer l'intérêt des technologies sur les sites d'étude (énergie récupérable, coût de revient du kWh, impact hydrosédimentaire, impact sur l'ouvrage,...)

Les cinq systèmes ouvrages/dispositifs sont illustrés par des sites d'étude parmi les suivants :

- S1 : trois sites : digues de Saint-Jean de Luz (Pyrénées Atlantiques), route littorale en remblais (île de la Réunion) et Calais (Pas de Calais)
- S2 : trois sites : Caisson Jarlan du Port de Dieppe (Seine Maritime), digue à talus avec blocs cubiques du terminal pétrolier d'Antifer (Seine Maritime) et digue verticale de Penmarch (Finistère)
- S3 : deux sites : Noirmoutier (Vendée) et un site méditerranéen tel que Valras
- S4 : deux sites : écluse portuaire du Port du Havre (Seine Maritime) et Boulogne (Pas de Calais)
- S5 : cinq sites : estuarien, portuaire, canalisé, pont, jetée

Le travail sur ces cinq tâches consiste d'une part à établir les concepts et d'autre part à les illustrer sur les sites d'étude.

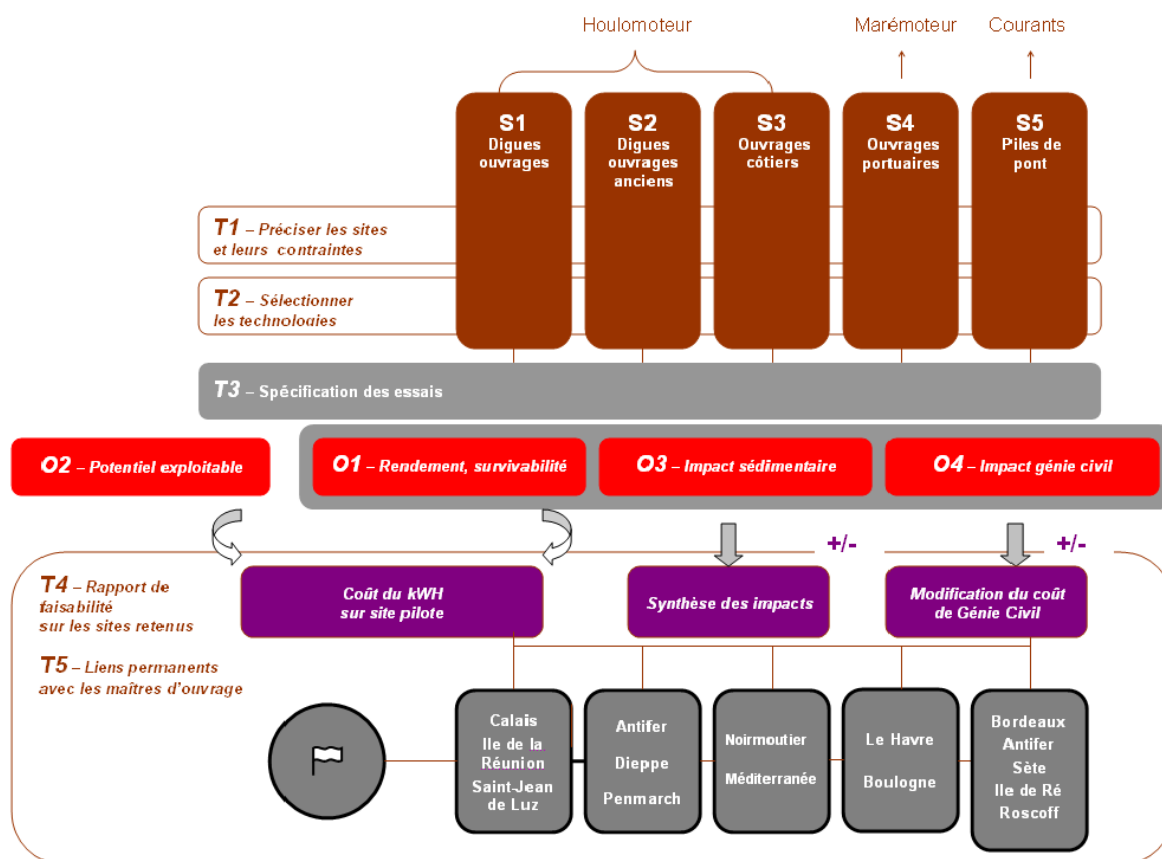
1.4.2 S'appuyant sur quatre groupes d'outils (O)

Ces tâches amont sont complétées par le développement et l'utilisation de quatre groupes d'outils basés sur des modèles numériques et expérimentaux relatifs à :

- O1 - à l'étude du rendement, de la survivabilité et de la fatigue du dispositif de récupération de l'énergie. Des essais sur modèles réduits seront menés durant cette tâche.
- O2 - à l'évaluation du potentiel exploitable sur chaque site d'étude à partir notamment de la modélisation des états de mer en mode hindcast en ce qui concerne les systèmes houlomoteurs en étendant la validité des bases de données disponibles jusqu'aux ouvrages côtiers et portuaires.
- O3 - à l'impact hydrosédimentaire local du système ouvrage / dispositif et l'impact hydrosédimentaire régional à grande échelle d'un système ou d'une ferme de systèmes. L'interface entre les modèles locaux cités précédemment et les modèles régionaux devra être mise au point.
- O4 - à l'impact du dispositif sur le dimensionnement mécanique de l'ouvrage, sur l'évaluation économique d'un projet d'aménagement d'ouvrage pour récupérer de l'énergie marine et sur les impacts sociétaux.

Ces quatre tâches regroupent essentiellement des essais en laboratoire, des travaux de modélisation numérique et une étude socio-économique.

Le schéma d'organisation proposé est synthétisé sur le graphique suivant :



2 SYSTEMES (S) DE RECUPERATION D'ENERGIE MARINE

2.1 Dispositifs

Les structures maritimes de protection des ports contre la houle sont formées de digues à talus perméables, de digues verticales ou de digues composites. Elles stoppent la houle par dissipation de leur énergie ou par réflexion vers le large. Les digues à talus sont des ouvrages dont la face avant est à talus composée soit d'enrochements naturels soit de blocs béton. Les digues verticales sont des ouvrages en béton ou en maçonnerie dont la face avant est verticale ou très fortement pentue. Parmi les digues verticales, on distingue les digues perforées du type Caisson Jarlan qui ont la particularité de moins réfléchir la houle que les digues pleines. Il faut enfin distinguer les ouvrages à la côte et les ouvrages détachés.

Les sites d'études décrits ci-dessous sont ceux pressentis mais pourront être modifiés dans le cadre du projet.

2.1.1 Les systèmes houlomoteurs sur ouvrages neufs (S1)

Il s'agit d'étudier l'opportunité de doter de nouveaux ouvrages de protection côtière d'une fonction secondaire de récupération de l'énergie de la houle, à l'image de Mutriku (pays basque espagnol) dont la digue de protection du port a été adaptée lors de la construction pour recevoir une usine de production d'électricité par récupération de l'énergie de la houle (système WAVEGEN à colonne oscillante). Les ouvrages considérés sont des digues littorales dont la construction est nécessaire

pour protéger un bassin portuaire nouveau, une route littorale ou une zone urbanisée ou industrielle contre les submersions par surcote ou franchissement des vagues. La fonction première de l'ouvrage reste d'assurer une défense côtière efficace et pérenne.

Les trois sites d'étude pressentis pour (S1) correspondent à trois projets identifiés d'ouvrages nouveaux ou d'ouvrages anciens pour lesquels des travaux de reconstruction sont envisagés :

- le port de Calais, qui prévoit la construction d'une digue de protection d'un nouveau bassin portuaire ;
- la route littorale de l'île de la Réunion, dont il est envisagé de décaler offshore un tronçon sur une digue à construire ;
- la baie de Saint-Jean-de-Luz, pour laquelle la pérennité à long terme des digues de protection est posée. La problématique de ce site est à cheval avec celle des ouvrages anciens (S2). Le maître d'ouvrage a l'alternative de maintenir les ouvrages actuels, mais la pérennité à long terme de l'ouvrage actuel et l'importance des travaux pour ajouter un système de récupération de l'énergie nous conduisent à considérer ce projet comme un ouvrage neuf.

2.1.2 Les systèmes houlomoteurs sur ouvrages anciens (S2)

En France métropolitaine (hors Corse), 179 kilomètres de digues portuaires ont été répertoriés : 40 km de digues verticales et 139 km de digues à talus dont :

- 113 km de digues à talus en enrochement naturel ;
- 26 km de digues à talus avec une carapace en blocs bétons.

Ces ouvrages de protection des zones portuaires peuvent être adaptés pour récupérer l'énergie de la houle. Il s'agit de repérer ou de développer les technologies de récupération de l'énergie houlomotrice les plus adaptées à chaque type d'ouvrage.

Les quatre sites d'étude pressentis pour (S2) correspondent à quatre ouvrages portuaires anciens de type différent :

- le terminal pétrolier d'Antifer – digue à talus avec carapace en blocs cubiques rainurés ;
- le port de Dieppe – digue verticale perforée de type caisson Jarlan ;
- le port de Penmarch – digue verticale pleine ;
- la digue flottante de Monaco – digue flottante.

2.1.3 Les systèmes houlomoteurs sur ouvrages détachés (S3)

Les vagues sont affaiblies à l'approche du rivage lorsque la profondeur d'eau diminue. Si on cherche à exploiter l'énergie houlomotrice, il est donc intéressant d'implanter les installations à une certaine distance de la côte, là où la ressource est plus abondante. Il existe déjà plusieurs technologies de systèmes houlomoteurs destinés à être ancrés au large. Ils peuvent soit être flottants, maintenus en place par des lignes d'ancrage, soit posés sur le fond. Les systèmes développés jusqu'à présent ont pour seul objectif de produire de l'énergie électrique. Leur effet sur la force des vagues, en particulier celles contournant les dispositifs et se dirigeant vers la côte, n'est pas étudié. Tous les systèmes ne sont pas équivalents de ce point de vue. Si certains de taille modeste par rapport à la longueur d'onde de la houle s'avèrent relativement transparents et n'affectent guère les vagues, d'autres peuvent réfléchir ou diffracter la houle et changer radicalement le champ de vagues alentour. On peut même obtenir, voire rechercher, un effet de lentille de concentration de l'énergie

en des points privilégiés. Les effets du système envisagé dépendent du site, notamment de la bathymétrie et de la nature du sol. Les résultats en termes de protection du rivage ne sont pas évidents et doivent soigneusement être évalués.

Les deux sites d'étude pressentis pour (S3) correspondent à deux ouvrages détachés :

- les plages de Noirmoutier – zone soumise à une érosion marine pour laquelle l'influence potentielle d'une extraction partielle de l'énergie des vagues mérite d'être étudiée ;
- une plage sur la côte méditerranéenne déjà protégée par un ouvrage détaché candidat pour recevoir un dispositif de récupération de l'énergie des vagues ou bien une plage de poche en érosion devant être protégée ;

2.1.4 Les dispositifs marémoteurs sur bassins à flots (S4)

L'influence des marées est très marquée en Manche avec des marnages de l'ordre de 5 à 11 m le long du littoral. Sur la façade atlantique le marnage est plus faible, de l'ordre de 3 à 5 m. Les marées constituent une ressource d'énergie très importante. Elles sont le résultat d'une onde propagative dont le moteur est l'attraction du soleil et de la lune ; ce qui la rend parfaitement prédictive. Cette énergie se présente sous deux formes. La première est due aux courants de marée, donc sous forme d'énergie cinétique. Actuellement, les dispositifs envisagés pour récupérer cette énergie sont les hydroliennes. La deuxième forme d'énergie des marées est caractérisée par la variation du niveau de la mer, il s'agit d'énergie potentielle. C'est la récupération de cette dernière dont il est question ici. Actuellement, l'usine marémotrice de la Rance, mise en eau en 1966, est le seul dispositif d'envergure (240 MW) de récupération de l'énergie marémotrice sous forme potentielle dans le monde mais des projets de grande ampleur sont annoncés au Canada, en Corée (260 MW) et en Chine. Les freins au développement de dispositifs de grande puissance sont liés, en particulier, à l'emprise littorale nécessaire dans des zones de fort marnage et à une empreinte écologique délicate. L'objectif général du projet étant la récupération d'énergie associée aux ouvrages portuaires et côtiers nous excluons de ce projet les études d'endiguement de zones estuariennes comme c'est le cas pour l'usine de la Rance. De même nous excluons de notre périmètre les concepts d'atolls artificiels généralement offshore. Certains bassins portuaires soumis, au moins partiellement, à la marée peuvent avoir des surfaces très importantes (Le Havre par exemple). En fonction des variations de niveau dues à la marée, les volumes d'eau transitant entre ces bassins et l'extérieur peuvent être importants et constituer une source d'énergie à récupérer.

2.1.5 Les dispositifs hydroliens sur ouvrages portuaires ou côtiers (S5)

Les courants côtiers sont d'autant plus importants que la bathymétrie ou la canalisation favorise l'accélération de l'écoulement. Les sites à fort courant comme le Raz de Sein, le Fromveur, Paimpol-Bréhat, le Raz Blanchart, constituent les cas d'études des hydroliennes à forte capacité, supérieure au MW. L'éloignement de ces sites par rapport aux côtes constitue une contrainte technique et financière majeure pour le raccordement électrique. Une ressource peu exploitée est néanmoins disponible à proximité des côtes dans différentes configurations :

- courant dans un estuaire ou un fleuve sensible à la marée ;
- courant entre une île et la côte lorsque celles-ci sont proches ;
- courant traversier sur le littoral et le long des aménagements portuaires.

Ces configurations conduisent à envisager la valorisation des ouvrages de types « piles de ponts » et toutes constructions qui peuvent équiper ces sites : ponts, jetées, digues, écluses,...

Les dispositifs convertisseurs de l'énergie des courants ainsi envisagés sont a priori de puissance individuelle modérée (quelques dizaines de kW) mais peuvent être installés en quantités importantes. Leur raccordement au réseau est relativement aisé compte tenu de la proximité à la côte et des infrastructures existantes, lesquelles permettent aussi dans bien des cas des accès pour les procédures d'inspection et de maintenance. L'énergie produite peut éventuellement être employée localement sans raccordement au réseau électrique (éclairage, stockage, manœuvre de systèmes,...). Selon la configuration des lieux et la résistance avérée des structures, les dispositifs pourront être portés par ces structures qui endureront des surcharges ou placés à proximité, « à l'abri » d'autres activités (navigation, pêche,...) mais dans des conditions d'alimentation favorables. Outre les conflits d'usage précités, les impacts environnementaux doivent être examinés.

Pour (S5) plusieurs types de sites sont examinés parmi lesquels certains peuvent déjà être identifiés :

- un site fluvial ou estuarien comme le Pont de Pierre à Bordeaux pour lequel un projet d'étude est amorcé (Site Expérimental Estuarien National pour l'Essai et l'Optimisation d'Hydroliennes) ;
- un site portuaire comme celui du terminal d'Antifer dont la digue pourrait accueillir également des systèmes houlomoteurs (tâche S2) ;
- un site canalisé (Canaux de Sète assurant la communication entre l'étang de Tau et la mer) ;
- un site mettant en jeu un pont reliant une île (Noirmoutier, Ré) à la côte ;
- un site mettant en jeu une jetée (Roscoff,...).

2.2 Objectifs

Les objectifs de l'axe sur les systèmes est d'aboutir au terme du projet à la synthèse :

- des éléments généraux sur l'opportunité de doter des ouvrages d'équipement de récupération de l'énergie de la houle, appuyés sur des estimations des travaux nécessaires, du potentiel énergétique pouvant être capté, et du coût de la production d'électricité.
- des études appliquées à des sites, relevant d'environnements dynamiques (houles, marées) et de conditions de fonds différents.
- des dossiers d'avant projets de construction, qui seront fournis aux maîtres d'ouvrage des sites étudiés, afin de leur donner toute l'information disponible leur permettant d'apprécier le potentiel de tels équipement et de motiver leur décision de poursuivre ou non les études et la réalisation de l'équipement.

Il pourra être proposé aux fournisseurs de technologies de récupération de l'énergie de la houle de s'associer de façon indépendante au projet.

Le programme de recherche est organisé avec des tâches communes à tous les systèmes retenus lors de l'étude de faisabilité (tâches transversales).

2.3 Les tâches transversales (T)

2.3.1 Tâche transversale T1 : Préciser les sites et leurs contraintes

L'étude de faisabilité nous a conduit à proposer une quinzaine de sites sur lesquels on envisagera l'étude de l'implantation d'un ouvrage de protection côtière doté d'une fonction secondaire de

récupération d'énergie marine. Les configurations et les environnements des sites nous les ont fait classer en catégorie d'ouvrages (S1 à S5) et l'étude de faisabilité a déjà suggéré des choix de technologies. Le programme devra réduire le nombre de sites et resserrer de technologies pour augmenter la connaissance dans le domaine et aboutir à des propositions permettant d'accroître le degré de maturité de ces technologies. Il a paru prématuré de prendre ces décisions à l'issue de l'étude de faisabilité, car nous disposons pour le moment pour l'ensemble des sites d'une vision incomplète et hétérogène sur les projets des maîtres d'ouvrage et sur leur intérêt pour le programme EMACOP. L'objet de la tâche T1, qui sera menée au cours de la première année, sera d'aboutir à la sélection des sites et des technologies sur lesquels le programme se concentrera les années suivantes.

Le nombre important de sites considéré au cours de la première année nous conduira à travailler d'abord dans le cadre des tâches S1 à S5, dont les programmes détaillés sont similaires, mais les choix définitifs des sites sera effectué dans le cadre de la tâche transversale T1, de manière à ce que ces choix soient la synthèse de l'ensemble des tâches S.

L'intérêt des maîtres d'ouvrages pour les énergies marines et le programme EMACOP est un élément déterminant pour le choix définitif des sites. Les visites et échanges menés au cours de la première année avec les maîtres d'ouvrage viseront en particulier à prendre connaissance des projets des maîtres d'ouvrage pour la construction ou la rénovation d'ouvrages de protection. Dans l'hypothèse où le maître d'ouvrage aurait un projet de doter un ouvrage d'une fonction de récupération d'énergie marine, on envisagera de quelle manière son étude pourrait être intégrée ou associée au programme EMACOP.

Programme détaillé (S1 – S2 – S3 – S4 – S5)

Année 1	Cette tâche se déroulera quasi intégralement au cours de la première année. Le choix définitifs des sites sera effectué en fin de première année. Les sites sont à confirmer en fonction de l'intérêt du maître d'ouvrage et de ses projets de construction ou de rénovation d'ouvrages qui pourraient intégrer une fonction de récupération de l'énergie marine. Une visite de site et un entretien avec le gestionnaire sont prévus afin de définir les opportunités et les contraintes. Il s'agira de préciser : - Le climat de houle, les courants et marnage ; - Les caractéristiques de l'ouvrage ; - Les critères de dimensionnement s'ils sont connus ; - La durée de vie de l'ouvrage dans sa fonction actuelle et sa capacité à supporter des efforts mécaniques supplémentaires ; - La longueur de digue pouvant potentiellement être équipée ; - Les besoins de consommation énergétique locaux ; - Les contraintes de raccordement au réseau électrique ; - Les contraintes de nature environnementale et sociétale ; - Une estimation sommaire du potentiel.
------------	---

Année 2	Pour S4, le fonctionnement actuel des bassins sera analysé afin de déterminer le potentiel énergétique. Des études prospectives seront réalisées pour estimer le potentiel énergétique récupérable avec des conditions de fonctionnement des bassins optimisées de ce point de vue.
------------	---

L'étude de la fonction première de l'ouvrage ainsi que l'acceptabilité sociétale de l'implantation d'un dispositif de récupération de l'énergie sont abordées dans cette tâche mais seront approfondies dans le cadre du lot O4.

2.3.2 Tâche transversale T2 : Sélectionner les technologies

2.3.2.1 Les systèmes houlomoteurs

L'état de l'art synthétisé par l'étude de faisabilité a classé les systèmes de récupération de l'énergie de la houle en cinq catégories :

- les systèmes à franchissement ;
- les systèmes oscillants ;
 - ✓ systèmes de type batteur inversé ;
 - ✓ systèmes oscillants (translation ou rotation) ;
- les systèmes à colonne d'eau oscillante ;
- les autres systèmes, dont les principes ne rentrent pas dans les catégories ci-dessus.

Dans le cadre de la tâche T2, commune aux tâches S1, S2 et S3, l'étude de l'état de l'art (bibliographie et base de données de brevets) sera poursuivie pour évaluer l'adaptation de ces technologies dans le cadre d'infrastructures portuaires ou côtières. L'étude pourra donc nous amener à écarter certains types de dispositifs si la pertinence d'une installation côtière n'est pas confirmée.

L'objet de la tâche T2 est d'aboutir à la fin de la première année au choix des technologies pour les différents sites. Ces choix seront effectués en regard des sites retenus (tâche T1). Le programme EMACOP a vocation de contribuer à faire progresser la maturité des technologies houlomotrices. Les choix de technologies sur lesquelles le programme EMACOP se concentrera les années 2, 3 et 4 seront faits en prenant en compte le degré de maturité de ces technologies, tout en veillant à ce que les choix de sites et de technologies se différencient suffisamment dans le cadre de ce projet de recherche technologique.

L'état de l'art international a abouti au classement des technologies cité plus haut. (Voir par exemple "Antonio F. de O. Falcao - Renewable and Sustainable Energy Reviews - Wave energy utilization: A review of the technologies". Même si l'on peut classer les technologies, nous avons peu d'éclairage sur le tri des technologies parmi la centaine de brevets et le millier de concepts. Des travaux récents comme "Aurélien Babarit, Jørgen Hals - On the maximum and actual capture width ratio of wave energy converters – EWTEC 2011" fournissent des valeurs comparatives du taux d'absorption de l'énergie des vagues par unité de largeur en fonction des technologies. La maturité des technologies ne nous semble pas un critère suffisant pour écarter les nouvelles technologies prometteuses en particulier françaises. Cette sélection de technologies n'est pas un travail anodin. Elle nous semble une phase très importante du projet qui ne peut pas s'effectuer rapidement dans le cadre de l'étude de faisabilité. Les recherches se sont pour l'instant focalisées au large et les conclusions n'existent pas

sur l'efficacité des systèmes en zone côtière. Les sites et les ouvrages côtiers/portuaires étant très divers, une solution peut être adaptée sur un site et pas du tout pour un autre. Il nous semble utile enfin de favoriser la variété et la diversité à ce stade de façon à obtenir des retours d'expériences sur des technologies différentes.

L'objectif ici est donc d'établir une revue la plus large possible des systèmes et principes en effectuant :

- une revue des bases de données de brevets ;
- une étude bibliographique.

Programme détaillé (S1 – S2 – S3)

Année 1	Cette tâche se déroulera intégralement au cours de la première année. Dans un premier temps, les dispositifs seront classés à partir de critères qualitatifs parmi lesquels on peut citer : - la faisabilité de la technologie ; - l'adaptabilité aux variations des conditions du site : climat de vagues moyen, profondeur d'eau, marée (marnage), courants ; - la survivabilité en conditions extrêmes / robustesse ; - la capacité à absorber l'énergie des vagues ou repli en conditions extrêmes ; - le nombre de parties mobiles ; - la maintenabilité, accessibilité et opérabilité ; - les impacts environnementaux (sonore, visuel, hydrosédimentaire, navigation, faune/flore) ; - les impacts sur les fonctions de l'ouvrage ; - la production d'énergie estimée ; - les coûts totaux du projet (système seul ou surcoût sur un projet de génie civil) ; - en conclusion : le coût du kWh installé. - ... Après avoir établi un premier classement et un premier tri des dispositifs, en prenant en compte les contraintes liées à une installation côtière ou portuaire donnée, on évaluera également la pertinence du couplage de ces dispositifs avec ces infrastructures.
------------	--

Les fournisseurs de technologie pourront être associés à cette tâche, en bénéficiant des éléments recueillis sur les sites dans le cadre du projet, et en contribuant à l'estimation des paramètres pour les technologies qu'ils développent.

2.3.2.2 Les systèmes hydrolieus

La recherche de systèmes hydrolieus adaptés au contexte du lot S5 peut en première approche être conduite parmi les concepts suivants :

Hydroomel	www.ecocinetic.fr
Harvest	www.grenoble-inp.fr/recherche/
Tocado	www.tocado.com
Ecofys Wave Rotor	www.c-Energy.nl (houle+courant)
Hydro-Gen	www.hydro-gen.fr

Blue Energy www.bluenergy.com
Sabella www.sabella.fr

Programme détaillé (S5)

Année 1	Une première analyse multicritère des technologies envisage les points suivants : - faisabilité et fiabilité de la technologie ; - efficacité énergétique en fonction des différentes échelles de temps (jours, saisons) ; - capacité s'il y a lieu à endurer l'action des vagues, voire l'exploiter ; - survie en conditions extrêmes ; - inspection et maintenance ; - impacts environnementaux et sociaux (acoustique, électromagnétique, sédimentaire, biologique, visuel, navigation, pêche,...) ; Une seconde analyse croisée envisage les couples (dispositif, support) : - impact des technologies sur les fonctions et la tenue des ouvrages supports potentiels (efforts endurés, vibrations, fatigue,...) ; - coûts des projets (selon le cas sur support ancien ou neuf) ; - coût du kWh installé. A l'issue de cette analyse trois à quatre configurations devraient être identifiées et être l'objet des études expérimentales et numériques ultérieures.
Années 2 et 3	Etude détaillée des configurations retenues : - optimisation des caractéristiques des dispositifs énergétiques envisagés (tailles, puissances,...) - analyse des supports neufs ou anciens et leur capacité à accueillir des dispositifs - modélisation numérique des systèmes couplés support+dispositif - essais en bassin de systèmes couplés support+ dispositif - analyse des essais et recoupement avec les résultats numériques Etude des impacts : - environnemental - humain
Année 4	Synthèse et rapport

2.3.3 Tâche transversale T3 : écrire le cahier des charges pour les essais

La tâche T3 est une tâche transversale aux tâches O et S. Les tâches O effectueront les essais dans les phases ultérieures du programme. Les tâches S auront pour rôle de formuler des propositions en regard des sites choisis et des technologies envisagées pour ces sites.

Programme détaillé

Année 2	En fonction des résultats de la tâche 2, un cahier des charges pour les essais en bassin
---------	--

	expérimental ou bassin numérique (tâche O1 – O3 – O4) sera établi. Ce cahier des charges définira à la fois les conditions d'essai et les paramètres à mesurer. L'objectif de ces essais est de calculer ou mesurer les paramètres estimés de manière grossière dans la tâche 2. Une attention particulière sera portée aux aspects structurels et au couplage hydrodynamique susceptible de conduire à des vieillissements accélérés voire des ruines (en lien avec la tâche O4-1), le cahier des charges des essais en bassin est donc assorti d'un cahier des charges précis des calculs numériques à conduire et des grandeurs d'intérêt à mesurer et calculer pour validation. Les essais peuvent conduire à un large éventail de possibilités depuis l'évaluation d'une hydrolienne en eau libre, d'hydroliennes en groupe, en présence d'une structure support, jusqu'aux effets hydro-sédimentaires sur un site particulier.
--	--

2.3.4 Tâche transversale T4 : Ecrire le rapport de faisabilité sur les sites retenus

Cette tâche transversale sera assurée au sein des tâches S1 à S5 pour chaque site retenu, en intégrant les études spécifiques à chaque site et en synthétisant les résultats et données issues des tâches O1-O2 -O3-O4 plus particulièrement pertinentes pour chaque site.

Les tâches O resteront à un niveau assez générique : mise en place des outils et des méthodes d'évaluation énergétique et d'impact pour toutes les technologies. La tâche T4 servira de support pour l'application de ces méthodes et outils aux sites retenus.

Programme détaillé

Année 4	Le livrable final du projet consistera en la remise d'un rapport pour chaque site pilote aux autorités responsables du site, faisant le bilan sur la faisabilité d'une telle implantation et synthétisant l'ensemble des éléments des pré-projets élaborés. Un document de synthèse et de confrontation des études réalisées sur les différents sites sera enfin fourni. Son objet sera d'effectuer un débat contradictoire et une analyse des différents projets qui auront émergé.
------------	--

2.3.5 Tâche transversale T5 : Liens permanents avec les maîtres d'ouvrage

Il sera établi un lien permanent avec les maîtres d'ouvrage à partir de la seconde année. Les sites seront en effet définitivement sélectionnés dans le courant de la première année.

De même des contacts permanents seront établis avec les fournisseurs de technologies même si le projet gardera une certaine autonomie vis-à-vis des différents fournisseurs.

Programme détaillé

Années 2, 3 et 4	Des réunions bilatérales seront organisées régulièrement avec les maîtres d'ouvrage. De même les contacts bilatéraux avec les fournisseurs de technologies seront établis.
------------------------	---

3 OUTILS (O) NUMERIQUES ET EXPERIMENTAUX

3.1 Outils d'évaluation

3.1.1 *Evaluation du rendement, survivabilité et fatigue (O1)*

Selon l'Agence Internationale de l'Energie, plus d'une centaine de systèmes de récupération des énergies marines renouvelables seraient en développement de par le monde. Parmi eux, plusieurs présentent des possibilités d'intégration dans des ouvrages côtiers ou portuaires. Des évaluations basées sur des critères objectifs sont nécessaires afin de faire le tri entre ces différentes possibilités et de déterminer les solutions les plus intéressantes. Ces critères sont, notamment:

- le rendement des machines : il s'agit là d'évaluer la production d'énergie des machines. Notons cependant que ce critère est une condition nécessaire mais pas suffisante à l'évaluation de la viabilité économique (prix du kWh). En effet, il donne une idée de nombre de kWh produit mais pas du prix. On peut partiellement palier à cette difficulté en considérant la production d'énergie par rapport à la masse de la machine, à sa surface mouillée,...
- la survivabilité des technologies : c'est là l'évaluation de la capacité à survivre aux conditions extrêmes des technologies. Ce critère donne une idée du coût, en considérant que plus les efforts extrêmes sont faibles par rapport au niveau moyen, moins le coût sera élevé.

Malheureusement, il n'y a que peu, voire pas de données chiffrées disponibles dans la littérature sur ces critères, et les développeurs sont peu enclins, lorsqu'ils disposent de ces données, à les diffuser (le secteur est en effet très concurrentiel). C'est également parce que les outils d'évaluation sont difficiles d'accès (quand on pense au coût des essais en bassins de génie océanique), difficiles à mettre en œuvre (outils de simulation numérique en hydrodynamique et génie océanique), ou n'existent pas (impacts sur la climatologie de houle à échelle régionale).

Ces évaluations devront donc être faites dans le cadre du projet, en utilisant les outils de l'état de l'art dont les partenaires du projet disposent, et en y apportant les compléments nécessaires.

Dans le souci de réduire les champs d'investigation et de concentrer les efforts de recherche on ne prévoit pas de développements spécifiques d'outils numériques, mais plutôt une adaptation des outils existants.

Comme évoqué précédemment, il n'existe que très peu de données disponibles pour comparer objectivement les différentes technologies de récupération des énergies marines. Ces évaluations devront donc être faites dans le cadre du projet, en utilisant les outils de l'état de l'art dont les partenaires du projet disposent, et en y apportant les compléments nécessaires. Comme sous - problématiques de cette tâche, en fonction des cas d'études à considérer, on s'attend à ce qu'il soit nécessaire de déterminer d'une part les bons outils et d'autre part de les développer, car ils ne sont pas forcément disponibles. Et cela sur un plan numérique (outils de simulation) comme physique (méthodologies expérimentales, moyens d'essai).

Les besoins en connaissances et améliorations des outils sur le lot O1 ont permis de définir les trois tâches suivantes :

- évaluation du rendement (Tâche O1-1) ;

- évaluation de la survivabilité (Tâche O1-2) ;
- évaluation de la fatigue (Tâche O1-3).

3.1.2 Evaluation du potentiel houlomoteur d'un site (O2)

Parmi les critères de choix d'un site pour l'installation d'un système houlomoteur figure en premier lieu le potentiel énergétique dû aux vagues de ce site. Il représente la ressource en énergie des vagues potentiellement exploitable sur un site donné. C'est une donnée de base fondamentale pour les aspects suivants :

- sélection et choix des sites propices à l'installation de systèmes ou de fermes de systèmes houlomoteurs ;
- étude et prévision de la puissance maximale théorique qui pourrait être récupérée sur un site une fois qu'un concept de système houlomoteur et ses caractéristiques sont connues ;
- connaissance précise de la climatologie des états de mer, importante pour les aspects qui concernent la survivabilité du système et l'accessibilité d'un site pour les opérations d'installation ou les interventions de maintenance (détermination des périodes les plus propices aux interventions en fonction de seuils fixés sur les conditions d'états de mer).

Ce potentiel est habituellement caractérisé et quantifié à l'aide du flux linéique de puissance des vagues (i.e. flux de puissance par unité de largeur de crête de vague, en kW par mètre linéaire). Aujourd'hui encore, la plupart des informations disponibles sur l'évaluation du potentiel d'un site reposent sur des formules simplifiées, telles que la suivante pour le cas d'une grande profondeur d'eau (i.e. supposée infinie) :

$$P_{W1} = \frac{\rho g^2}{64\pi} H_{m0}^2 T_e \quad (1)$$

où H_{m0} est la hauteur significative spectrale de l'état de mer (m) et T_e la période moyenne énergétique (s). Si l'on dispose de données locales sur (H_{m0} , T_e) pour un état de mer, par le biais de mesures in situ (bouée houlographe par exemple), de données satellitaires ou de résultats de simulations numériques, la formule ci-dessus permet une première estimation du potentiel énergétique de l'état de mer correspondant.

Une formulation plus exacte si l'on a accès au spectre directionnel de variance de l'état de mer noté ici $F(f, \theta)$, où f est la fréquence des vagues (Hz) et θ leur direction de propagation (rad) est :

$$P_{W2} = \rho g \int_0^{2\pi} \int_0^\infty c_g(f, h) F(f, \theta) df d\theta \quad (2)$$

où h est la profondeur d'eau locale (m) et C_g la vitesse de groupe des vagues (m/s). On peut montrer facilement que la formule (2) se réduit à (1) sous l'hypothèse de profondeur d'eau infinie.

L'utilisation de la formule (2) requiert toutefois d'avoir accès au spectre directionnel des vagues, lequel peut être estimé à partir des mesures de certaines bouées houlographes, d'images SAR (Radars à Synthèse d'Ouverture, embarqués sur des satellites), ou encore à l'aide de modèles spectraux d'états de mer, tels que WAM, TOMAWAC, WaveWatch-III ou SWAN pour ne citer que les plus utilisés. En pratique, si l'on souhaite avoir accès à une information spatialisée (i.e. cartographie

spatiale du potentiel de puissance de vague avec une résolution plus ou moins précise), l'option « modèle numérique » est celle qui s'impose naturellement, d'autant qu'elle permet de reconstituer la climatologie des états de mer sur une période de plusieurs années ou plusieurs décennies lorsque ces modèles sont forcés avec des données de vent issues de réanalyses météorologiques : on parle alors de « simulation rétrospective », « rejeu » ou encore « hindcast ».

Pour autant, la formulation (2) présente encore certaines limitations, notamment au sens où elle fait l'hypothèse que le potentiel ainsi calculé est la somme des flux de puissance se propageant dans toutes les directions de vagues. Il est peu réaliste de considérer qu'un système houlomoteur quel qu'il soit puisse récupérer simultanément l'énergie de vagues ou de systèmes de vagues se propageant avec des directions et/ou des fréquences de pic différentes. Cela nécessite donc d'introduire une approche plus détaillée dans la décomposition du spectre de vagues et/ou une façon plus adaptée de spécifier les bornes d'intégration dans une formule de type (2).

Par ailleurs, l'objectif de disposer de données sur le potentiel énergétique des vagues en zone côtière (donc en faible profondeur d'eau), à proximité des ouvrages côtiers ou portuaires nécessite de disposer de modèles numériques aptes à représenter les processus physiques conditionnant l'évolution des vagues en zone côtière et portuaire, et en particulier : effets de réfraction-shoaling, dissipation due au frottement et/ou au déferlement, interactions avec les courants dans les zones à marée ou les estuaires, effets de diffraction à proximité d'ouvrages ou d'îles.

La méthodologie de travail repose sur l'utilisation de logiciels de simulation des vagues, et plus particulièrement des codes spectraux d'états de mer, dits de troisième génération, dont certains sont développés et/ou utilisés régulièrement par les participants au projet : codes TOMAWAC (EDF, CETMEF), SWAN (CETMEF, Sogreah, IFREMER), WaveWatch-III (IFREMER). Ces codes seront alimentés par des bases de données d'états de mer, ou résultats de simulations de type « hindcast » à l'échelle océanique, tels que la base ANEMOC par exemple. Il s'agira de proposer et qualifier une méthodologie robuste et précise pour l'estimation du potentiel houlomoteur d'un site donné, à partir de connaissances sur la climatologie des états de mer supposée connue à une échelle spatiale plus grossière ou plus au large, typiquement océanique. Des modèles numériques d'états de mer seront développés à une échelle régionale et/ou locale pour transférer et décliner la climatologie des états de mer à une résolution spatiale compatible avec les besoins issus des autres tâches du projet (sites pilotes notamment). Les développements concerneront les différents aspects mentionnés et discutés ci-après.

Les quatre tâches seront les suivantes :

- amélioration et validation des bases de données d'états de mer (Tâche O2-1) ;
- amélioration des outils de modélisation numérique à l'échelle côtière (Tâche O2-2) ;
- analyse et caractérisation des états de mer et du potentiel houlomoteur (Tâche O2-3) ;
- contribution à la prévision de production à court terme d'un système (Tâche O2-4).

3.1.3 Impact hydrosédimentaire local et régional (O3)

Il s'agit d'évaluer l'impact de la présence d'un système houlomoteur sur la dynamique hydrosédimentaire des sites concernés. Cette analyse s'inscrit dans la continuité impact local / impact régional. La frontière entre « local » et « régional » n'est pas clairement tranchée et l'un des enjeux de cette tâche est l'articulation entre les deux aspects. On admet que l'on entend par impact

« régional » l'effet de la présence de l'ouvrage sur la dynamique marine de la zone côtière de grande emprise qui inclut l'ouvrage.

En première approche on peut considérer que :

- L'approche « locale » traitera principalement des modèles numériques et physiques bi-dimensionnels, avec comme objectif principal l'analyse dans le plan vertical (2DV) de l'interaction de la houle avec les ouvrages à l'étude ;
- L'approche « régionale » traitera principalement des modèles numériques tri-dimensionnels avec comme objectif l'analyse dans le plan horizontal (2DH) de l'impact de l'ouvrage sur la houle, les courants et le transport sédimentaire. Elle pourra porter également sur les modèles physiques à fond mobile en bassin à houle.

L'objet de cette tâche est d'étudier l'impact de la présence d'un système houlomoteur sur la dynamique hydrosédimentaire des sites concernés. Elle repose d'une part sur l'état des connaissances actuelles des outils numériques et physiques d'évaluations de ces impacts. Ces outils numériques opérationnels ont ces dix dernières années fortement progressé notamment sous l'impulsion des programmes de recherche et développement nationaux et européens. Ils offrent aujourd'hui un véritable support d'expertise performant pour l'étude de l'évolution sédimentologique et morphologique de la zone côtière de grande emprise qui inclut l'ouvrage.

Cette tâche s'appuiera sur les avancées de la tâche O1 afin de décrire la phénoménologie à petite échelle liée aux systèmes houlomoteurs et notamment les effets de réflexion de l'énergie de la houle vers le large, de transmission de l'énergie incidente ou encore de la diffraction de la houle induits par les systèmes. Ceci demandera l'adaptation et le perfectionnement de modèles numériques.

Sur la base des impacts du système ou de la ferme de systèmes sur la propagation de la houle, des modèles numériques de calcul du transport sédimentaire, des évolutions des fonds et d'évolution du littoral seront mis en œuvre. Eventuellement des essais sur modèle physique à fonds mobiles en cuve à houle compléteront l'approche numérique d'évaluation des impacts hydrosédimentaires.

Les besoins en connaissances et améliorations des outils sur le lot O3 ont permis de définir les quatre tâches suivantes :

- perfectionnement des outils de modélisation numérique et de l'interface petite échelle / grande échelle (Tâche O3-1).
- évaluation de l'impact hydrosédimentaire local (Tâche O3-2).
- étude numérique de l'impact hydrosédimentaire régional (Tâche O3-3).
- essais hydrosédimentaires en bassin numériques et physiques (Tâche O3-4).

3.1.4 Dimensionnement de l'ouvrage et étude socio-économique (O4)

L'objet de cette partie consiste à examiner les conséquences de la coexistence des deux fonctions, protection contre les sollicitations marines et récupération d'énergie, d'un ouvrage. Il s'agit de développer une vision intégratrice des points de vue dispositions constructives, implications économiques et acceptabilité sociétale.

Il s'agira d'étudier d'une part l'impact économique de l'implantation d'un dispositif de récupération d'énergie sur la construction de l'ouvrage ou son renforcement en rapport avec la production

d'énergie. Cet impact pourra être lié à des difficultés nouvelles de construction ou bien à la nécessité d'un surdimensionnement. On peut aussi imaginer des situations où la mise en place d'un dispositif de récupération peut amener à un sous-dimensionnement.

L'acceptabilité sociétale sera traitée d'autre part de manière transversale sur tout ou partie des sites d'étude.

Cette partie du programme sera donc constituée de trois tâches :

- impact sur la stabilité et la performance hydraulique (Tâche O4-1).
- dimensionnement de l'ouvrage et étude économique (Tâche O4-2)
- impact sociétal (Tâche O4-3)

3.2 Les tâches outils (O)

3.2.1 Tâche O1-1 : Etude du rendement

Objectifs et programme général de la tâche

Une étude comparative d'au moins quatre dispositifs de récupération de l'énergie des vagues combinés à une installation portuaire de type digue (détachée ou à la côte) sera réalisée. Ces 4 dispositifs sont les combinaisons les plus évidentes. Une description succincte des principes est présentée dans le tableau ci-dessous.

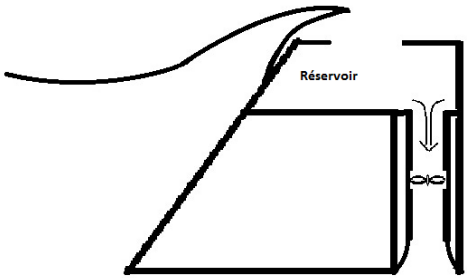
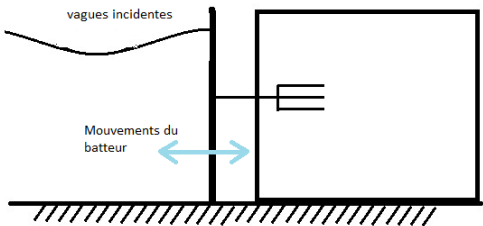
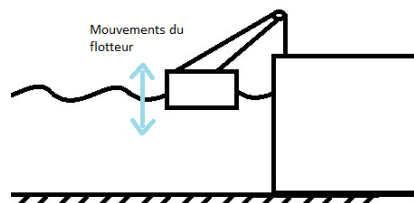
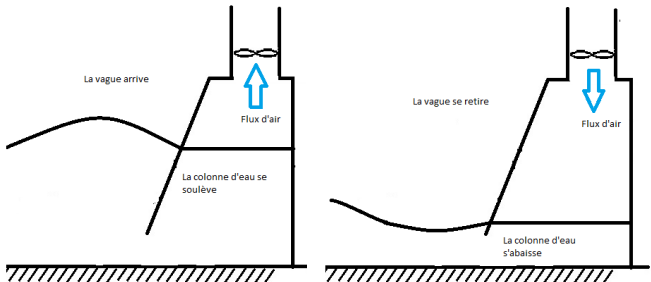
D1 : Système à franchissement Le principe de ce système (voir schéma ci-contre) repose sur le stockage de l'énergie potentielle des vagues incidentes dans un ou plusieurs réservoirs avant de faire tourner des turbines afin de produire de l'électricité.	 Le schéma illustre un système à franchissement. Une vague incidente arrive de la gauche et se déverse dans un réservoir situé derrière une digue. Le réservoir est relié à une turbine qui permet de récupérer l'énergie avant que l'eau ne s'écoule vers la mer à droite.
D2 : Système de type 'Batteur inversé' Les vagues incidentes mettent en mouvement un batteur (voir schéma ci-contre). Ce batteur est relié à des pistons qui transforment l'énergie des vagues en énergie électrique	 Le schéma illustre un système de type 'Batteur inversé'. Une vague incidente arrive de la gauche et agit sur un batteur (un rectangle) qui se déplace horizontalement. Ce batteur est relié à des pistons (représentés par des rectangles) qui convertissent l'énergie mécanique en énergie électrique.
D3 : Système oscillant Le long d'un ouvrage portuaire, un dispositif constitué de plusieurs unités houlomotrices oscillantes peut être envisagé. Au passage d'une vague, chaque dispositif se met en mouvement (voir	

schéma ci-contre). Les flotteurs sont reliés à une pompe qui permet de faire tourner une turbine pour produire de l'électricité.	
D4 : Système à colonne d'eau oscillante L'oscillation d'une colonne d'eau comprime de l'air qui actionne une turbine, comme le montre le schéma ci-contre.	

Le rendement de chacun de ces dispositifs sera estimé sous la forme des performances linéiques de chaque solution. L'étude du rendement comportera les trois points suivants :

- évaluation de l'énergie annuelle produite sur le site ;
- évaluation du rapport de l'énergie produite sur la masse du système ;
- évaluation du rapport de l'énergie produite sur la surface mouillée du système.

Programme détaillé

Années 1 et 2	La méthodologie que nous proposons est la suivante : - analyse à partir d'éléments chiffrés disponibles dans la littérature ; - analyse et critique des chiffres trouvés dans la littérature ; - développement de modèles numériques si les données trouvées dans la littérature sont insuffisantes ou manquantes. A notre connaissance, ces développements seront nécessaires pour le cas des solutions D2 et D3.
------------------	---

3.2.2 Tâche 01-2 : Etude de survivabilité

Objectifs et programme général de la tâche

L'étude de survivabilité a pour principal objectif de fournir pour chaque dispositif les efforts maximaux s'exerçant sur la structure, ainsi que l'écart-type des efforts dimensionnants .

Programme détaillé

Années 2 et 3	Deux méthodologies sont envisagées pour l'étude de survivabilité : 1) Les modèles numériques développés pour l'étude du rendement peuvent être utilisés pour extrapoler les efforts maximaux attendus ainsi que l'écart type des efforts dimensionnants, en se basant sur des approches statistiques. Lorsque ce sera possible, cette approche sera adoptée. Pour certaines technologies, les erreurs commises avec cette approche sont importantes et la méthodologie 2.
------------------	---

	devra être envisagée
	2) Lorsque l'approche 1. n'est pas satisfaisante, il peut être nécessaire d'évaluer la survivabilité de certains dispositifs par des essais en bassin. Des maquettes de la structure à petite échelle devront être réalisées. Dans le cadre de cette étude de survivabilité, ces maquettes ne seront pas nécessairement actives (pas de système représentant la conversion d'énergie). Elles seront testées sous conditions de houle extrêmes dans les bassins de génie océanique de l'ECN ou de l'Ifremer. Les efforts maximaux dimensionnants (par exemple les efforts d'ancrages) seront mesurés, permettant d'évaluer les critères de survivabilité du système.

3.2.3 Tâche 01-3 : Etude de fatigue

Objectifs et programme général de la tâche

L'objectif est d'estimer le risque d'apparition de désordres de fatigue sur les parties métalliques ou les câbles d'ancrage, limitant la durabilité des solutions, et induisant éventuellement des préconisations de surveillance, d'auscultation et de maintenance particulières.

Afin d'apprécier les durées de vie possible des éléments de structure concernés, compte tenu de l'environnement subi, il sera nécessaire d'approcher les cycles de variation de contrainte rencontrés dans le cycle de vie des ouvrages, en cohérence avec les bases de données d'états de mer.

Pour cela, des mesures sur les modèles réduits testés en bassin seront nécessaires. Il s'agira ensuite de prendre en compte les effets d'échelle pour apprécier les cycles de contrainte subis sur l'ouvrage, et d'extrapoler les résultats à partir de la connaissance des sollicitations subies in situ sur la durée d'exploitation.

Les configurations particulières pourront faire l'objet d'essais de fatigue complémentaires en laboratoire (10 essais de 2 millions de cycles en prévisionnel).

Programme détaillé

Année 2	- Définition des éléments de structure métallique et câbles d'ancrage à apprécier, en fonction des solutions envisagées à l'issue de la première année. - En lien avec les essais faits en bassin par l'Ecole Centrale de Nantes : intégration dans le cahier des charges de ces essais de la possibilité d'estimation des cycles de contrainte subis (participation à l'élaboration du schéma d'instrumentation, sa mise en place, recueil et exploitation des données, interprétation). Il s'agit d'intégrer le recueil des contraintes subies aux acquisitions de données lors des expérimentations conduites par l'ECN. - Travail avec ECN sur les règles de transposition du modèle expérimental qu'elle aura choisi : de l'échelle expérimentale à un modèle de taille réelle, avec extrapolation des conditions de houle sur une durée de vie de l'ouvrage.
Année 3	- Recueil des données lors des essais conduits à l'ECN, puis extrapolation, sur la durée de vie d'un ouvrage, des cycles de contrainte subis

	- Suivant les nécessités, essais de durabilité en fatigue (et éventuellement fatigue-corrosion) sur éléments de structure et éléments de câbles en laboratoire.
Année 4	- Conclusions quant aux risques de fissuration en fatigue, et quant à la durée de vie estimée en cas de risque - Préconisations particulières éventuelles de surveillance, auscultation et maintenance vis-à-vis de la fatigue.

3.2.4 Tâche 02-1 : Amélioration et validation des bases de données d'états de mer

Objectifs et programme général de la tâche

Les bases de données d'états de mer obtenues à partir de simulations rétrospectives (hindcast), de type ANEMOC (<http://anemoc.cetmef.developpement-durable.gouv.fr/>), permettent d'accéder à une connaissance fine de la climatologie (moyenne et extrême) des états de mer à une échelle océanique ou régionale. On vise à développer et améliorer ces bases de données en couvrant une période temporelle plus conséquente (plusieurs décennies), avec une résolution spatio-temporelle plus fine, et un niveau d'information plus détaillé sur les paramètres d'états de mer calculés et archivés en sortie des simulations. Ces différents objectifs d'amélioration président à la production d'une nouvelle version de la base ANEMOC (ANEMOC-2), actuellement en cours d'élaboration à EDF, en collaboration avec le CETMEF. Pour valider cette base des données (issues de mesures de bouées in situ et de mesures satellitaires) sont nécessaires pour caler et valider les modèles évoqués plus haut.

Programme détaillé

Année 1	L'action de production de la base ANEMOC-2 est actuellement menée en dehors du cadre du présent projet. Toutefois les développements et améliorations spécifiques à l'amélioration de la connaissance du potentiel houlomoteur seront réalisés dans le cadre de ce projet, de façon à disposer une base de données améliorée sur le potentiel énergétique, avec des cartographies associées. Au cours de la première année du projet, ces es cartographies seront produites à la résolution de le grille de calcul océanique de la base ANEMOC-2, pour différentes variables caractérisant le potentiel houlomoteur, calculé à l'aide de la formule (2) : valeurs moyennes, médianes, dépassées 20% du temps, 10% du temps, effets de saisonnalité par une analyse mensuelle.
Année 2	Au cours de la deuxième année, l'effort sera porté sur la question de l'interfaçage entre modélisations grande échelle/petite échelle. On précisera le mode opératoire optimal pour interfacier des modèles numériques de résolutions différentes dans le but de décliner l'information sur la climatologie de l'échelle océanique à l'échelle locale, en considérant notamment les questions suivantes : où placer les limites entre deux échelles de modélisation différentes ? Quelles sont les informations que l'on transmet d'une échelle à une échelle plus réduite, et avec quelle période temporelle ?
Année 3	Les résultats de la modélisation sur une grille côtière, de résolution spatiale de l'ordre du km, seront obtenus au cours de la troisième année, avec le même type de résultats que

	ceux obtenus au cours de l'année 1 sur la grille côtière
Année 4	En fonction des besoins issus des tâches S, des modélisations à échelle très locale pourront être développées sur des sites précis, en utilisant les résultats obtenus sur la grille côtière en année 3. Ces travaux seront précisés au cours de l'avancement du projet.

3.2.5 Tâche O2-2 : Amélioration des outils de modélisation numérique à l'échelle côtière

Objectifs et programme général de la tâche

Les codes d'états de mer utilisés actuellement (TOMAWAC, SWAN, Wave-Watch-III) présentent certaines limitations pour les applications à échelle côtière/locale. Une des ambitions du projet est d'améliorer et de qualifier ces outils sur la prise en compte et la modélisation des processus physiques suivants :

- effets de faible profondeur d'eau, notamment transferts non-linéaires au sein du spectre de vagues et déferlement bathymétrique en zone côtière ;
- interactions avec la marée (champs de courant et niveau de mer variables en espace et en temps). Ces effets d'instationarité du milieu dans lequel se propagent les vagues sont particulièrement sensibles pour les sites en lesquels les marnages et/ou les courants de marée sont importants ;
- effets de diffraction en présence d'îles, d'un trait de côte irrégulier ou de structures côtières. La modélisation de la diffraction dans les modèles spectraux d'états de mer n'est pas triviale, mais des méthodologies et techniques permettant d'en modéliser les effets principaux ont été proposées ces dernières années. Ces options seront étudiées et une solution sera implantée et qualifiée dans le(s) modèle(s) utilisé(s) par les participants.

Programme détaillé

Année 1	On travaillera au cours de la première année du projet sur l'amélioration de la prise en compte de la diffraction et de la réflexion des vagues dans le code d'état de mer TOMAWAC, de façon à pouvoir qualifier son utilisation en présence d'îles notamment. Les développements seront réalisés dans la version disponible en open source du code (cf. www.telemacsystem.com), et seront validés sur des cas-tests pour lesquels des mesures expérimentales ou des résultats analytiques sont disponibles.
Année 2	La prise en compte des interactions avec la marée (effet des vagues sur la courantologie, et effets de la courantologie sur les vagues) sera réalisée au cours de la deuxième année du projet.
Année 3	Travaux de R&D sur les effets de faible profondeur d'eau, notamment transferts non-linéaires au sein du spectre de vagues et déferlement bathymétrique en zone côtière, et amélioration/qualification des modélisations numériques utilisées dans les modèles d'états de mer pour la représentation de ces processus.

Année 4	Suite et fin des travaux engagés sur l'année 3.
------------	---

3.2.6 Tâche 02-3: Analyse et caractérisation des états de mer et du potentiel houlomoteur

Objectifs et programme général de la tâche

Historiquement les états de mer réels étaient caractérisés par quelques paramètres synthétiques déduits des spectres d'états de mer, typiquement une hauteur significative spectrale H_{mo} , des périodes de pic et périodes moyennes, une direction moyenne de provenance et un étalement directionnel moyen. Or dans de nombreux cas, les états de mer réels présentent une structure complexe, composée de plusieurs (i.e. deux, trois voire parfois plus) systèmes de vagues (par exemple une houle et une mer de vent locale). Dans ces cas, il est primordial de procéder non pas à une caractérisation globale du spectre de vagues, mais d'abord à une décomposition du spectre de vagues en composantes élémentaires, puis à une caractérisation séparée de chacun des systèmes de vagues. Ce sont ces paramètres intégrés et/ou formes de spectres à l'échelle de chaque système de vagues qui doivent être déterminés et ensuite archivés. D'une façon générale l'enjeu est d'enrichir les bases de données d'états de mer sur la description de la directionalité (répartition de la puissance des vagues suivant les directions) et de la répartition de la puissance suivant les fréquences (paramètres de largeur spectrale). Les systèmes houlomoteurs sont, à des degrés divers, sensibles à ces paramètres de distribution de l'énergie des vagues. Pour ce qui est du potentiel houlomoteur proprement dit, les premières applications réalisées montrent que c'est une grandeur qui varie dans des proportions importantes. Par exemple, la formule (1) indique que P_w varie comme le carré de la hauteur des vagues, donc entre deux états de mer caractérisés respectivement par ($H_{mo} = 0,5 \text{ m}$; $T_e = 6 \text{ s}$) et ($H_{mo} = 10 \text{ m}$; $T_e = 15 \text{ s}$), on voit que l'on aura un facteur 1000 sur le rapport des flux de puissance. Cela justifie que l'on ne se limite pas à la donnée du potentiel moyen, mais que l'on développe des méthodologies pour accéder à la caractérisation fine et la distribution du potentiel houlomoteur sur chaque site d'étude.

Programme détaillé

Année 1	Des outils adaptés pour l'analyse et la caractérisation des états de mer complexes existent déjà ou sont en cours de développement chez certains partenaires du projet (Ifremer, ECN, EDF). Il s'agira de les évaluer par une étude comparative, de faire ressortir les besoins d'amélioration, puis d'étendre ces outils et de les qualifier sur les applications envisagées ici pour la caractérisation du potentiel houlomoteur. Cette sous-tâche sera réalisée sur les deux premières années du projet.
Année 2	Suite et fin des travaux engagés en année 1.

3.2.7 Tâche 02-4 : Contribution à la prévision de production à court terme d'un système

Objectifs et programme général de la tâche

Les modèles numériques d'états de mer peuvent être également employés pour prédire à court terme (i.e. de 6 heures à quelques jours) les conditions d'états de mer sur un site, à partir de

prévisions issues de modèles de prévision météorologiques (opérés par des organismes tels que Météo-France, ECMWF, NCEP). A ce titre, ils peuvent constituer un outil précieux en support à la prédiction opérationnelle à court terme du flux de puissance des vagues sur un site donné (et donc du niveau de production d'un système houlomoteur donné) à échéance de quelques heures/jours. On propose dans le cadre de ce projet de développer et de tester un prototype d'un tel système de prévision à échelle locale sur un site pilote identifié.

Programme détaillé

Année 1	Cette sous-tâche sera engagée à partir de la deuxième année du projet.
Année 2	Identification du site : – Caractérisation du site en fonction de l'environnement et du dispositif utilisé – Recueil des données sur site existantes. Mise en place des outils de modélisation à haute résolution spatiale et temporelle. Mise en place d'une configuration du modèle WaveWatch III de propagation de la houle : – Calibrage du modèle avec des données in-situ Mise en place d'une configuration du modèle hydrodynamique MARS3D développé par l'IFREMER : – Calibrage de l'hydrodynamique Mise en place de la chaîne de traitement vagues – courant en temps réel. Une prévision par jour pour les 4 prochains jours.
Année 3	Amélioration du dispositif à partir du travail des Tâches O2-1, O2-2 et O2-3. Mise en place de l'interface petite échelle / grande échelle. Utilisation du travail de la Tâche O1-1 étude du rendement. : – Prévision du rendement pour le dispositif sélectionné
Année 4	Définition du livrable utile aux exploitants du dispositif en temps réel. Rédaction du guide technique à l'intention des maîtres d'ouvrage sur les aspects temps réels.

3.2.8 Tâche O3-1 : Modélisation numérique de l'interface petite échelle / grande échelle

Objectifs et programme général de la tâche

Le travail consiste à établir les retours d'expériences récents dans le domaine des processus multi-échelles en ce qui concerne les impacts locaux/régionaux des ouvrages multi-structures en mer et ouvrages portuaires partiellement transparents et sur les modélisation numériques et physiques des interactions multi-échelles sous les angles hydraulique, houle et sédimentologique sur ces ouvrages en mer.

Le but est de transposer les connaissances sur des ouvrages plus ou moins similaires aux ouvrages houlomoteurs afin de définir au mieux les méthodologies d'études des années suivantes du projet.

Cette tâche sera engagée exclusivement sur la première année du projet.

Programme détaillé

Année 1	Cette tâche est décomposée en sous tâches. Retour d'expérience de l'impact multi échelle des sites de champs éoliens et hydroliens. Cette tâche aura pour but de synthétiser sur les études, les expérimentations et les retours d'expériences des champs d'éoliens en mer notamment dans les pays nordiques et aux Etats Unis. On s'attachera notamment à faire ressortir les limites des études antérieures et les connaissances sur les interactions hydrosédimentaires de ce type d'ouvrages et les impacts à grandes échelles. Etat de l'art des processus hydro-sédimentaires multi échelle (hors ouvrages). Les approches existantes des interactions grains-écoulement sont principalement de deux ordres : soit à petite échelles (grain-grain) soit à grande échelle dans les études opérationnelles. La continuité de toutes les échelles est très peu traitée. La synthèse bibliographique qui sera réalisée sur les domaines d'études proches hydro-sédimentaires, depuis les études d'interactions houles-courants (Projet EU G8M - MAST, ...) jusqu'au programme de R&D récents tels que HYDROFOND (ANR 2011), aura pour objet de faire ressortir les pistes déjà explorées adaptables au contexte d'EMACOP Etat d'avancement des techniques et méthodologies de couplage numérique multi-échelles et ouvrages. A partir du retour des deux premières sous-tâches, la synthèse des approches numériques pour la prise en compte des impacts des ouvrages sera établie. On cherchera en particulier à faire ressortir les techniques explorées et les démonstrateurs de : – Techniques d'intégration de l'impact sur la courantologie et la houle à grande échelle des ouvrages obstacles, séparés et combinés ; – Techniques d'intégration de l'impact sur la courantologie et la houle à grande échelle des ouvrages transmissibles ; – Techniques d'intégration de l'impact sur la courantologie et la houle à grande échelle des ouvrages générateurs de turbulence (hydroliennes) ; – Techniques de couplages faibles (paramétriques) entre outils multi-échelles ; – Techniques de couplages forts entre outils multi-échelles. Synthèse et recommandation pour la prise en compte opérationnelle de l'impact des ouvrages houlomoteurs à grande échelle. Ces recommandations prendront la forme d'une part d'un cahier des charges et programme de travaux et d'expérimentations pour la tâche O3 pour les années 2 à 4 et d'autre part de recommandations dans les besoins d'interactions identifiées entre les tâche O2, O3.2 et O3.4 d'une part et O3.3 d'autre part dans les années suivantes du projet (données d'entrées et de sorties).
--------------------	--

3.2.9 Tâche O3-2 : Evaluation de l'impact hydrosédimentaire local

Cette tâche a pour objet de préparer les outils d'analyse opérationnel à grande échelle par l'intégration des schématisations nécessaires (couplage simple) et des méthodologies pour la prise

en compte des différents types d'ouvrages. Ces schématisations et les méthodologies seront issues des tâches O1 et de la tâche O3.1.

Trois typologies d'ouvrages seront à distinguer et constitueront les cas d'étude de cette tâche.

3.2.9.1 Cas d'une digue portuaire

Dans le cas d'une digue portuaire dotée d'un système houlomoteur (ouvrage du type S1 – S2), qu'il s'agisse d'un ouvrage neuf ou ancien, la problématique à traiter est la même que pour l'étude d'impact hydrosédimentaire d'un projet de construction ou d'extension portuaire classique sauf si la réponse hydraulique de la digue est modifiée par la présence du système énergétique avec par exemple les réflexions ou diffractions de la houle sur l'ouvrage. Les ouvrages de protection portuaire même détachés tels qu'à Cherbourg sont intégrés dans cette approche.

3.2.9.2 Cas d'une digue côtière (brise-lames détaché)

Il s'agit ici de traiter l'intégration de systèmes houlomoteurs à des ouvrages détachés (ou brise-lames forains – ouvrages de type S3) qui sont des ouvrages de protection contre l'érosion non rattachés à la côte comme les digues portuaires classiques. On exclut de cette catégorie les ouvrages non rattachés à la côte dont la fonction prioritaire n'est pas de protéger un littoral de l'érosion marine (exemples de la digue de l'Artha à Saint-Jean-de-Luz ou de la digue de Cherbourg, qui sont traités par ailleurs dans le cadre de ce projet).

Les types d'ouvrages concernés sont principalement rencontrés en Méditerranée (voir fiche S3 de l'étude d'opportunité, par exemple Valras, Trieste). Elle consiste en trois types d'ouvrages :

- les ouvrages immergés en pied de plage, ouvrages de taille modeste par rapport à la hauteur d'eau et permettant de stabiliser le profil de plage ;
- Les ouvrages immergés, de largeur et longueur importantes elles ont pour rôle de provoquer le déferlement des houles avant la côte ;
- Les ouvrages émergés, de hauteur plus importantes mais de largeur plus réduites, ont pour but de refléter la houle pour protéger le littoral ou d'autres ouvrages (Valras, Trieste).

3.2.9.3 Cas d'un site sans ouvrage

L'étude porte ici sur les systèmes houlomoteurs « purs » utilisés en protection côtière, c'est-à-dire des systèmes non portés par des ouvrages en dur : systèmes houlomoteurs flottants ou posés sur le fond. Plus précisément il s'agit d'étudier l'opportunité et la faisabilité de l'installation d'un système houlomoteur (ou d'une ferme de dispositifs houlomoteurs) détaché de la côte et implantés par petits fonds pour contribuer à protéger un site en érosion.

Les résultats de la modélisation prendront en compte pour validation les résultats des essais physiques réalisés avec une ferme de systèmes houlomoteurs.

Programme détaillé

Année 1	Cette sous-tâche sera engagée à partir de la deuxième année du projet.
Année 2	Elaboration des outils opérationnels autour d'ouvrages : Etude d'une digue portuaire

	Etude d'un ouvrage détaché.
Année 3	Etude d'un site sans ouvrage. Amélioration des schématisations et des méthodologies de prises en compte des systèmes houlomoteurs en fonction du retour des tâches O3.3 et O3.4 – Retour vers la tâche O3.3 en année 4.

3.2.10 Tâche O3-3 : Etude numérique de l'impact hydrosédimentaire régional

Objectifs et programme général de la tâche

Cette tâche a pour objet de mettre en œuvre des modèles régionaux pour évaluer par l'exemple les impacts sédimentologiques des systèmes houlomoteurs. Il s'agit d'appliquer les outils et méthodologies élaborés en tâche O3.2 et d'évaluer leur performances en opérationnel et à l'échelle régionale. Les sites pilotes du projet qui disposent de données suffisantes seront modélisés. Si besoin d'autres sites plus référencés complèteront un panel de cas diversifiés permettant d'étudier tous les types de système houlomoteurs selon les conditions hydrométéorologiques (marées, houle, vent, sédimentologie, morphodynamique).

Les méthodologies appropriées aux sites seront alors mise en œuvre et l'impact sédimentologique quantifié à différentes échelles de temps.

Programme détaillé

Année 2	Elaboration des modèles régionaux des sites choisis
Année 3	Evaluation de l'impact sédimentologique des technologies adaptées aux sites. Retour vers la tâche O3.2
Année 4	Selon les nouveaux apports des tâches O3.2 et O3.4, optimisation des techniques de prise en compte des ouvrages houlomoteurs et des méthodologies imbriquées multi échelles. Evaluation des incertitudes sur les impacts des systèmes houlomoteurs et les performances de ces technologies. Evaluation des impacts sédimentologiques finals et recommandations.

3.2.11 Tâche O3-4 : Essais hydrosédimentaires numériques et physiques en bassin

La prise en compte plus fine des interactions fortes petites échelles –grande échelle dépasse la limite de l'état de l'art actuel en modélisation. Afin de déterminer les éléments de validation du comportement des schématisations proposées en tâche O3.1 et plus simplement d'affiner les performances de ces schématisations, deux voies pourront être explorées :

- Numérique : Le couplage complet de code de calculs petites échelles tel qu'utilisés en tâche O1 et grande échelle tel qu'utilisé en tâches O3.2 et O3.3 sera mis en œuvre sur la base de cas documentés tel que le canal à houle numérique

- Expérimental : L'utilisation de résultats de modélisation physiques portant sur ces processus et si nécessaire la mise en œuvre de moyens d'essais spécifiques en canal à houle ou en canal hydraulique en boucle.

Cette tâche a pour objet d'autre part de qualifier et quantifier les incertitudes des méthodes opérationnelles, nécessaires pour le dimensionnement des ouvrages. L'inter-comparaison des méthodes de couplage faible et méthode forte d'autre part et l'usage d'analyses statistiques tel que par les méthodes de Monte Carlo seront employées.

Programme détaillé

Année 3	Elaboration des méthodologies de couplages forts. Comparaison couplage fort et couplage simple sur canal à houle. Comparaison couplage fort et couplage simple sur canal hydraulique (retour vers la tâche O3.2).
Année 4	Analyse d'incertitudes sur les différentes méthodes et technologies employées (retour vers tâche O3.3).

3.2.12 Tâche O4-1 : Impact sur la fonction des ouvrages porteurs

L'intégration d'un système de récupération d'énergie sur un ouvrage existant induit une modification des conditions de fonctionnement initiales de protection marine. Les aspects à traiter portent sur la stabilité et sur les franchissements. L'adjonction d'un système de récupération d'énergie peut avoir des effets positifs ou négatifs sur chacun de ces aspects. En cas d'effet négatif il faut envisager des solutions de renforcement adaptées afin de retrouver les conditions initiales de comportement de l'ouvrage. Des modélisations numériques et expérimentales seront nécessaires pour valider les solutions retenues.

La conception d'un ouvrage neuf avec les deux fonctions, récupération et protection, pose des problèmes d'utilisation des règles de dimensionnement existantes permettant de répondre à la fonction de protection (stabilité et franchissement). Dans le cadre de ce programme il ne sera sans doute pas possible d'établir un corpus de règles constructives mais il faut se donner l'objectif de caractériser les phénomènes physiques prépondérants et les paramètres déterminants permettant de construire des plans d'expériences numériques et/ou physiques.

Ce travail ne pourra être réalisé qu'en troisième et quatrième années en fonction des résultats des études réalisées sur les différents systèmes de récupération d'énergie envisageables en relation avec les types d'ouvrages concernés.

Programme détaillé

Année 3	Pour les ouvrages anciens il s'agira d'évaluer comparativement les caractéristiques de protection de quelques ouvrages types avant et après ajout d'un système de récupération d'énergie. Des pistes de renforcement d'ouvrage seront examinées pour conserver le comportement attendu initialement par l'ouvrage en termes de stabilité et de franchissement. Les études seront essentiellement expérimentales.
------------	--

Année 4	Pour des ouvrages nouveaux intégrant les deux fonctions, protection et récupération d'énergie, des études expérimentales seront menées sur quelques ouvrages types avec comme objectif de caractériser le comportement en termes de stabilité et de franchissement avec en ligne de mire l'établissement de règles de dimensionnement adaptés à ce genre d'ouvrages mixtes.
------------	---

3.2.13 Tâche 04-2 : Dimensionnement de l'ouvrage et étude économique

L'ajout d'une fonction secondaire à un ouvrage de génie civil peut, dans certains cas, générer des efforts globaux et locaux dimensionnants. Ces nouveaux efforts peuvent alors modifier le design propre de la structure entraînant ainsi un surcoût de construction dans le cas d'une structure neuve ou un coût de renforcement dans le cas d'une structure plus ancienne.

Pour une structure existante, il s'agira dans un premier temps de qualifier son état actuel afin de prendre en compte les dégradations de celle-ci dans la suite de l'étude. Puis pour chaque situation l'éventualité d'un renforcement sera étudié. Vu l'ampleur des sites et du nombre de systèmes de récupération d'énergie l'étude initiale se limitera au stade de l'étude préliminaire afin d'un dégager une première estimation des travaux à engager. Dans le prolongement des autres tâches, l'étude pourra continuer sur une précision des travaux à engager. Les méthodes de travaux et le phasage seront alors préciser. Une nouvelle estimation financière sera définie.

Pour une structure neuve, il s'agira dans un premier temps de quantifier globalement l'impact sur la construction du système de récupération d'énergie. On s'intéressera à l'éventualité d'une modification de la conception, modifications des moyens utilisés et éventuellement modification du phasage. Une première estimation financière sera effectuée au stade d'une étude préliminaire. Cette étude alors précisée grâce aux résultats des autres tâches.

Cette étude prendra comme hypothèse première forte que les règles de calculs des efforts déjà existants sur la structure porteuse seule ne sont pas modifiées par la présence du système de récupération de l'énergie marine.

Année 1	Pour les structures existantes : - Evaluation et qualification des structures porteuses existantes. - Etude préliminaire de renforcement et première estimation financière des travaux pour les structures existantes. Pour les structures neuves : - Etude préliminaire en prenant un dispositif de récupération d'énergie ; - Première estimation des travaux.
Année 3	Pour les structures existantes : - Etude préliminaire de renforcement pour un système de récupération d'énergie et estimation financière globales des travaux pour les structures existantes Pour les structures neuves :

	- Avant projet en prenant un dispositif de récupération d'énergie - Estimation du surcoût
--	---

3.2.14 Tâche 04-3 : Impact sociétal

L'aménagement du territoire désigne à la fois l'action d'une collectivité sur son territoire, et le résultat de cette action. Une partie de cette discipline concerne le développement de solution créatrice d'énergie. Dans le cas du littoral, cette discipline se propose de substituer un nouvel ordre à l'ancien, de créer une meilleure disposition, une meilleure répartition et optimisation spatiale afin de répondre aux besoins de ces territoires tant en terme d'énergie à visée domestique qu'à visée productive. Dans ce contexte, et compte tenu des futurs projets industrialo-portuaires (réfection et/ou création) l'optimisation des infrastructures et la récupération de l'énergie naturelle produite par les mouvements (air, eau, osmose, ...) est une évidence. Mais sachant qu'on ne peut pas dépenser deux fois les budgets liés à ces projets, un multiplexage territorial est alors une solution combinée qui peut permettre de coupler ces budgets en plus des création ex nihilo de solutions énergétiques renouvelables. Des études sociétales complémentaires permettront d'ancrer ces solutions dans l'arsenal des solutions énergétiques renouvelables et ainsi de trouver un écho favorable auprès du très grand public d'une part et des représentants des collectivités d'autre part.

Des aspects particuliers seront approfondir :

- visibilité des dispositifs à marée basse ;
- conflits d'usage (navigation, pêche à pied) ;
- curiosité et mise en danger du public (tourisme industriel) ;
- Nuisance sonore.

4 VALORISATION

Elle sera mise en œuvre en trois phases :

PHASE I : création d'un site internet et d'un site extranet au lancement du projet

Le site Internet présentera le programme du projet, son budget et la liste des partenaires du Projet. Il sera ouvert à tous publics et il sera un des moyens d'information permettant de communiquer sur l'avancement du Projet.

Le site Intranet accessible uniquement pour les partenaires du Projet. Il sera l'outil d'échanges d'informations permanentes entre les partenaires et la gestion administrative et financière du Projet.

Réunion de lancement du Projet

PHASE 2 : communication et création de comités pendant la réalisation du Projet

Deux comités sont prévus pour définir et rédiger le contenu des livrables qui seront édités en fin de projet :

- le premier pour la rédaction du livre de synthèse des résultats;
- le second pour la rédaction d'un guide technique qui sera une aide à la décision pour associer des systèmes de récupération d'énergie à des ouvrages d'aménagement ; il sera complété par un comité de relecture.

Le Projet communiquera avec la profession :

- par le site Internet ;
- par des articles scientifiques et techniques ;
- par des participations à des congrès et séminaires.

Formation :

Le Projet pourra dès que les résultats seront significatifs, les présenter dans des universités et écoles d'ingénieurs afin de sensibiliser au plus tôt les étudiants. Plusieurs thèses sont également prévues au titre de ce Projet.

Réalisations expérimentales :

Compte tenu de leur importance dans ce Projet, les expérimentations feront l'objet d'une large communication.

PHASE 3 : valorisation en fin de projet

Les actions de valorisation qui clôtureront le projet sont :

- la rédaction puis l'édition français/anglais d'un livre de synthèse des résultats ;
- la rédaction puis l'édition français/anglais d'un guide technique à l'intention des maîtres d'ouvrage et des ingénieurs de conception ;
- éventuellement des propositions en vue de modifications ou de compléments des textes réglementaires.

Ces documents feront l'objet après édition d'une relecture par un comité comprenant notamment les experts internationaux.

Les résultats du Projet et notamment les documents cités ci-dessus feront l'objet d'une présentation publique lors de journées organisées à cette intention, l'une à PARIS et deux ou trois en province et des actions de formation dans les universités et les écoles d'ingénieurs.

5 ORGANISATION ET FONCTIONNEMENT

5.1 Règles de fonctionnement

La charte jointe, à signer par tous les partenaires du Projet accompagnée d'un résumé du programme, du budget global, de la liste des partenaires et du plan de financement prévisionnel, précise les droits et obligations des partenaires et l'organisation et mode de fonctionnement du Projet.

L'organe de décision est le Comité Directeur dont la composition et le mode de désignation sont définis dans la charte. Le Comité Directeur, qui se réunit 2 fois par an, arrête le programme de chaque tranche et approuve les budgets et commandes à passer aux prestataires.

La charte prévoit que le Comité Directeur missionne un Comité de pilotage et de coordination pour animer, coordonner et prendre toute décision ne pouvant attendre les réunions du Comité Directeur.

Un Comité Scientifique et technique propose au Comité Directeur les détails des actions à réaliser, le choix des prestataires et les montants pour chaque commande de la participation du Projet National. Il se réunit autant que de besoin à l'initiative de son Président. Tous les partenaires qui le souhaitent peuvent assister aux réunions du Comité Scientifique et Technique.

La gestion administrative et financière sera assurée par l'IREX en qualité de Mandataire du Projet.

Les personnes dont les noms sont indiqués ci-dessous sont proposées pour les fonctions respectives de Président, Directeur scientifiques et Directeur technique.

Président : Henri Boyé – Membre permanent du Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable. Rapporteur sur les énergies marines renouvelables – Emplois, compétences, formations – Quelles perspectives d'avenir ? Rapport présenté par le sénateur Gisèle Gautier en Décembre 2010.

Directeur Scientifique : Alain Clément – PHD 1979 – HDR 1998. Directeur du Laboratoire de Mécanique des Fluides de l'Ecole Centrale de Nantes (UMR CNRS 6598). Chef du projet SEAREV sur l'énergie des vagues. *Responsable des tâches O.*

Directeur Technique : Philippe Sergent – PHD 1996 – HDR 2004. Directeur Scientifique du CETMEF. Directeur de l'équipe commune en hydraulique numérique avec l'Université de Technologie de Compiègne. A participé à quatre projets Européens (FP5, FP6, FP7) sur le risque hydraulique et le transport sédimentaire. *Responsable des tâches T.*

5.2 Responsabilités des partenaires

Les coordinateurs des lots et des tâches du projet sont indiqués ci-dessous :

5.2.1 Les systèmes houlomoteurs sur ouvrages neufs

Coordinateur : Mathieu MORY (Université de Pau)

5.2.2 Les systèmes houlomoteurs sur ouvrages anciens

Coordinateur : Philippe SERGENT (CETMEF)

5.2.3 Les systèmes houlomoteurs sur ouvrages détachés

Coordinateur : Luc DEROO (ISL)

5.2.4 Les dispositifs marémoteurs sur bassins à flots

Coordinateur : Jérôme BROSSARD (Université du Havre)

5.2.5 Les dispositifs hydroliens sur ouvrages portuaires ou côtiers

Coordinateur : Marc LE BOULLUEC (Ifremer)

5.2.6 Outils d'évaluation du rendement, survivabilité et fatigue

Coordinateur : Virginie BAUDRY (Ecole Centrale de Nantes)

Tâche O1-1 : Etude du rendement

Coordinateur : Virginie BAUDRY (Ecole Centrale de Nantes)

Tâche O1-2 : Etude de survivabilité

Coordinateur : Virginie BAUDRY (Ecole Centrale de Nantes)

Tâche O1-3 : Etude de fatigue

Coordinateur : Christian TESSIER (IFSTTAR Nantes)

5.2.7 Les outils d'évaluation du potentiel houlomoteur d'un site

Coordinateur : Michel BENOIT (EDF)

Tâche O2-1 : Amélioration et validation des bases de données d'état de mer

Coordinateur : Giovanni MATTAROLO (EDF)

Tâche O2-2 : Amélioration des outils de modélisation numérique à l'échelle côtière

Coordinateur : Giovanni MATTAROLO (EDF)

Tâche O2-3 : Analyse et caractérisation des états de mer et du potentiel

Coordinateur : Michel BENOIT (EDF)

Tâche O2-4 : Contribution à la prévision de production à court terme d'un système

Coordinateur : Renaud LABORBE (Open Océan)

5.2.8 L'impact hydrosédimentaire local et régional

Coordinateur : Eric DAVID (Sogreah)

Tâche O3-1 : Modélisation numérique de l'interface petite échelle / grande échelle

Coordinateur : Eric DAVID (Sogreah)

Tâche O3-2 : Evaluation de l'impact hydrosédimentaire local

Coordinateur : Arnaud de BOVILLER (ISL)

Tâche O3-3 : Etude numérique de l'impact hydrosédimentaire régional

Coordinateur : Georges CHAPALAIN (CETMEF)

Tâche O3-4 : Essais physiques hydrosédimentaires en bassin

Coordinateur : Eric DAVID (Sogreah)

5.2.9 Dimensionnement de l'ouvrage et étude socio-économique

Coordinateur : Nicolas ROUXEL (Cete de l'Ouest)

Tâche O4-1 : Impact sur la stabilité et la performance hydraulique

Coordinateur : Jérôme BROSSARD (Université du Havre)

Tâche O4-2 : Dimensionnement de l'ouvrage et étude économique

Coordinateur : Nicolas ROUXEL (Cete de l'Ouest)

Tâche O4-3 : Impact sociétal

Coordinateur : Emmanuel PARLIER (Parlier Environnement)

5.2.10 Matrice fonctionnelle

LOT	Description	Responsable	Tâches (coordinateur)			
S1	Systèmes houlomoteurs sur ouvrages neufs	Mathieu MORY (Université de Pau)	Tâches transversales : (coordinateur P. SERGENT) Préciser les sites et leurs contraintes ; Sélectionner les technologies ; Ecrire le cahier des charges pour les essais ; Ecrire le rapport de faisabilité sur les sites retenus Hiérarchiser les sites et projets en fonction de l'état d'avancement des maîtres d'ouvrage Etablir un lien permanent et efficace avec les maîtres d'ouvrage (MOa)			
S2	Systèmes houlomoteurs sur ouvrages anciens	Philippe SERGENT (CETMEF)		Innovation et essais sur caissons JARLAN (Jérôme BROSSARD)	Estimation du potentiel national des ouvrages portuaires français (Philippe SERGENT)	
S3	Systèmes houlomoteurs sur ouvrages détachés	Luc DEROO (ISL)		Innovations sur des technologies détachées de la côte		
S4	Dispositifs marémoteurs sur bassins à flots	Jérôme BROSSARD (Université du Havre)		Optimisation du fonctionnement et études de solutions possibles (Jérôme BROSSARD)	Analyse des impacts environnementaux (Jérôme BROSSARD)	
S5	Dispositifs hydroliens sur ouvrages portuaires ou côtiers	Marc LE BOULLUEC (IFREMER)				
O1	Rendement, survivabilité, impact hydraulique et fatigue	Virginie BAUDRY (Ecole Centrale de Nantes)	O1-1. Etude de rendement (Virginie BAUDRY)	O1-2. Etude de survivabilité (Virginie BAUDRY)	O1-3. Etude de fatigue (Christian TESSIER)	
O2	Potentiel houlomoteur d'un site	Michel BENOIT (EDF R&D / Laboratoire Saint-Venant)	O2-1. Amélioration et validation des bases de données à l'échelle océanique (Giovanni MATTAROLO)	O2-2. Amélioration des outils de modélisation numérique à l'échelle côtière (Giovanni MATTAROLO)	O2-3. Analyse et caractérisation des états de mer et du potentiel (Michel BENOIT)	O2-4. Contribution à la prévision de la production à court terme d'un système (Renaud LABORBE)
O3	Impact hydrosédimentaire local et régional	Eric DAVID (SOGREAH)	O3-1. Modélisation numérique de l'interface petite échelle / grande échelle (Eric DAVID)	O3-2. Evaluation de l'impact hydrosédimentaire local (Arnaud de BOVILLER)	O3-3. Etude numérique de l'impact hydrosédimentaire local (Georges CHAPALAIN)	O3-4. Essais physiques hydrosédimentaires en bassin (Eric DAVID)
O4	Dimensionnement de l'ouvrage et étude socio-économique	Nicolas ROUXEL (CETE de l'Ouest)	O4-1. Impact sur la stabilité et la performance hydraulique (Jérôme BROSSARD)	O4-2. Dimensionnement de l'ouvrage et étude économique (Nicolas ROUXEL)	O4-3. Impact sociétal (Emmanuel PARLIER)	

5.3 Partenaires potentiels

5.3.1 Maîtres d'ouvrages

Communauté de communes de Noirmoutiers
EDF
Mairie de SETE
Port du Havre
Ports divers
Région Aquitaine
Région Bretagne
Région Pays de la Loire
Région Poitou-Charentes

5.3.2 Entreprises

BOUYGUES TP

EIFFAGE
ETPO (Ent des TP de l'Ouest)
FRABELTRA
FREYSSINET
FUGRO
SAIPEM
SOLETANCHE BACHY
VINCI Construction
FNTF

5.3.3 Industriels

ALSTOM Hydro France
DCNS Group
HYDROCAP ENERGY SAS
VOITH HYDRO
WAVESTARENERGY

5.3.4 Ingénieries / Bureaux d'études

ARCADIS
DORIS Engineering
INGEROP
ISL
OCEANIDE
OPEN OCEAN ENERGY
SETEC TPI
SOCOTEC
SOGREAH
CINETIC Environnement
ENERGIE DE LA LUNE
EGIS

5.3.5 Centres de recherche / Laboratoires (publics – privés) / universités

EC Nantes
ESITC CAEN
INSA Rouen - Antenne du Havre ISEL
CETE OUEST (Nantes)
CETMEF
EDF - Laboratoire Saint Venant
IFREMER
IFSTTAR
Laboratoire M2C (université de Rouen)
LUSAC (laboratoire universitaire des sciences appliquées de Cherbourg)
Université de Brest
Université de Pau
Université du Havre

5.4 Description des partenaires actifs

5.4.1 Laboratoire d'hydraulique Numérique (LHN) – CETMEF, UTC, CNRS

Le Laboratoire d'Hydraulique Numérique (LHN) a été créé en Janvier 2002 par la volonté commune du CETMEF et de l'Université de Technologie de Compiègne (UTC) de mettre en commun des compétences complémentaires et de se positionner au niveau national et international dans les domaines de la recherche et du développement de codes numériques d'écoulement à surface libre. Ses locaux sont situés à Compiègne (Oise). Ce laboratoire commun, reconnu également par le CNRS, réunit des chercheurs du laboratoire de Mécanique Roberval UMR 6253 Unité de Recherche en Mécanique de l'UTC et des ingénieurs chercheurs du CETMEF.

Nom	Prénom	Poste	Discipline	Unité partenaire	Etablissement partenaire	Rôle dans le projet
OUAHSINE	Abdellatif	Professeur	Hydraulique	LHN	CETMEF	Contact scientifique
SERGENT	Philippe	Ingénieur HdR	Hydraulique	LHN	CETMEF	Directeur technique
PREVOT	Guirec	Ingénieur	Géotechnique	LHN	CETMEF	Analyse économique
SMAOUI	Hassan	Chargé de Recherches	Hydraulique	LHN	CETMEF	Canal numérique

Abdellatif OUAHSINE, Professeur des Universités, à l'UTC depuis 2003, Docteur en mécanique des Fluides de l'Université de Lille 1 (1990) et Habilité à Diriger des Recherches en (2000). Directeur scientifique du Laboratoire d'Hydraulique Numérique (Commun UTC-CETMEF) et responsable de l'équipe fluide numérique au Laboratoire Roberval UMR CNRS 6253. Ses recherches portent en particulier sur les écoulements de fluides à surface libre, les processus de morphodynamique et de transport des sédiments, les interactions fluide-ouvrage. Auteur de 63 articles dans des revues à comité de lecture et des conférences nationales et internationales. Plusieurs projets de recherche régionaux, nationaux et internationaux à son actif portent notamment sur l'influence des passages des bateaux dans les milieux confinés, la stabilité des digues en enrochements, la morphodynamique des plages à marée, etc.

Guirec PREVOT, ingénieur, spécialisé dans le dimensionnement des ouvrages portuaires et côtiers soumis à la houle.

Philippe SERGENT, Ingénieur, Ph.D en hydraulique (1996), Habilitation à diriger des Recherches en 2004. Directeur Scientifique du CETMEF. Directeur de l'équipe commune en hydraulique numérique avec l'UTC. A participé à quatre projets Européens (FP5, FP6, FP7) sur le risque hydraulique et le transport sédimentaire.

Hassan SMAOUI, Ingénieur, chargé de recherches, PhD en Mécanique des Fluides (1996) avec développement d'un code 3D en hydrodynamique, turbulence et transport sédimentaire appliqué à la Manche Orientale. Dix ans passés comme professeur habilité à l'ENSAM-Meknès, rejoint le CETMEF en 2008. Auteur et co-auteur de 18 publications de rang A, 3 articles de rang B et d'environ 30 communications dans des congrès nationaux et internationaux avec comité de lecture, oriente ses recherches vers les méthodes numériques appliquées aux écoulements 3D.

5.4.2 Laboratoire de Mécanique des Fluides – Equipe Hydro. Génie Océanique, Ecole Centrale de Nantes (ECN)

L'équipe HGO Hydrodynamique et Génie Océanique du Laboratoire de Mécanique des Fluides (UMR 6598) étudie les écoulements à surface libre dans les conditions et les échelles typiques des applications de type naval ou offshore, dans le champ de ce que l'on dénomme : Génie Océanique. L'approche est toujours duale entre simulation numérique et modélisation expérimentale puisque cette équipe opère des installations expérimentales uniques en France dans ce domaine, en particulier le bassin à houles multidirectionnelles de 30m x 50m muni de 48 générateurs de vagues indépendants. La modélisation et la simulation du comportement des structures à la mer entre donc totalement dans son champ thématique, et c'est la raison pour laquelle, parmi toutes les applications destinées à être installées et opérées en mer, cette équipe étudie les systèmes houlomoteurs destinés à utiliser l'énergie des vagues pour des applications énergétiques depuis bientôt 30 ans.

5.4.3 Laboratoire Ondes et Milieux Complexes (LOMC), FRE CNRS 3102, Université du Havre (ULH)

Ce laboratoire possède une équipe de recherche en hydrodynamique marine qui utilise des outils expérimentaux (canaux à houle notamment) et des outils numériques de modélisation des écoulements marins caractérisés par la présence d'une surface libre et ayant un caractère instationnaire (notamment un code SPH développé au laboratoire). Actuellement les activités de cette équipe sont orientées vers des applications comme les énergies marines et les interactions houles-structures.

Nom	Prénom	Poste	Discipline	Unité partenaire	Etablissement partenaire	Rôle dans le projet
BROSSARD	Jérôme	Professeur	Mécanique des fluides	LOMC	ULH	Coordinateur et participant (expérimental)
RIVOALEN	Elie	Professeur	Mécanique des fluides	LMR et LOMC	ULH et INSA Rouen	Participant (numérique)
PERRET	Gaële	Maître de Conférences	Mécanique des fluides	LOMC	ULH	Participant (expérimental)
PINON	Grégory	Maître de Conférences	Mécanique des fluides	LOMC	ULH	Participant (numérique)
CHERFILS	Jean Marc	Post Doc	Mécanique des fluides	LOMC	ULH	Participant (numérique)

Jérôme BROSSARD, PHD en mécanique des fluides (1986), HDR en hydrodynamique marine (2002), professeur à l'université du Havre (2004), responsable de l'équipe hydrodynamique du LOMC

Elie RIVOALEN, PHD en mécanique des fluides (1994), HDR en modélisation numérique des écoulements tourbillonnaires (2005), professeur à l'université du Havre (2006), professeur à l'INSA de Rouen (2009), responsable du département génie civil de l'INSA de Rouen

Gaële PERRET, PHD en mécanique des fluides (2005), Maître de Conférences à l'université du Havre (2006)

Grégory PINON, PHD en mécanique des fluides (2005), Maître de Conférences à l'université du Havre (2006)

Jean Marc CHERFILS, PHD en mécanique des fluides (2011)

5.4.4 CETE de l'Ouest

Le Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement de l'Ouest (CETE) est un organisme public de recherche & développement, d'innovation et d'ingénierie. Service déconcentré du Ministère de l'écologie, du développement durable, des Transports et du Logement (MEDDTL), il est l'interlocuteur privilégié pour la mise en oeuvre des politiques publiques, au service des acteurs de l'aménagement et du développement durables des territoires :

- services de l'Etat, en particulier les DREAL et DDT/M , les DIR,
- collectivités territoriales,
- organismes para-publics ou privés.

Intégrés au réseau scientifique et technique du MEDDTL, les CETE constituent une interface scientifique et technique entre :

- recherche & développement, innovation et méthodologie ;
- ingénierie opérationnelle.

Ils offrent à leurs clients et partenaires la pérennité et l'indépendance d'un service de l'Etat.

Le CETE intervient sur la base de commandes de ses donneurs d'ordre, sous forme de conventions, de contrats ou de marchés, résultant de la validation d'un devis ou d'une réponse à un appel d'offre.

Le CETE de l'Ouest rassemble 370 collaborateurs : 105 cadres et ingénieurs, 175 techniciens supérieurs, 80 techniciens et agents administratifs.

Nombre d'entre eux sont reconnus comme spécialistes ou experts de niveau national voire international.

Ils interviennent dans les domaines

- de l'urbanisme, de l'aménagement et de l'habitat
- de la conception et développement de matériels
- de la conception d'infrastructures
- de la construction
- de l'environnement et des risques
- de l'exploitation routière
- de la géotechnique, des terrassements et des chaussées
- des ouvrages d'art
- de la sécurité routière
- des systèmes d'information
- des transports et déplacements

Pour chacun des domaines, le CETE offre une palette de prestations variée : études, recherches, méthodologies, expertises, conseils, assistances, animations de réseaux, formation, avis techniques, essais de laboratoire et sur sites ou contrôles de chantier.

Nom	Prénom	Poste	Discipline	Unité partenaire	Etablissement	Rôle dans le projet
-----	--------	-------	------------	------------------	---------------	---------------------

					partenaire	
ROUXEL	Nicolas	Ingénieur	Géotechnique	LRB	CETE Ouest	Géotechnique
THAUVIN	Benoit	Ingénieur	Ouvrages d'art	LRB	CETE Ouest	Ouvrage d'art
BOURNETON	Nicolas	Ingénieur	Ouvrage Portuaires	DIE/GOA	CETE Ouest	Ouvrage d'art

5.4.5 L'IFSTTAR – Département Structures et Ouvrages d'Art

Le département Structures et Ouvrages d'Art de l'IFSTTAR et plus particulièrement son unité Structures Métalliques et à Câbles située à Nantes, conduit des recherches sur les processus de dégradation des câbles, leur reproduction de façon accélérée (essais), leurs interactions, et leurs modélisations. Elle développe également des méthodes d'auscultation et de surveillance des structures métalliques et à câbles qui servent à évaluer l'état de conservation des éléments métalliques et des câbles dans les ouvrages et s'intéresse à l'utilisation et à la durabilité de matériaux alternatifs à l'acier au carbone, tels que les aciers inoxydables et les composites. Enfin, elle conduit des études sur l'intégration adaptée des moyens d'auscultation et d'entretien préventif dans la gestion des ouvrages métalliques et à câbles (détection de fissures, effets de parachèvement d'assemblages, inspections ciblées,...). Elle prend en compte en particulier dans ces études les spécificités du patrimoine ancien, notamment ferroviaire (fer puddlé, assemblages rivetés).

Cette unité gère un grand équipement qui est le banc de fatigue des câbles ainsi qu'un parc important d'équipements spécifiques aux essais de câbles et d'armatures. Elle s'implique également dans les activités de normalisation et de certification en lien avec l'AFCAB et l'ASQPE, et conduit des essais et des expertises s'appuyant sur les moyens d'essais dont elle dispose.

Nom	Prénom	Poste	Discipline	Unité partenaire	Etablissement partenaire	Rôle dans le projet
TESSIER	Christian	Adjt chef de Département	Génie civil	SOA	IFSTTAR	Coordinateur 0 1-3
PHILIPPOT	Bertrand	Chef unité SMC	Génie Civil, Matériaux	SOA/SMC	IFSTTAR	Contribution 0 1-3
CHATAIGNER	Sylvain	Ingénieur – Chercheur	Génie Civil, Matériaux	SOA/SMC	IFSTTAR	Contribution 0 1-3
DIENG	Lamine	Chercheur	Mécanique et Matériaux	SOA/SMC	Ifsttar	Contribution 0 1-3
GAILLET	Laurent	Chercheur HDR	Mécanique et Matériaux	SOA/SMC	Ifsttar	Contribution 0 1-3
PERIER	Virginie	Ingénieur – Chercheur	Génie Civil, Matériaux	SOA/SMC	IFSTTAR	Contribution 0 1-3

Christian TESSIER, Ingénieur en Chef des Travaux Publics de l'Etat, adjoint au chef de Département Structures et Ouvrages d'Art. Précédemment à la Direction Technique Ouvrages d'Art et Chef de Division Métaux Armatures et Câbles pour Ouvrages d'Art. Thématiques principales : pathologie et appréciation des ouvrages métalliques et à câbles, leur auscultation, qualification des matériaux, analyse de cycle de vie,...

Bertrand PHILIPPOT, Ingénieur Divisionnaire des Travaux Publics de l'Etat, est responsable de l'Unité Structures Métalliques et à Câbles. Thématiques principales : qualification et certification des matériaux, dispositifs expérimentaux,...

Sylvain CHATAIGNIER, Ingénieur, chargé de recherches, Phd Sciences des structures et des matériaux (2008), en poste au sein de SMC département SOA IFSTTAR, thématiques de recherche : structures métalliques, assemblages, fatigue, matériaux polymères, renforcement par collage de matériaux composites, modélisation mécanique

Lamine DIENG, chargé de recherche au sein du département structures et ouvrages d'art de l'ifsttar, thèmes de recherche : développement des méthodes d'auscultation et de diagnostic, principalement le contrôle non destructif des câbles et leur surveillance, amélioration de la maîtrise et de la durabilité des matériaux : meilleure connaissance des processus de dégradation et de leur source (phénomène vibratoire, fatigue et fretting fatigue) et contrôle des matériaux ; optimisation des politiques de gestion, notamment l'inspection d'ouvrages (fiabilité des méthodes utilisées).

Laurent GAILLET, chargé de recherche HDR au sein du département structures et ouvrages d'art de l'ifsttar, thèmes de recherche : corrosion, auscultation et surveillance des structures métalliques et à câbles, émission acoustique, ...

Virginie PERIER, Ingénieur chercheur, Ph.D en Matériaux (2010) sur l'étude de l'influence des conditions environnementales sur le comportement en fretting, fatigue et fretting-fatigue des câbles du génie civil. En poste à l'IFSTTAR au sein de l'unité Structures Métalliques et à Câbles du département Structures et Ouvrages d'Art. Thématiques de recherche : endommagement des câbles, fatigue, fretting, fretting-fatigue, fatigue-corrosion, analyse de cycle de vie ...

5.4.6 Open Ocean S.A.S

Open Ocean est un jeune bureau d'études créé en 2011 dédié aux énergies marines renouvelables. L'offre d'Open Ocean s'appuie sur le savoir-faire d'une équipe composée d'océanographes hydrodynamiciens et d'ingénieurs, qui utilise l'état de l'art des connaissances scientifiques en modélisation environnementale des zones côtières. Ces modèles numériques sont des briques technologiques en développement au sein d'organismes de recherche français, notamment l'IFREMER d'où est issu l'équipe R&D. C'est pourquoi cette société s'est implanté sur deux sites, l'équipe R&D se trouve à Brest, sur la technopole Brest Iroise alors que la direction et l'équipe commerciale sont situées sur Paris.

Renaud LABORBE, fondateur et président d'Open Ocean, est titulaire d'une maîtrise de mécanique des fluides effectuée en échange universitaire à San Diego State University (Californie) et est diplômé du D.E.A. d'Océanographie Météorologie et Environnement de l'Université Paris VI (Pierre et Marie Curie). Après plusieurs expériences à l'étranger et en océanographie opérationnelle pour l'industrie pétrolière offshore, Renaud Laborbe fonde Open Ocean en 2011 afin de mettre son expertise au profit d'un secteur qui lui est cher, les énergies marines renouvelables.

Youen KERVELLA, a effectué son post-doctorat au sein du département Environnements Côtiers à l'Ifremer, où il a développé un modèle hydrodynamique à coordonnées curvilignes qui est appliqué à un estuaire et à ses évolutions morpho-sédimentaires. Passionné par les environnements marins et motivé par l'enjeu des énergies marines renouvelables, c'est tout naturellement qu'il a rejoint l'équipe R&D d'Open Ocean en tant que directeur R&D.

Matthieu CAILLAUD est ingénieur en océanographie physique diplômé de l'Institut des Sciences de l'Ingénieur de Toulon et du Var (ISITV). Il a travaillé pendant deux ans pour l'Ifremer (successivement à Brest puis à Nouméa en Nouvelle Calédonie) en tant qu'ingénieur d'études en modélisation hydrodynamique côtière. Il a rejoint l'équipe d'Open Ocean en tant qu'ingénieur R&D.

5.4.7 ISL Ingénierie

ISL est une société d'ingénierie, indépendante de tout groupe industriel ou financier (le capital de la société est entièrement détenu par son personnel), créée en 1986 par trois ingénieurs confirmés : Freddy Isambert, Michel Salembier et Michel Lino, et avec la collaboration de Pierre Londe, Président Honoraire de la Commission Internationale des Grands Barrages.

ISL s'est structuré autour de l'activité barrage développant ensuite son savoir-faire dans les métiers associés des infrastructures, de l'hydraulique et de l'environnement. ISL intervient à tous les stades d'un projet, de la conception à la réalisation.

La société compte actuellement près de 70 ingénieurs et techniciens, tous spécialisés dans le domaine des aménagements hydrauliques.

ISL dispose de cinq implantations en France - Paris, Angers, Montpellier, Saint Jean de Luz, Lyon et de filiales en Tunisie et en Algérie. La diversité des situations rencontrées permet une fréquente remise en question et demande une évolution rapide des outils et moyens à mobiliser. L'activité recherche-développement d'ISL est au cœur des projets et se concrétise par des logiciels performants développés en interne.

ISL dispose d'une expertise reconnue en aménagements fluvio maritimes de référence. Nos dernières missions d'importance concernent une assistance à maîtrise d'ouvrage auprès du conseil général de Charente Maritime pour l'établissement d'un programme de réhabilitation des digues extérieures maçonnées de l'Ile de Ré, la participation au concours de maîtrise d'œuvre du port de Granville (coût estimatif des travaux 300 M€) en groupement ISL / HYL / FEICHTINGER et le diagnostic de 70 km de protection du littoral dans le Cotentin.

ISL a notamment capitalisé l'information concernant la tempête Xynthia avant que les travaux d'urgence lourds sur les digues ne viennent masquer les signes évocateurs des processus principaux qui sont intervenus dans la rupture.

Nom	Prénom	Poste	Discipline	Unité partenaire	Etablissement partenaire	Rôle dans le projet
DE BONVILLER	Arnaud	Ingénieur	Hydraulique	ISL	ISL	Sollicitations, modélisation
DEROO	Luc	Ingénieur	Génie civil	ISL	ISL	Géotechnique, dimensionnement
JELLOULI	Moez	Ingénieur	Calcul scientifique	ISL	ISL	Calcul numérique

Arnaud DE BONVILLER est un expert en hydraulique fluvio-maritime, ingénieur de l'Ecole Nationale Supérieure des Techniques Avancées (ENSTA), option environnement marin, 22 ans d'expériences professionnelles, est spécialisé en gestion du risque et environnement marin. Au cours de sa carrière, il a acquis une expérience diversifiée dans le domaine du risque. En tant qu'expert, il a mené des missions d'évaluation de projets dans des contextes différents : effet de la centrale

hydroélectrique de la Néaoua sur l'économie du bassin versant (Nouvelle-Calédonie), effet du programme routier Nouméa sur la dynamique maritime, effet de programmes routiers sur la morphologie et l'hydrodynamique du Var (expert auprès du Tribunal), évaluateur du programme de défense contre la mer (Plan Etat Région). Il travaille actuellement en tant que superviseur sur l'EDD des ouvrages maritimes de protection de la baie de Saint Jean de Luz. Il intervient également en tant que chef de projet sur le programme de défense contre la mer de 70 km de côtes dans le Cotentin. Pour le compte du Conseil Général de Charente-Maritime, il poursuit une mission d'assistant à maîtrise d'ouvrage dans le cadre du programme du renforcement des digues extérieures de défense contre la mer à l'île de Ré avant prise en gestion par la Communauté de Communes. Dans le cadre de ces missions, il réalise avec M. Jellouli des modélisations 2D destinées à estimer les contraintes maritimes sur les structures de digues, en particulier en cas de modification de ces ouvrages. Il participe en tant que superviseur à l'établissement du Plan de Prévention des Risques de l'île de Noirmoutier.

Luc DEROO est ingénieur civil des Ponts et Chaussées et titulaire d'un DEA en géotechnique. Il a 17 ans d'expérience dans l'ingénierie des barrages et des grands ouvrages de génie civil. Il a participé à de nombreuses études de barrages et en particulier a suivi, en tant qu'adjoint au chef de projet, l'ensemble des études de conception et d'exécution du barrage en enrochements de la Galaube, en France. Il a été chef de projet des études de conception et d'exécution de la surélévation de la digue en remblai des Blanchets à la Plagne. Il a été responsable des études d'exécution du barrage en terre de El H'Ma, en Tunisie. Il est membre du Comité Français des Barrages et Réservoirs et membre du groupe de recherche et développement national ERINOH (Erosion interne dans les ouvrages hydrauliques) piloté par la DRAST (Direction de la Recherche, de l'Animation Scientifique et Technique). Il a également participé à la rédaction d'un guide pour la conception des barrages de production de neige de culture avec EDF-CIH et le CEMAGREF. Il a participé à la rédaction du guide de lecture des études de dangers des digues de protection contre les inondations fluviales. Luc Deroo est membre du comité scientifique du colloque relatif au dimensionnement et au fonctionnement des évacuateurs de crues, co-organisé par le Comité Français des Grand Barrages et par la Société Hydrotechnique de France (janvier 2009).

Moez JELLOULI, Ingénieur civil de l'Ecole nationale des Ponts et Chaussées, 10 ans d'expérience. M. Jellouli est spécialisé dans le domaine de la modélisation par éléments finis appliquée au génie civil et à la géotechnique. Il est intervenu sur divers sujets de pointe :

- Etudes de structures et modélisation de plusieurs types d'ouvrages : barrages, canaux, tunnels, ponts, soutènements, écluses ...etc.
- Etudes hydrologiques, hydrauliques ou en dynamique des fluides (CFD) en rapport avec ces ouvrages.
- Etudes concernant la stabilité des structures sous différentes sollicitations, l'optimisation de leur dimensionnement ou la recherche de solutions innovantes.
- Conception de programme de calcul de la stabilité des barrages poids,
- Développement de lois de comportement additionnelles dans ANSYS.

M. Jellouli travaille actuellement à la modélisation des contraintes subies par les digues maritimes et à leur évolution en fonction des confortements et moyens supplémentaires de protection envisagés.

5.4.8 SOGREAH

SOGREAH, entreprise privée française fondée à Grenoble en 1958, fournit des services d'ingénierie et de conseil spécialisée dans l'eau et l'environnement. Spécialisé en aménagement hydraulique maritime, fluvial et lacustre, SOGREAH a une large part de son activité tournée vers l'international (40% en 2009). Au sein du Secteur Eau, Energie et Environnement, la branche Maritime a pour objet d'étudier à la fois les ouvrages de protections maritimes et le comportement du littoral. D'autre part, l'équipe Modélisation Hydraulique et Logiciel de la branche Ressource en Eau et Modélisation est plus particulièrement spécialisée dans la modélisation mathématique des phénomènes physiques complexes et le développement d'outils d'aide à la décision. SOGREAH dispose d'une des plus grandes expériences en Europe d'application des modèles physique et numériques hydrosédimentaire pour le dimensionnement d'ouvrages hydrauliques. Son expérience lui permet au sein du projet à la fois de contribuer techniquement sur la problématique du dimensionnement des systèmes énergétiques étudiés par EMACOP mais aussi de caractériser les impacts de ces systèmes sur le littoral ou les autres ouvrages.

Nom	Prénom	Poste	Discipline	Entité	Rôle dans le projet
DAVID	Eric	Chef d'équipe	Hydraulique	S2E/REM/MHL	Contact scientifique
GARCIA	Nicolas	Ingénieur Projet	Hydraulique	S2E/MAR	Ingénieur ouvrage maritime
LEDISSEZ	Aurélié	Ingénieur	Hydraulique	S2E/REM/MHL	Modélisateur

Eric DAVID, Ingénieur, Ph.D en hydraulique (1993) est le responsable de l'équipe Modélisation Hydraulique et Logiciel regroupant les activités d'études hydrauliques liés aux outils de modélisation à la pointe de l'état de l'art et à la commercialisation de logiciels rentrant dans cette catégorie. Il assure la coordination des activités de modélisation numérique nécessaires à la réalisation des études et des projets de recherche et de développement, tant pour ce qui concerne les aspects commerciaux que techniques.

Nicolas GARCIA, Ingénieur, PhD en hydraulique et génie Côtier à l'Université de Santander (Espagne).

Aurélié LEDISSEZ, Ingénieur, Ph.D en hydraulique (2006). Elle s'est spécialisée en hydraulique des écoulements fluviaux et maritimes à la fois d'un point de vue théorique, numérique et de terrain (Campagne de mesures, bathymétrie, battillage, ...). Elle a développé en particulier des compétences en modélisation des écoulements en baies peu profondes, en sédimentologie et morphodynamique et en houle.

5.4.9 IFREMER

L'Ifremer contribue, par ses travaux et expertises, à la connaissance des océans et de leurs ressources, à la surveillance du milieu marin et du littoral et au développement durable des activités maritimes. À ces fins, il conçoit et met en oeuvre des outils d'observation, d'expérimentation et de surveillance, et gère la flotte océanographique française pour l'ensemble de la communauté scientifique. Créé en 1984, l'Ifremer est un établissement public à caractère industriel et commercial (EPIC), placé sous la tutelle conjointe des ministères de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, et de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Pêche. L'Ifremer travaille en réseau avec la communauté scientifique française, mais aussi des organismes partenaires dans de nombreux pays. La coopération est centrée sur des

grands programmes internationaux, sur l'Outre-mer et sur quelques pays-cibles (Etats-Unis, Canada, Japon, Chine, Australie, Russie), et sur une politique méditerranéenne associant l'Europe à la rive Sud de la Méditerranée.

Des missions de recherche, d'expertise et d'agence de moyens

Une recherche finalisée afin de répondre aux questions sociétales actuelles (effets du changement climatique, biodiversité marine, prévention des pollutions, qualité des produits de la mer...). Les résultats couvrent la connaissance scientifique, les innovations technologiques ou les systèmes d'observation et d'exploration de l'océan. Le partenariat est public, privé ou associe les deux. La surveillance des mers et du littoral, en soutien à la politique publique de gestion du milieu et des ressources. A partir d'avis ou de rapports d'études, de campagnes d'évaluation, de réseaux de surveillance ou de suivi du milieu marin, l'Ifremer apporte son expertise sur des grandes questions scientifiques dans les domaines de compétences de l'Institut et en lien avec les professionnels. Le développement, la gestion et la mise à disposition de grandes infrastructures de recherche – flotte, moyens de calcul, centre de données, moyens d'essais, structures expérimentales – à la disposition de la communauté scientifique nationale et européenne, mais aussi dans le cadre de partenariats de recherche public / privé.

Chiffres-clés

- Un budget annuel de près de 243 millions d'euros
- 1 579 salariés* Ifremer et 375 salariés de l'armateur Genavir (* équivalent temps plein travaillé au 8/12/10)
- 5 centres couvrant l'ensemble des façades maritimes françaises : Bretagne, Manche-Mer du Nord, Méditerranée, Atlantique, Pacifique
- 8 navires (dont 4 hauturiers), 1 submersible habité, 1 engin téléopéré pour grande profondeur (- 6 000 m) et 2 AUVs

Nom	Prénom	Poste	Discipline	Unité partenaire	Etablissement partenaire	Rôle dans le projet
LE BOULLUEC	Marc	Ingénieur	Hydrodynamique	IFREMER	IFREMER	Contact scientifique
MAISONDIEU	Christophe	Chercheur	Hydrodynamique	IFREMER	IFREMER	Modélisation
GERMAIN	Grégory	Ingénieur	Hydrodynamique	IFREMER	IFREMER	Essais en bassin
OHANA	Jérémy	Ingénieur	Mesures	IFREMER	IFREMER	Essais en bassin
DAVIES	Peter	Ingénieur	Matériaux	IFREMER	IFREMER	Calculs de structures

Marc LE BOULLUEC, Ingénieur responsable de calculs et essais en hydrodynamique des corps fixes ou flottants, participe à des projets de développements de systèmes convertisseurs d'énergies marines renouvelables, notamment éolien et hydrolien (AMI ADEME). Membre du Specialist committee V.4 Ocean Wind and Wave Energy Utilization de l'ISSC, 2006, 2009, 2012.

Christophe MAISONDIEU, chercheur en modélisation des systèmes convertisseurs d'énergies marines renouvelables et des états de mer.

Grégory GERMAIN, Ingénieur responsable du bassin d'essais à veine de courant de Boulogne sur Mer.

Jérémy OHANA, Ingénieur responsable des techniques de mesures et acquisition pour essais au bassin de Brest de l'Ifremer.

Peter DAVIES, Ingénieur responsable d'études sur le comportement des matériaux en environnement marin, dont pales d'hydroliennes.

5.4.10 EDF R&D – Laboratoire National d'Hydraulique et Environnement (LNHE)

Le Laboratoire National d'Hydraulique et Environnement (LNHE) est l'un des 15 départements de la division Recherche et Développement (R&D) du groupe Electricité de France (EDF). Le LNHE déploie ses compétences dans le domaine de l'eau et de l'environnement. Parmi ses différentes missions, le LNHE accompagne les projets du groupe EDF dans la recherche de nouvelles formes d'énergies renouvelables autour de l'eau, que ce soit pour les eaux continentales ou marines (hydroliennes, énergie marémotrice, énergie houlomotrice, etc.). Le LNHE est notamment actif dans le domaine des énergies hydrolienne et houlomotrice depuis une dizaine d'années. Il a participé et participe encore activement à plusieurs projets de recherche et développement au niveau national et européen (FP6 : CA-OE, FP7 : EQUIMAR, Energy Technology Institute : REDAPT et PERAWAT, Etude de faisabilité Energies Marines dans les ouvrages Côtiers et Portuaires, accord cadre avec les universités d'Edinburgh et de Manchester). Il est en appui au groupe EDF dans le projet du parc démonstrateur de turbines hydroliennes à Paimpol-Bréhat et dans le développement de projets houlomoteurs en France et à la Réunion. Le LNHE a aussi co-organisé avec IFREMER la deuxième Conférence Internationale sur les Energies Marines (ICOE 2008). Dans le cadre de son activité de recherche et développement d'outils, le LNHE, a développé le système hydro-informatique Telemac, dédié à la modélisation des écoulements à surface libre (voir : <http://www.telemacsystem.com/>). Ce système comprend notamment le module de simulation d'états de mer de 3^{ème} génération TOMAWAC, avec lequel la base des données d'états de mer ANEMOC (voir <http://anemoc.cetmef.developpement-durable.gouv.fr/>) et des études sur le potentiel houlomoteur en France ont été réalisées et ont fait l'objet de plusieurs articles de revue scientifique et de communications en conférences internationales.

En complément des outils de modélisation numérique, le LNHE possède également des installations expérimentales permettant d'étudier les phénomènes hydrauliques sur des maquettes à échelle réduite (1 bassin à houle, 2 canaux à houle et à courant, 6 cuves et canaux à courant).

Nom	Prénom	Poste	Discipline	Entité	Rôle dans le projet
BENOIT	Michel	Chercheur-senior	Hydraulique	LNHE et Labo Saint-Venant	Responsable du lot O-2, et de la sous-tâche O2-3
MATTAROLO	Giovanni	Ingénieur-chercheur	Hydraulique	LNHE et Labo Saint-Venant	Responsable des sous-tâches O2-1 et O2-2
LAUGEL	Amélie	Doctorante	Hydraulique	LNHE et Labo Saint-Venant	Participation aux sous-tâches O2-1 à O2-3

Michel BENOIT, Ingénieur-chercheur senior et HDR (2006), est directeur du Laboratoire d'Hydraulique Saint-venant (Université Paris Est, unité de recherche commune entre EDF R&D, le CETMEF et l'Ecole des Ponts ParisTech). Il est expert en hydraulique maritime et côtière, et en particulier dans le domaine des vagues (états de mer de large à la côte). Il a travaillé sur la physique des vagues (expérimentations en laboratoire), et sur leur modélisation numérique (co-développeur du code d'états de mer spectral TOMAWAC ; développeur de codes de vagues non-linéaires de type Boussinesq étendu, etc.). Il est à l'initiative et a coordonné la réalisation de la version 1 de la base

d'états de mer ANEMOC, en collaboration avec F. Lafon et le CETMEF (G. Goasguen et X. Kergadallan). Il dirige actuellement plusieurs thèses, dont celle d'Amélie Laugel (Evolution de la climatologie des états de mers et niveaux marins sous scénarios de changement climatique, 2010-2013) et celle d'Etienne Guerber (Modélisation hydro-mécanique implicite et non-linéaire des interactions entre les vagues et des structures rigides immergées en mouvement de grande amplitude, appliquée à la simulation de systèmes récupérateurs d'énergie des vagues, 2008-2011).

Giovanni MATTAROLO, PhD (2007) est ingénieur-chercheur au sein du LNHE et du laboratoire d'Hydraulique Saint-Venant. Ses domaines de compétences sont : i. les énergies marines renouvelables en général (houlomoteur, hydrolieu, etc.), ii. La climatologie des états de mer et l'évaluation de la ressource houlomotrice sur des sites particulier, et iii. La propagation des états de mer : modélisation et simulation numérique. Il est actuellement responsable de la maintenance et du développement du code TOMAWAC, et participe à l'encadrement des travaux de thèse d'Amélie Laugel.

Amélie LAUGEL, est actuellement doctorant au sein du Laboratoire Saint-Venant (thèse CIFRE avec EDF comme partenaire industriel, sur la période 10/2010 – 09/2013). Elle travaille sur la simulation des états de mer et des surcotes-décotes (codes TOMAWAC et TELEMAC-2D), à la fois avec une approche rétrospective (hindcast), en simulant les dernières décennies à partir des forçages issus de réanalyses météorologiques, et une approche prospective pour évaluer les impacts potentiels du changement climatique sur la climatologie future de ces aléas maritimes.

5.4.11 Laboratoire SIAME EA 4581 – Université de Pau et des Pays de l'Adour

Le laboratoire Sciences de l'Ingénieur Appliquées à la Mécanique et au Génie Electrique (SIAME) a été constitué et a été reconnu comme EA 4581 en janvier 2011, en regroupant avec une équipe Mécanique et une équipe Génie Electrique, des enseignant-chercheurs du LASAGEC, du LaTEP et du LGE. L'équipe Mécanique l'essentiel des enseignants chercheurs en section 60 (Mécanique) de l'UPPA. Au sein du SIAME, l'axe Interactions Vague Sédiment Structure (IVS) travaille sur la thématique génie côtier par le biais de la simulation numérique et les observations et mesures de terrain.

Nom	Prénom	Poste	Discipline	Entité	Rôle dans le projet
MORY	Mathieu	Professeur	Hydraulique	UPPA	Coordinateur S1
ABADIE	Stéphane	Professeur	Hydraulique	UPPA	Tâche O1-1 et O1-2
MORICHON	Denis	Maître de Conférence	Hydraulique	UPPA	Tâche O1-1 et O1-2
MARON	Philippe	Maître de Conférence	Hydraulique	UPPA	Tâche O1-1 et O1-2

Mathieu MORY, Ingénieur, Docteur Ingénieur (1984), HDR (1991), Professeur à l'UPPA depuis 1998. Responsable de l'équipe Mécanique de SIAME. A participé à trois projets européens (COSINUS, SCARCOST, LIMAS) sur le transport sédimentaires et leurs interactions avec des ouvrages.

Stéphane ABADIE, Ingénieur, Ph.D en Mécanique des Fluides (1998), HDR en 2007 et Professeur depuis 2008. Responsable du groupe IVS. Spécialisation dans la modélisation Navier-Stokes VOF des vagues déferlantes et de leurs effets à la côte.

Denis MORICHON, PhD en Océanographie (2003), Maître de conférence à l'UPPA depuis 2009. Spécialisé dans l'étude numérique de l'hydrodynamique et de la dynamique sédimentaire en milieu côtier.

Philippe MARON, Agrégé de Mécanique, Thèse de Physique en 1995, Maître de conférence à l'UPPA depuis 1995, Spécialisé en modélisation hydrodynamique côtière et zone estuarienne.

5.5 Implication des partenaires actifs

5.5.1 UTC-CETMEF/LHN

Coordinateur des tâches T, S2, O3-4
Intervention forte sur les tâches O1-1, O1-2
Intervention mineure sur les tâches S3, S5, O4-2

5.5.2 ECN/LMF

Coordinateur des tâches O, O1, O1-1, O1-2
Intervention forte sur les tâches T2, T3
Intervention mineure sur les tâches O2-3, O3-2

5.5.3 ULH/LOMC

Coordinateur des tâches S4 et O4-1
Intervention forte sur les tâches O1-1, O1-2, O4-1
Intervention mineure sur les tâches S1, S2, S3

5.5.4 CETE de l'Ouest

Coordinateur des tâches O4 et O4-2
Intervention forte sur la tâche S5

5.5.5 IFSTTAR/SO/SMC

Coordinateur de la tâche O1-3

5.5.6 Open Ocean

Coordinateur de la tâche O2-4

5.5.7 ISL Ingénierie

Coordinateur des tâches S2 et O3-2
Intervention forte sur les tâches O4-2, T1, S1, S3

5.5.8 SOGREAH

Coordinateur des tâches O3, O3-1, O3-24
Intervention mineure sur les tâches S1, S2, S4, S5, O1, O2

5.5.9 IFREMER

Coordinateur des tâches S5
Intervention mineure sur les tâches S1, S2, S3, S4, O1, O2 notamment O2-3.

5.5.10 EDF/LNHE

Coordinateur des tâches O2, O2-1, O2-2, O2-3
Intervention forte sur les tâches O2-4, O1, O3

5.5.11 UPPA/SIAME

Coordinateur de la tâche S1
Intervention forte sur les tâches O1-1 et O1-2

5.6 Références des partenaires actifs

5.6.1 Publications UTC-CETMEF/LHN

ALDERF N., LEFRANCOIS E., SERGENT P., DEBAILLON P., (2010). Transition effects on ship sinkage in highly restricted waterways, Journ. Of Engin. For the Maritime Environment, 224 (M2), 141-153, DOI 10.1243/14750902JEME170
ALDERF N., LEFRANCOIS E., SERGENT P., DEBAILLON P., (2011). Dynamic ship response integration for numerical prediction of squat in highly restricted waterways, International Journal for Numerical Methods in Fluids, Volume 65, Issue 7, pages 743–763
DARBANI M., OUAHSINE A., VILLON P., NACEUR H., SMAOUI H. (2010) Meshless method for shallow water equations with free surface flow . Applied Mathematics and Computation, Vol 217(11), pp 5113-5124
MEFTAH K., SERGENT P., GOMI P., (2004), Linear analysis of a new type of extended Boussinesq model, Coastal Engineering 51(2), pp 185-206
OUAHSINE A., SERGENT P., HADJI S., (2008). Modeling of Non-Linear Waves by an Extended Boussinesq Model, Journal Eng. Applications of Computational Fluid Mechanics, 2(1), pp 11–21
SERGENT P., ROPERT F., ORCEL O., HOUARI M., DUHAMEL D., DHATT G., (2002). Water waves in harbours areas: appreciation of open boundaries, Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, 128 (5), pp 184-189
SMAOUI H., OUAHSINE A., PHAM VAN BANG D., SERGENT P., HISSEL F., (2010). On the sediment resuspension induced by boat traffic: from experiment to numerical modelling. In Sediment Transport, Chapter 3, pp 55-70, ISBN 978-953-307-189-3., Intech Publisher, Vienna, Austria.

5.6.2 Publications ECN/LMF

La publication scientifique de l'équipe sur l'énergie des vagues s'élève aujourd'hui à 9 thèses soutenues, 4 contributions en ouvrages, 16 articles en revue internationale, 3 brevets et plus d'une cinquantaine d'articles en conférence. L'équipe a participé et participe encore à plusieurs actions et projets nationaux et européens sur la récupération de l'énergie des vagues (FP5 : WAVENET, FP6 : WAVETRAIN (RTN) et CAOÉ, FP7 : WAVETRAIN2 (RTN) et MARINA, Action Concertée Incitative Énergie et Conception Durable (MRNT, CNRS, DGA), Energies Marines dans les ouvrages Côtiers et Portuaires), ce qui a permis au LMF de développer des liens et des collaborations avec les équipes internationales travaillant sur l'énergie des vagues (IST Lisbonne, Univ. Edimbourg, Univ. College Cork, NTNU Trondheim, etc). A l'origine du projet de machine houlomotrice SEAREV en 2002, le LMF a plus récemment lancé le projet de site d'essais à la mer pour la récupération de l'énergie des vagues (SEM-REV) dans le cadre des contrats de projet Etat-Région (CPER).

5.6.3 Publications ULH/LOMC

J. BROSSARD, G. PERRET, L. BLONCE and A. DIEDHOU., 2009. Higher harmonics induced by a submerged horizontal plate and a submerged rectangular step in a wave flume. Coastal Engineering 56, pp. 11-22
A. POUPARDIN, N. BOURNETON, G. PINON, E. RIVOALEN, J. BROSSARD, G. PERRET. 2011. Vortex dynamics around an immersed structure. 9th European Wave and Tidal Energy Conference Series, Southampton
J-M. CHERFILS, L. BLONCE, G. PINON, and E. RIVOALEN. 2010. IB-SPH simulations of wave-body interactions. 5th international SPHERIC workshop, June, 23-29 2010, Manchester, UK
J-M. CHERFILS, L. BLONCE, G. PINON, and E. RIVOALEN 2010. Simulation en méthode particulière des sollicitations hydrodynamiques d'ouvrages marins. XIèmes Journées Nationales Génie Côtier / Génie Civil, Les Sables d'Olonne, France
F. MAGANGA, G. GERMAIN, J. KING, G. PINON, and E. RIVOALEN, 2010. Flow characteristic effects on marine current turbine behaviour and on its wake properties. IET Renewable Power Generation, Accepted for publication with minor review

5.6.4 Références circonstanciées CETE de l'Ouest

Projet de rempliement du quai des Avisos , DTM Martinique 2010-2011

Projet de réparation du quai en maçonnerie Cosmao Dumanoir – DCNS Lorient – (2009-2011)
Projet et contrôle extérieur des études de l'extension du Port de Roscoff- CCI Morlaix- 2007-2011
Projet et contrôle extérieur du Quai en eaux profondes de Lorient- Région Bretagne – 2006-2008

5.6.5 Publications IFSTTAR/SOA/SMC

V. PERIER, L. DIENG, L. GAILLET, C. TEISSIER and S. Fouvry «Influence of an aqueous environment on the fretting behaviour of steel wires used in civil engineering cables" *Wear* (2011), pages 1585-1593, doi:10.1016/j.wear.2011.01.095
V. TORRA, A. ISALGUE, C. AUGUET, G. CARRERAS, F. C. LOVEY, P. TERRIAULT, L. DIENG. "SMA in mitigation of extreme loads in civil engineering: Damping actions in stayed cables" *Applied Mechanics and Materials*, Vol 82 (2011). pp 539 – 544. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.82.539.
PERRIN M., GAILLET L., TEISSIER C., Idrissi H., « Hydrogen embrittlement of prestressing cables » *Corrosion Science*, 52, pp.1915-1926 – 2010
CHATAIGNER S., CARON J-F, BENZARTI K., QUIERTANT M., AUBAGNAC C., Use of a single lap shear test to characterize composite-to-concrete or composite-to-steel bonded interfaces. *Construction and Building Materials*, In Press, Corrected Proof, Available online 27 September 2010
BENZARTI K., CHATAIGNER S., QUIERTANT M., MARTY, AUBAGNAC C., Accelerated ageing behaviour of the adhesive bond between concrete specimens and CFRP overlays. *Construction and Building Materials*, In Press, Corrected Proof, Available online 20 September 2010
V. PERIER, L. DIENG, L. GAILLET, C. TEISSIER and S. Fouvry "Fretting-fatigue behaviour of bridge engineering cables in a solution of sodium chloride" *Wear*, Vol. 267, Issues 1-4, 15 June 2009, Pages 308-314.
Ramadan S., GAILLET L., TEISSIER C., Idrissi H., « Assessment of the stress corrosion cracking of prestressing tendons by acoustic emission in high alkaline medium » - *Journal of Measurement Science and Technology*, 19 – 2008
PERRIN M., GAILLET L., TEISSIER C., Idrissi H., « Assessment of stress corrosion cracking in prestressing strands using acoustic emission technique » - *Journal of acoustic emission*, 26, 2008, pp. 32-39
Proverbio E., LONGO P., GAILLET L., « Monitoring of high strength steel stress corrosion cracking by acoustic emission » - *Metallurgia Italiana*, 98, 2006, pp. 23-30

5.6.6 Publications Open Ocean

Les réalisations les plus récentes d'Open Ocean incluent :

- Une étude du potentiel énergétique houlomoteur au large de La Salie commandée par la société Energie de la Lune.
- La modélisation de la circulation océanique et sédimentaire dans la baie du Mont Saint Michel en collaboration avec le département DYNECO/PHYSED de l'Ifremer.

Les publications les plus récentes de Youen Kervella et François Batifoulouier :

Kervella, Y., Cayocca, F., Verney, R., Jestin, H., Bassoulet, P., Cann, P., Le Hir, P., Lesueur, P., 2011. The impact of oyster structures on hydrodynamics in a macro- tidal environment. *Accepté*.
Kervella, Y., Germain, G., Gaurier, B., Facq, J.-V., Brevers, M., Cayocca, F. and Lesueur, P., 2009. Experimental study of the near-field impact of an oyster table on the flow. *European Journal of Mechanics / B Fluids* 29 (2010), pp. 32-42.
Kervella, Y., Dutykh, D., Dias, F., 2007. Comparison between three-dimensional linear and nonlinear tsunami generation models. *Theoretical and Computational Fluid Dynamics* (2007) 21, pp. 245-269.
Batifoulouier, F., Lazure, P., Bonneton, Poleward coastal jets induced by cross-shore winds in the Bay of Biscay [en préparation] Batifoulouier, F., Lazure, P., Velo-Suarez, L., Maurer, D., Bonneton, P., Dupuy, C., Gentien, P. (2011). Distribution of Dinophysis species in the Bay of Biscay and possible transport pathways to the Arcachon Basin. *Journal of Marine System*. [Accepté]
Charria, G., Lazure, P., Le Cann, B., Serpette, A., Reverdin, G., Louazel, S., Batifoulouier, F., Dumas, F., Pichon, A., Morel, Y. (2011).
Surface layer circulation derived from Lagrangian drifters in the Bay of Biscay. *Journal of Marine System*. [Accepté]

5.6.7 Références circonstanciées ISL

Etudes de danger du seuil de garantie de Saint Jean de Luz – 2010-2011
Plan de Prévention des Risques Naturels- part multirisques de l'Île de Noirmoutier et de la baie de Bourgneuf - DDEA de Vendée 2010-2011
Littoral du Cotentin,-Diagnostic des ouvrages de défense contre la mer : évaluation du risque et propositions de confortement- modélisations des états de mer- estimation de la hauteur significative en pied d'ouvrage-estimation des débits de franchissement
Île de Ré, digues du Cotentin : modélisation 2D des franchissements, estimation des contraintes sur les perrés et les parapets – 2011

Réalisation du diagnostic des ouvrages de défense contre la mer, PPR submersion marine-travaux de niveau 2. Evaluation du risque et propositions de confortement-estimation des conditions rencontrées lors de Xynthia - CG Charente maritime, DDTM Vendée 2010-2011

5.6.8 *Références circonstanciées Sogreah*

Etude d'impact et étude hydrosédimentaire de l'Implantation d'hydrolienne en Baie de Seine. Etude pour le compte de la société MAIA Power, 2008.

Evaluation de l'impact d'un champ d'hydrolienne, Etude sur modèle physique, Etude pour le compte de la société HYDROELIX et l'ADEME, 2005.

Etude sur modèle physique et numérique de la digue de protection en terre plein du projet de terminal GNL dans le port d'Antifer, Etude pour le compte de la société Gaz de Normandie, 2010.

Etude de la nouvelle passe de la lagune de Mar Chica, Maroc, Dimensionnement et franchissement, société Marchica Med, 2009

Projet de R&D HYDROFOND, Comportement Hydrodynamique des Géomatériaux de Fondations Immersées et du Domaine Côtier. Projet financé par le MEDDTL, convention 10-273, 2011-2014.

5.6.9 *Publications Ifremer*

July 23-27 2007, "Experimental and numerical results on Vortex Induced Vibrations and Wake Induced Oscillations", IUTAM Symposium on Fluid-Structure Interaction in Ocean Engineering Hamburg, Germany - B. GAURIER, G. GERMAIN, M. LE BOULLUEC, E. GIRY, E. FONTAINE

Interaction houle-courant en bathymétrie variable via une approche de type Boussinesq. F. GUINOT, M. LE BOULLUEC, V. REY. 11èmes Journées de l'hydrodynamique, 3-5 avril 2007, Brest

Experimental investigation for the dynamic behaviour of a catenary riser under top imposed excitations.. Chatjigeorgiou, I.K. (National Technical University of Athens, Greece), DAMY G. and LE BOULLUEC, M. (Ifremer, Centre de Brest, France).. Seventh International Symposium on Cable Dynamics. Vienna (Austria). December 10-13, 2007

Steady drift of floating objects in waves, experimental and numerical investigation. LE BOULLUEC, M., FOREST, B., MANSUY, E. 27th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering (OMAE2008) June 15-20, 2008, Estoril, Portugal.

Realistic marine flow conditions for current turbines studies. GUINOT, F., LE BOULLUEC, M. 2nd International Conference on Ocean Energy, ICOE2008. 15-17 octobre 2008.

Etude expérimentale d'un système de conversion de l'énergie des vagues exploitant les oscillations d'une masse d'eau contenue dans un tube en U. N. FONSECA, J. PESSOA, S. RIBEIRO, E SILVA, M. LE BOULLUEC, J. OHANA 12èmes Journées de l'hydrodynamique, 17-19 novembre 2010, Nantes .

Numerical and experimental study of the interaction between two marine current turbines. P. MYCEK, G. GERMAIN, G. PINON, E. RIVOALEN. 9th EWTEC, Southampton, 2011.

Evolution of the durability of composite tidal turbine blades. P. DAVIES G. GERMAIN, N. LACOTTE, D. PERREUX. 9th EWTEC, Southampton, 2011.

5.6.10 *Publications EDF/LNHE*

GAGNAIRE-RENOU E., BENOIT M., BADULIN S. (2011) On weakly turbulent scaling of wind sea in simulations of fetch-limited growth. J. Fluid Mech., vol. 669, pp. 178-213, DOI:10.1017/S0022112010004921

GAGNAIRE-RENOU E., BENOIT M., FORGET Ph. (2010) Ocean wave spectrum properties as derived from quasi-exact computations of nonlinear wave-wave interactions. J. Geophys. Res. C (Oceans), Vol. 115, C12, C12058, doi:10.1029/2009JC005665

ISSA R. ROUGE D., BENOIT M., VIOLEAU D., JOLY A. (2010) Modelling algae transport in coastal areas with a shallow water equation model including wave effects. J. Hydro-environment Research, Vol. 3(4), pp 215-223, doi:10.1016/j.jher.2009.10.004

NICOLLE A., KARPATCHEV M., BENOIT M. (2009) Amplification of the storm surges in shallow waters of the Pertuis Charentais (Bay of Biscay, France). Ocean Dynamics, doi: 10.1007/s10236-009-0219-0.

CHAZEL F., BENOIT M., ERN A., PIPERNO S. (2009) A double-layer Boussinesq-type model for highly nonlinear and dispersive waves. Proc. Royal Soc. Series A, vol. 465, pp 2319-2346, doi:10.1098/rspa.2008.0508.

TOFFOLI A., BENOIT M., ONORATO M., BITNER-GREGersen E.M. (2009) The effect of third-order nonlinearity on statistical properties of random directional waves in finite depth. Nonlinear Processes Geophys., Vol. 16, pp 131-139.

MATTAROLO G., BENOIT M., LAFON F. (2009). Wave energy resource off the French coasts: the ANEMOC database applied to the energy yield evaluation of Wave Energy, Proc. European Wave and Tidal Energy Conference (EWTEC 2009), Uppsala, Suede.

BENOIT M., LAFON F., GOASGUEN G. (2008) Constitution et exploitation d'une base de données d'états de mer le long des côtes françaises par simulation numérique sur 23 ans. Base ANEMOC en Atlantique – Manche – Mer du Nord. European Journal of Env. and Civil Eng., Vol. 12/1-2, pp 35-50.

CAVALERI L., ALVES J.-H.G.M., ARDHUIN F., BABANIN A., BANNER M., BELIBASSAKIS K., BENOIT M., DONELAN M., GROENEWEG J., HERBERS T.H.C., HWANG P., JANSSEN P.A.E.M., JANSSEN T., LAVRENOV I.V., MAGNE R., MONBALIU J., ONORETO M., POLNIKOV V., RESIO D., ROGERS W.E., SHERMET A., MCKEE SMITH J., TOLMAN H.L., VAN VLEDDER G., WOLF J., YOUNG I. (the WISE group) (2007) Wave modelling – The state of the art. Progress in Oceanography, Vol. 75(4), pp 603-674.

5.6.11 Publications UPPA/SIAME

MORY, M., MICHALET H., BONJEAN, D., PIEDRA-CUEVA, I., BARNOUD, J.M., FORAY, P., ABADIE S., BREUL, P., 2007, "Momentary liquefaction and scour caused by waves around a coastal structure", Journal of Waterways, Port, Coastal and Ocean Engineering, 133, 1, 28-38.

ABADIE, S., BRIERE, C., DUBRANNA, J., MARON, P., RIHOUEY, D., 2008. "Erosion generated by wave induced currents in the vicinity of a jetty : the study case of the relation between the Adour river mouth and Anglet's beach - France.", Journal of Coastal Research, 24, 1, 59-69.

ABADIE, S., MORICHON, D., GRILLI, S., GLOCKNER, S. 2010. "Numerical Simulation of waves generated by landslides using a multiple-fluid Navier-Stokes model". Coastal Engineering, 57, 779-794,

MORY, M., ABADIE, S., MAURIET, S. and LUBIN, P., « Run-up flows of collapsing bores over a beach", European Journal of Mechanics – B/Fluids. doi:10.1016/j.euromechflu.2010.11.005

MICHALLET H., MORY M. & PIEDRA-CUEVA I. 2009, "Wave induced pore pressure measurements near a coastal structure", J. Geophysical Research - Ocean, Vol. 114, C06019, doi:10.1029/2008JC005071.

6 BUDGET PREVISIONNEL GLOBAL

BUDGET PREVISIONNEL GLOBAL

Désignation des actions	MONTAGE	
	Montant global en €HT	Montant part P.N. en €HT
1 - Systèmes houlomoteurs et marémoteurs		
<u>systèmes houlomoteurs</u>		
<u>1.1 sur ouvrages neufs - S1</u>		
- analyse et pré-sélection des technologies	60 000	20 000
- objectifs spécifiques et contraintes sur les sites pilotes retenus et élaboration du cahier des charges pour les tâches à réaliser au titre de l'action "outils"	50 000	20 000
- élaboration du document de synthèse	90 000	36 000
sous total 1.1 (S1)	200 000	76 000
<u>systèmes houlomoteurs</u>		
<u>1.2 sur ouvrages anciens - S2</u>		
- analyse et pré-sélection des technologies	40 000	15 000
- innovation et essais sur caissons JARLAN	30 000	10 000
- objectifs spécifiques et contraintes sur les sites pilotes retenus et élaboration du cahier des charges pour les tâches à réaliser au titre de l'action "outils"	70 000	25 000
- élaboration du document de synthèse	80 000	32 000
- estimation du potentiel national des ouvrages portuaires français	20 000	8 000
sous total 1.2 (S2)	240 000	90 000
<u>systèmes houlomoteurs</u>		
<u>1.3 sur ouvrages détachées - S3</u>		
- analyse et pré-sélection des technologies	40 000	15 000
- innovations sur des technologies détachées de la côte	100 000	40 000
- objectifs spécifiques et contraintes sur les sites pilotes retenus et élaboration du cahier des charges pour les tâches à réaliser au titre de l'action "outils"	70 000	25 000
- document de synthèse	60 000	24 000
sous total 1.3 (S3)	270 000	104 000
<u>1.4 système marémoteurs sur ouvrages portuaires ou côtiers (S4)</u>		
<u>A) Pour les bassins portuaires</u>		
- recensement des sites portuaires ayant ou pouvant avoir des bassins à flot et analyse des fonctionnements actuels avec estimation du potentiel énergétique	20 000	7 500
- optimisation du fonctionnement du point de vue récupération d'énergie et études des solutions possibles pour l'installation de turbines	25 000	9 000
- analyse des impacts environnementaux	10 000	4 000
- rapport de synthèse intégrant une analyse coût-bénéfice	20 000	8 000
Sous total 1.4 (S4)	75 000	28 500

1.5 Dispositifs hydroléens sur ouvrages portuaires ou côtiers (S5)		
- recensement et pré-sélection de sites pilotes pour lesquels seraient identifiées les conditions d'environnement et les données structurelles des ponts ou jetées retenus et évaluation du potentiel énergétique	20 000	7 000
- recensement des dispositifs convertisseurs et évaluation des performances théoriques, des efforts induits sur le pont ou jetées	40 000	16 000
- évaluation de l'impact environnemental et des coûts	20 000	8 000
- examen approfondi de 2 ou 3 solutions piles-convertisseurs et évaluation de la production d'énergie	90 000	35 000
- rapport de synthèse	30 000	12 000
sous total 1.5 (S5)	200 000	78 000
TOTAL 1 (S)	985 000	376 500
2 - "Outils" d'évaluation O		
2.1 Rendement, survivabilité, impact hydraulique et fatigue (O1)		
- les essais physiques et la modélisation numérique porteraient sur 4 à 6 technologies		
- essais physiques de rendement, de survivabilité et de fatigue	350 000	130 000
- modélisation numériques de rendement et de survivabilité	350 000	140 000
- réalisation des maquettes d'essais	300 000	100 000
- rapports de synthèse des essais	120 000	45 000
sous total 2.1 (O1)	1 120 000	415 000
2.2 Evaluation potentiel houlomoteur d'un site (O2)		
- développement de la méthodologie	200 000	60 000
- application de la méthodologie sur des sites pilotes	140 000	50 000
- test d'un prototype de logiciel de prévision à court terme sur un site pilote	100 000	40 000
- rapport de synthèse	40 000	16 000
sous total 2.2 (O2)	480 000	166 000
2.3 Impact hydrosédimentaire local et régional (O3)		
- collecte des données, calage et validation sur 2 sites pilotes	80 000	30 000
- perfectionnement des outils de modélisation numérique et interface modélisation numérique grande échelle/petite échelle	160 000	60 000
- application de ces outils améliorés sur 2 sites pilotes	120 000	40 000
- essais physiques en bassin sur 2 technologies d'ouvrages détachés	400 000	141 000
- rapport de synthèse	40 000	16 000
sous total 2.3 (O3)	800 000	287 000
2.4 Dimensionnement de l'ouvrage et étude socio-économique		
- impact sur la fonction des ouvrages porteurs	150 000	54 000
- dimensionnement de l'ouvrage	150 000	60 000
- étude économique, prise en considération de la double fonction des infrastructures	180 000	75 000
- acceptabilité sociétale	40 000	15 000
- rapport de synthèse	30 000	12 000
sous total 2.4 (O3)	550 000	216 000
TOTAL 2 (O)	2 950 000	1 084 000
3 - Sites expérimentaux (S)		
- il est prévu un site expérimental sur ouvrages réels par système soit 5 sites expérimentaux		

- pour chaque site expérimental : expertise du projet, suivi de la mise en œuvre du système de récupération d'énergie, instrumentation de l'ouvrage, évaluation des résultats obtenus et comparaison avec essais physiques et modélisation numérique		
- estimation du coût par site expérimental 50 000€ soit pour 5 sites une prévision de	250 000	100 000
- rapport de synthèse	30 000	12 000
TOTAL 3 (S)	280 000	112 000
4 - Valorisation		
- création d'un site internet et extranet	20 000	8 000
- rédaction du guide technique et relecture par des experts	70 000	25 000
- édition du guide Français/Anglais et diffusion	60 000	30 000
- présentation publique des résultats	80 000	24 000
- conférences, participation à des congrès internationaux et actions de formation	20 000	10 000
TOTAL 5	250 000	97 000
TOTAL DES ACTIONS	4 465 000	1 669 500
<i>frais de gestion administrative et financière 5%</i>	223 250	223 250
montant total du budget en €HT	4 688 250	1 892 750
montant total du budget en €TTC	5 607 147	2 263 729

7 PLAN PREVISIONNEL DE FINANCEMENT

Plan prévisionnel de financement

Montants en € HT

Le montant des cotisations est calculé en fonction de la valeur du taux de base T = 4500 € HT et de la nature des partenaires.

	BUDGET GLOBAL
Budget prévisionnel	4 688 250
Ressources prévisibles	
Etat (20% du budget HT)	937 650
Cotisations	
6 entreprises à 2T	
3 entreprises à 0.5T	
7 maîtres d'ouvrages à 2T	
2 maîtres d'ouvrages à 1T	
4 ingénieries à 2T	
3 ingénieries à 1T	
3 ingénieries à 0.5T	
2 laboratoires à 2T	
1 laboratoire à 1T	
11 université/école à 0.2T	
1 industrie à 1T	
3 industries à 0.5T	
Soit 51.7 T ramenés à 49 T	882 000
Participations exceptionnelles	80 000
TOTAL	1 899 650
Part PN à financer	1 892 750
Apports en nature des partenaires	2 795 500

8 PLANNING

Désignation des actions	ANNEE 1	ANNEE 2	ANNEE 3	ANNEE 4
1 - Systèmes houlomoteurs et marémoteurs				
<u>systèmes houlomoteurs</u>				
<u>1.1 sur ouvrages neufs - S1</u>				
- analyse et pré-sélection des technologies				
- objectifs spécifiques et contraintes sur les sites pilotes retenus et élaboration du cahier des charges pour les tâches à réaliser au titre de l'action "outils"				
- élaboration du document de synthèse				
<u>systèmes houlomoteurs</u>				
<u>1.2 sur ouvrages anciens - S2</u>				
- analyse et pré-sélection des technologies				
- innovation et essais sur caissons JARLAN				
- objectifs spécifiques et contraintes sur les sites pilotes retenus et élaboration du cahier des charges pour les tâches à réaliser au titre de l'action "outils"				
- élaboration du document de synthèse				
- estimation du potentiel national des ouvrages portuaires français				
<u>systèmes houlomoteurs</u>				
<u>1.3 sur ouvrages détachées - S3</u>				
- analyse et pré-sélection des technologies				
- innovations sur des technologies détachées de la côte				
- objectifs spécifiques et contraintes sur les sites pilotes retenus et élaboration du cahier des charges pour les tâches à réaliser au titre de l'action "outils"				
- document de synthèse				
<u>1.4 système marémoteurs sur ouvrages portuaires ou côtiers (S4)</u>				
<u>A) Pour les bassins portuaires</u>				
- recensement des sites portuaires ayant ou pouvant avoir des bassins à flot et analyse des fonctionnements actuels avec estimation du potentiel énergétique				
- optimisation du fonctionnement du point de vue récupération d'énergie et études des solutions possibles pour l'installation de turbines				
- analyse des impacts environnementaux				
- rapport de synthèse intégrant une analyse coût-bénéfice				
<u>1.5 Dispositifs hydrolieux sur ouvrages portuaires ou côtiers (S5)</u>				
- recensement et pré-sélection de sites pilotes pour lesquels seraient identifiées les conditions d'environnement et les données structurelles des ponts ou jetées retenus et évaluation du potentiel				

énergétique - recensement des dispositifs convertisseurs et évaluation des performances théoriques, des efforts induits sur le pont ou jetées - évaluation de l'impact environnemental et des coûts - examen approfondi de 2 ou 3 solutions piles-convertisseurs et évaluation de la production d'énergie - rapport de synthèse				
2 - "Outils" d'évaluation O <u>2.1 Rendement, survivabilité, impact hydraulique et fatigue (O1)</u> - les essais physiques et la modélisation numérique porteraient sur 4 à 6 technologies - essais physiques de rendement, de survivabilité et de fatigue - modélisation numériques de rendement et de survivabilité - réalisation des maquettes d'essais - rapports de synthèse des essais <u>2.2 Evaluation potentiel houlomoteur d'un site (O2)</u> - développement de la méthodologie - application de la méthodologie sur des sites pilotes - test d'un prototype de logiciel de prévision à court terme sur un site pilote - rapport de synthèse <u>2.3 Impact hydrosédimentaire local et régional (O3)</u> - collecte des données, calage et validation sur 2 sites pilotes - perfectionnement des outils de modélisation numérique et interface modélisation numérique grande échelle/petite échelle - application de ces outils améliorés sur 2 sites pilotes - essais physiques en bassin sur 2 technologies d'ouvrages détachés - rapport de synthèse <u>2.4 Dimensionnement de l'ouvrage et étude socio-économique (O4)</u> - impact sur la fonction des ouvrages porteurs - dimensionnement de l'ouvrage - étude économique, prise en considération de la double fonction des infrastructures - acceptabilité sociétale - rapport de synthèse 3 - Sites expérimentaux (S) - il est prévu un site expérimental sur ouvrages réels par système soit 5 sites expérimentaux - pour chaque site expérimental : expertise du projet, suivi de la mise en œuvre du système de récupération d'énergie, instrumentation de l'ouvrage, évaluation des résultats obtenus et comparaison avec essais physiques et modélisation numérique - estimation du coût par site expérimental				

- rapport de synthèse				
4 - Valorisation				
- création d'un site internet et extranet				
- rédaction du guide technique et relecture par des experts				
- édition du guide Français/Anglais et diffusion				
- présentation publique des résultats				
- conférences, participation à des congrès internationaux et actions de formation				