

UN NOUVEAU REGARD SUR L'ÉNERGIE DES MARÉES

UNE CHANCE POUR LES
TERRITOIRES FRANÇAIS





Fendre les flots

*“ Les marées reviennent chaque jour avec les gazettes
Leur force allume les réverbères et les lanternes
elles poussent leurs ardeurs contre la falaise
elles l'étripent en font des fleurs minérales à leur aise
elles poussent leurs bataillons de béliers et de brebis
enfantant les galets rares et autres débris
ainsi va le monde et la lune en tourniquant
ainsi va la mer seule et une montant et baissant ”*

Raymond QUENEAU

PRÉFACE

RÉ-OUVRIR L'OPTION MARÉMOTRICE : UNE AUDACE RÉALISTE

La France aurait-elle son énergie marémotrice honteuse ? La question s'impose devant le regard ambivalent porté sur une énergie totalement renouvelable, prédictible, abondante. Regard reconnaissant et fier devant la réussite industrielle et pionnière de l'usine de la Rance. Mais regard perplexe et parfois même hostile, avec l'idée reçue que de nouveaux sites ne sont pas imaginables.

Cette perception ambivalente est d'ailleurs retranscrite dans la vision restituée à l'échelon national : le rapport de la mission d'étude interministérielle sur les énergies marines renouvelables publié en mars 2013¹, reconnaît sa maturité technologique et son potentiel. Cependant, les questions d'acceptabilité environnementale et sociétale sont mis en avant comme un frein majeur pour pouvoir la considérer comme une option du futur.

La SHF est convaincue que cette énergie a un avenir.

En 2015, renouant avec ses missions premières, la Société Hydrotechnique de France (SHF) a souhaité, à travers un groupe de travail national intitulé « Nouveau marémoteur », revisiter les fondamentaux de cette puissante énergie, et redéfinir les conditions de son développement moderne et responsable.

Rassemblant plus d'une vingtaine d'experts et de spécialistes, il restitue réflexions, données, et propositions d'actions pour ré-ouvrir l'option marémotrice, une technologie mature à fort potentiel d'innovation. Ce groupe de travail a mis en lumière les conditions de faisabilité et de viabilité de nouveaux projets dans une approche modernisée et innovante, sans concession sur les questions d'intégration environnementale des projets.

Le présent livret a pour ambition de replacer l'énergie marémotrice dans un contexte qui a profondément évolué depuis la mise en service de l'usine de la Rance. Il offre une synthèse de nos travaux² qui expose nos convictions et les clés pour réussir de futurs projets : une intégration territoriale globale, une intégration environnementale optimisée, l'innovation comme moteur de développement et une évaluation économique lucide et transparente.

Forte de ces travaux, la SHF est convaincue que l'énergie marémotrice est un atout majeur pour la transition énergétique, pour enrichir le mix des sources d'énergie décarbonée. Les territoires sont parmi les premiers engagés à la mise en oeuvre de cette transition sur le terrain, et nous pensons que l'énergie marémotrice est un atout pour le développement économique, social et écologique.

Nous remercions tous les contributeurs au dossier « Nouveau marémoteur », organisé autour de 3 sous-groupes thématiques pilotés par C. Le Visage (Président Stratégies Mer & Littoral), A. Rabain (Consultant) et L. Deroo (Président ISL-ingénierie)³. Nous souhaitons que le présent livret éclaire tous les acteurs et décideurs territoriaux et nationaux sur cette formidable source d'énergie.

Olivier METAIS
(Grenoble-INP)
Président de la SHF

Pierre-Louis VIOLLET
Président du BCST
de la SHF

Denis AELBRECHT
(EDF-CIH) Pilote du GT
"Nouveau marémoteur"

¹ Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie / Ministère de l'Economie. Rapport de la mission d'étude sur les énergies marines renouvelables (mars 2013). N° 2013 / 008693-01 / CGEDD

² Le rapport complet des travaux du GT «Nouveau marémoteur» est disponible sur le site de la SHF : www.shf-hydro.org

³ La liste détaillée des sous-groupes thématiques du GT est fournie en dernière page de ce livret



SOMMAIRE



MINI GLOSSAIRE

CAPEX : *CAPital EXpenditure*
Investissement nécessaire au développement d'un projet.

DCSMM : *Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin.*

ERC : *Démarche d'intégration environnementale des projets sur le principe : Éviter, Réduire, Compenser.*

PPE : *Programmations Pluriannuelles de l'Énergie. ...*

PTE : *Potentiel Techniquement Exploitable.*

TRI : *Taux de Rentabilité Interne*

3 | **Préface**

6 | **L'énergie des marées :**
Un fort potentiel de développement encore inexploité

8 | **L'énergie des marées :**
Comment ça marche ?

9 | **4 schémas type de solutions d'aménagements marémoteurs**

11 | **Nouveaux projets :**
4 conditions de réussite

12 | **Energie marémotrice & Environnement :**
Pour une performance environnementale

13 | **Energie marémotrice & Intégration territoriale :** Synergies territoriales et projets multi-usages innovants

14 | **Energie marémotrice & Innovations technologiques :** Une énergie innovante par ature, aux solutions prometteuses

15 | **La Marélienne ou Tidal Garden :**
une innovation en rupture

16 | **Energie marémotrice & repères économiques :** Un potentiel réaliste pour de nouveaux projets

19 | **Vision & ambition :**
Nos recommandations pour une feuille de route

L'ÉNERGIE DES MARÉES

UN FORT POTENTIEL DE DÉVELOPPEMENT ENCORE INEXPLOITÉ



10 000 à 20 000 TWh / an
Ressource théorique mondiale⁴



1250 TWh / an
Potentiel Technique Exploitable (PTE)



1 TWh / an
Production effective actuelle

soit seulement 0,005% de la ressource mondiale théorique, et 0,08% du PTE.
Une marge de développement significative existe : tout reste à faire !

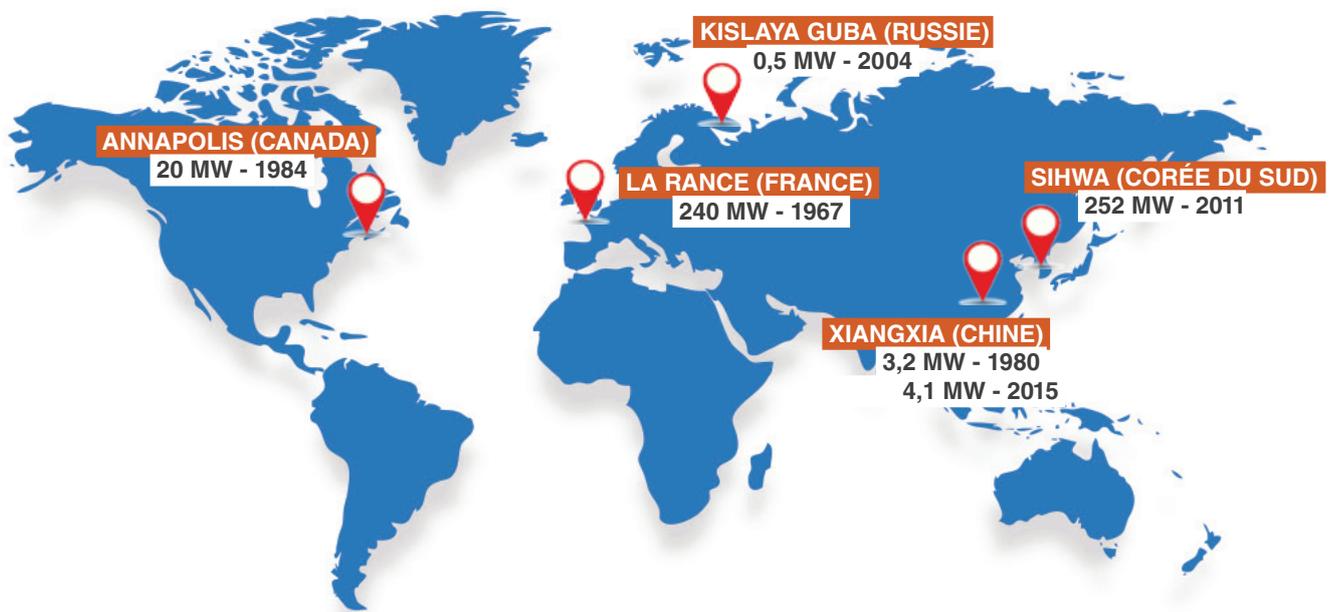
Point de repère⁵



1 TWh / an =

0,2% de la consommation électrique française totale annuelle
consommation de 300 000 personnes (*Particuliers + Professionnels, hors grandes industries et PME-PMI*)

5 installations mondiales de taille industrielle sont actuellement en exploitation :



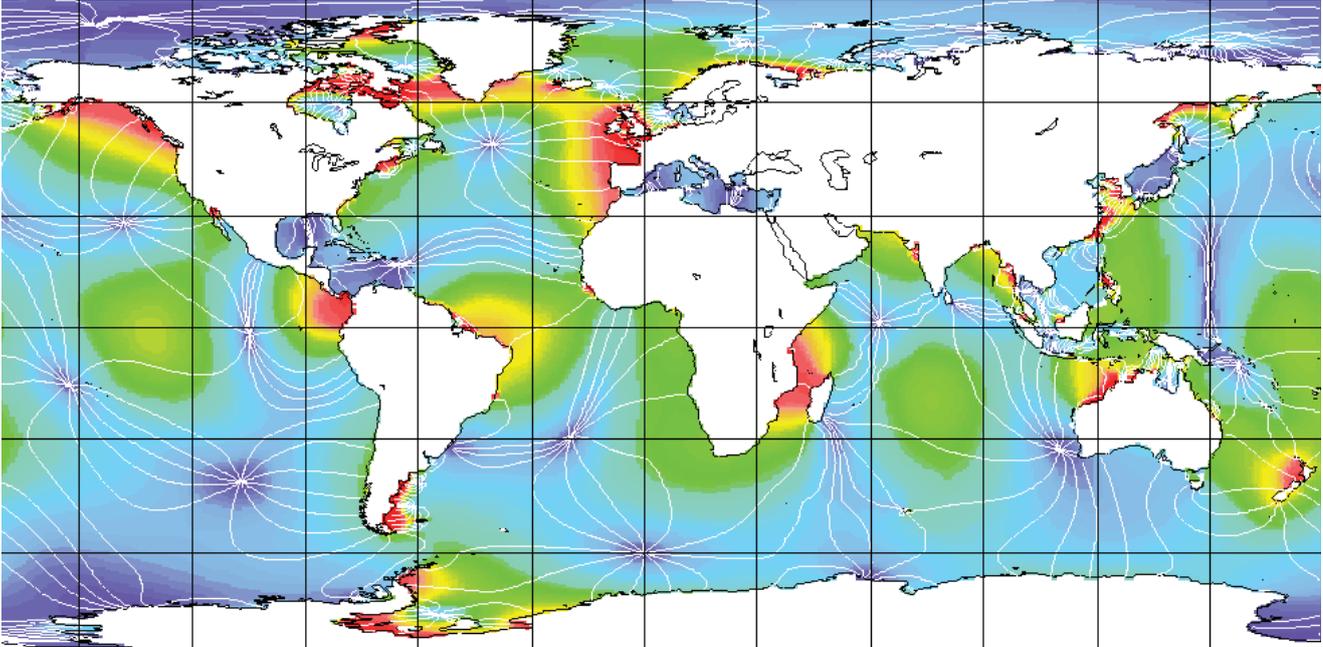
⁴ Le rapport spécial de l'IPCC sur les énergies renouvelables (SRREN, IPCC 2012 Cambridge Univ. Press) mentionne la ressource théorique (en puissance) de 1 à 3 TW, qu'on peut convertir en énergie annuelle à la gamme 10 000 à 20 000 TWh.

Voir également les données issues du groupe dédié EMR de l'Agence Internationale de l'Énergie - <https://www.ocean-energy-system.org>

⁵ D'après statistiques RTE 2015 : production consommation d'électricité : www.rte.fr

Les aménagements de La Rance (France) et Sihwa (Corée du Sud) réalisent l'essentiel de la production industrielle mondiale. La Rance fournit environ 0,5 TWh/an, ce qui correspond approximativement à la consommation annuelle d'une agglomération de 150 000 personnes.

Les pays présentant un potentiel d'énergie marémotrice significatif sont : Royaume-Uni, France, Canada, Inde, Russie, Chine, Corée, Argentine,... Mais des pays affichent également des marnages modérés où des technologies innovantes pourront être appliquées : Pays-Bas, Danemark,...



Amplitude de l'onde de marée M2 (influence lunaire semi-diurne) révélant les zones à fort potentiel - ©LEGOS Toulouse

Les territoires français, des atouts et des besoins considérables :

Des sites potentiels : l'une des meilleures ressources d'énergie des marées, d'abord concentrée en Manche/Mer du Nord, mais avec des potentialités sur des nouvelles régions pour de nouvelles technologies de turbine ou d'aménagement (ex : Marélienne) : Bretagne (Finistère Sud, Morbihan), Pays de la Loire, Nouvelle Aquitaine (Charentes).

Des besoins littoraux essentiels, au carrefour de nombreux enjeux que les projets du nouveau marémoteur pourront satisfaire :

- **Sécuriser l'alimentation en énergie** renouvelable des sites à forte pression démographique
- **Protéger les littoraux** contre les risques d'érosion du trait de côte, les risques d'inondations côtières,
- **Lutter contre les risques d'appauvrissement industriel** de certaines zones,...



L'ÉNERGIE DES MARÉES

COMMENT ÇA MARCHE ?

L'énergie des marées repose sur l'extraction de l'énergie potentielle et/ou cinétique associée aux mouvements d'eau engendrés par la marée. Elle est totalement renouvelable et totalement prédictible.

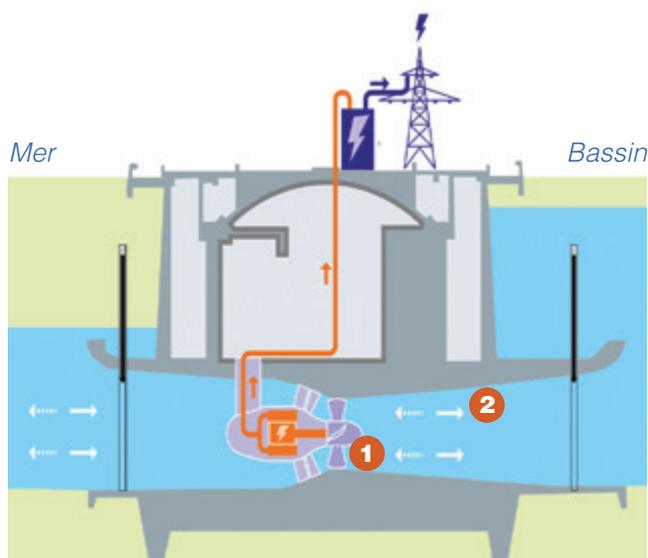
Son exploitation repose :

- » soit sur l'utilisation de l'énergie potentielle entre la mer et un bassin, induite par le stockage temporaire des mouvements de masses d'eau dans le bassin : c'est le principe de l'énergie marémotrice,
- » soit sur l'utilisation directe de l'énergie cinétique portée par les courants de marée : c'est le principe des turbines hydroliennes en mer ouverte.

Des approches innovantes peuvent combiner ces deux principes physiques, tel le concept de Marélienne (développé plus loin dans ce livret).

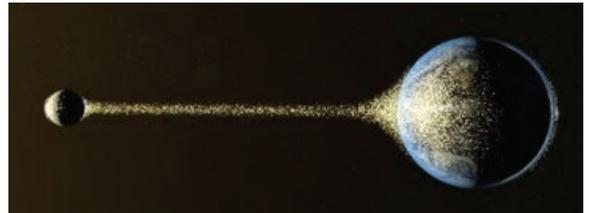
L'énergie peut-être extraite sur une seule partie (en général descendante) du cycle pleine-mer / basse-mer – **on parle de simple effet (ou « simple action ») 1**

L'énergie peut-être extraite sur les parties montantes et descendantes du cycle – **on parle alors de double effet (ou « double action ») 2**



Principe de fonctionnement d'un aménagement marémoteur

LE PHÉNOMÈNE DES MARÉES :



Les mouvements gravitationnels de la lune et du soleil relatifs à la Terre engendrent un gonflement des eaux à la surface des mers et des océans.

Ces mouvements se concrétisent par des variations périodiques plus ou moins importantes des niveaux et des courants, selon des cycles diurnes ou semi-diurnes (cycles pleine et basse mer), et selon des cycles saisonniers lunaires (morte-eau et vive-eau), et même solaires-lunaires liés à la position relative de la lune et du soleil (on parle de syzygies). La rotation terrestre, les formes et dimensions des baies interviennent aussi dans l'amplitude du phénomène.

Le mode de fonctionnement, et donc le cycle des variations de hauteur d'eau dans le bassin, résulte d'un compromis entre :

- » une optimisation énergétique
- » un respect d'objectifs environnementaux, se traduisant en contraintes ou limitations des niveaux atteints dans le bassin (min/max), de gradients de niveaux, de durées des étales,...

Quelle énergie extractible possible pour un site donné ?

📍 Points de repère pour un bassin de surface S (km^2) présentant un marnage moyen H_m (en m)

$$H_m = 7 \text{ m} \quad \Rightarrow \quad E \approx 40 \text{ GWh/an/km}^2$$

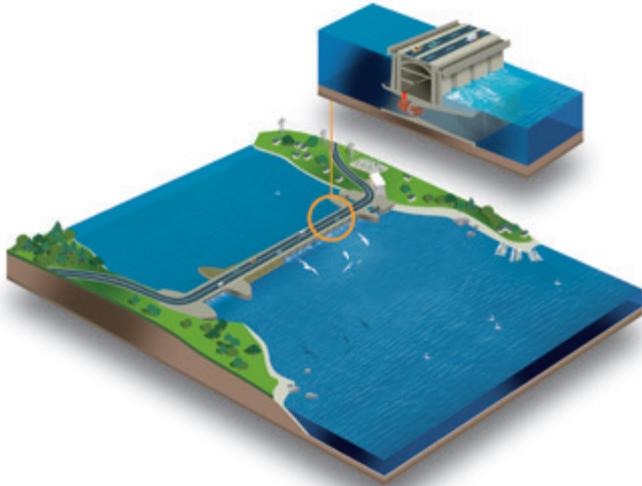
$$H_m = 5 \text{ m} \quad \Rightarrow \quad E \approx 20 \text{ GWh/an/km}^2$$

$$H_m = 3,5 \text{ m} \quad \Rightarrow \quad E \approx 10 \text{ GWh/an/km}^2$$

4 SCHÉMAS TYPES DE SOLUTIONS D'AMÉNAGEMENT MARÉMOTEUR

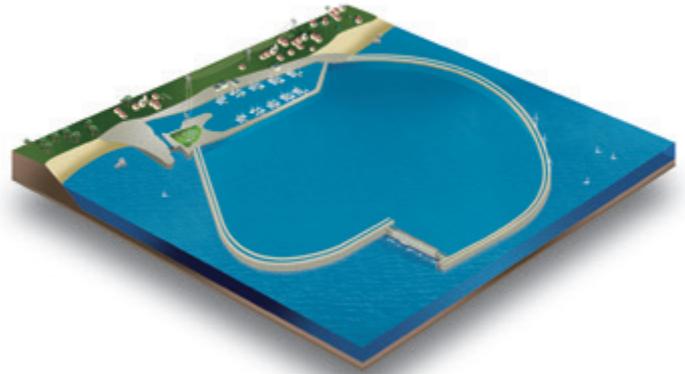
BARRAGE EN ESTUAIRE

Type la Rance



LAGON CÔTIER

Type projet Swansea Bay (UK)



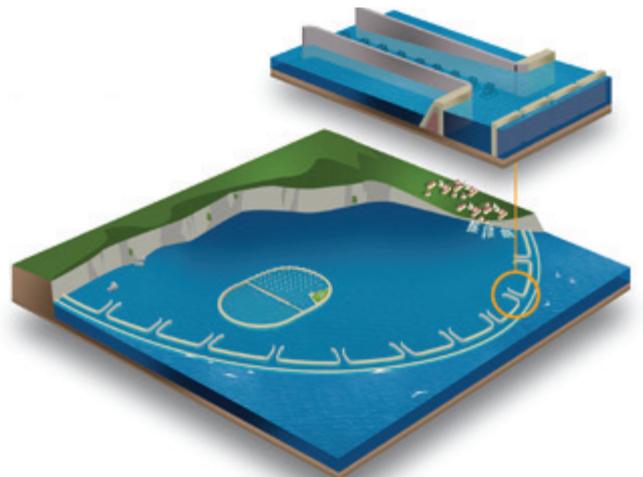
LAGON OFFSHORE

Bassin isolé en mer
Pas de réalisation à ce jour



MARÉLIENNE* À LA CÔTE

Projet innovant combinant principe
marémoteur et technologie hydrolienne
Pas de réalisation à ce jour



(*) Nouveau concept – voir p. 15

La taille des projets peut être très variable : des bassins locaux de quelques hectares à des bassins de quelques dizaines de km². **La réutilisation d'infrastructures côtières ou portuaires existantes constitue des opportunités réelles** valorisables sur certains sites.

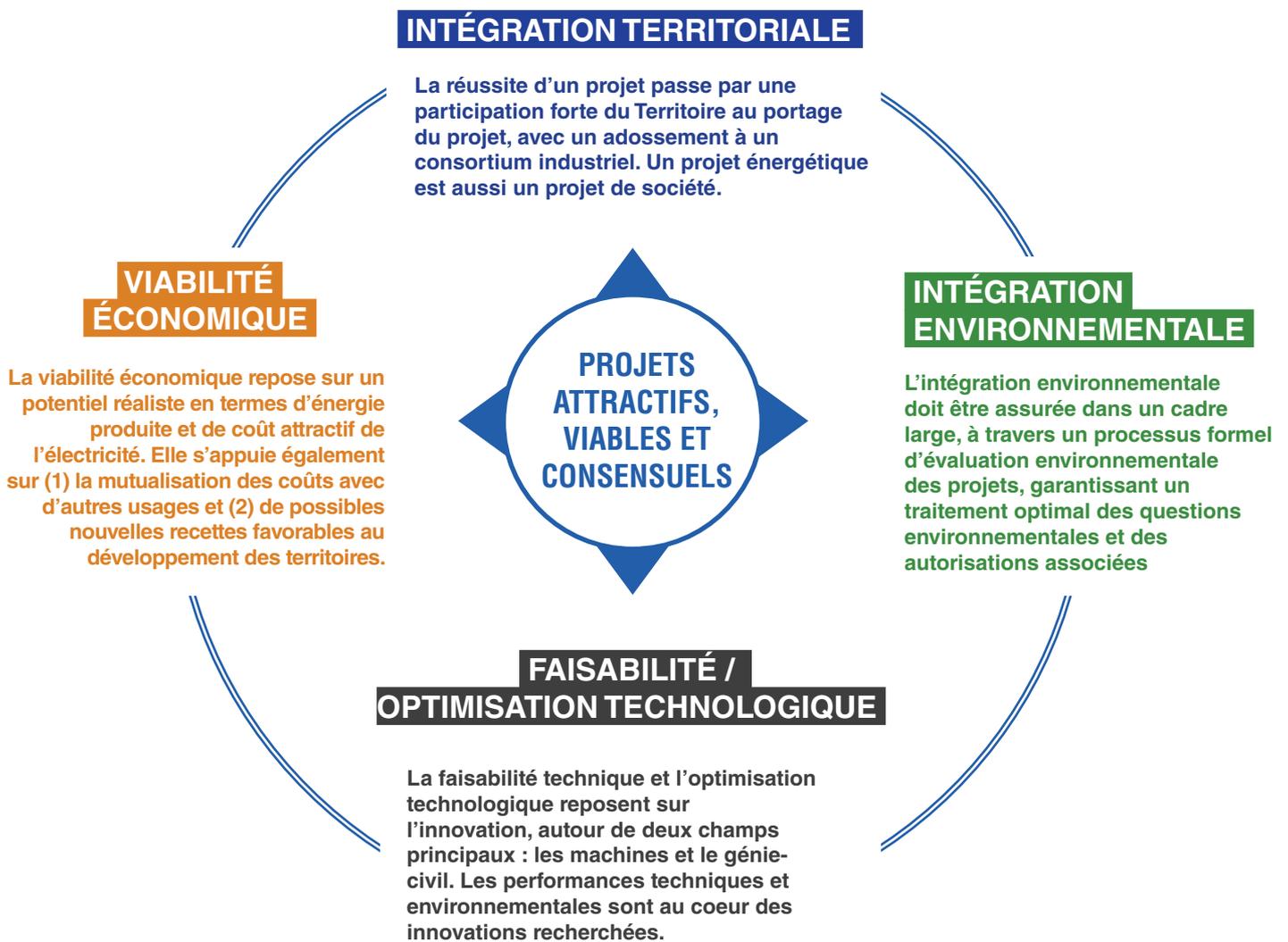


CH 338 400

NOUVEAUX PROJETS

4 CONDITIONS DE RÉUSSITE

Les conditions nécessaires à la réussite d'un nouveau projet marémoteur reposent sur 4 piliers : leur intégration territoriale, leur viabilité économique, leur intégration environnementale et leur faisabilité technique.



Chacun de ces piliers constitue une pierre angulaire sans laquelle aucun nouveau projet ne pourra se faire. Réunis, ils assurent d'atteindre l'objectif d'un développement territorial réellement durable.

ÉNERGIE MARÉMOTRICE & ENVIRONNEMENT

POUR UNE PERFORMANCE ENVIRONNEMENTALE DURABLE ET PARTAGÉE

L'environnement est au cœur de l'identité des territoires. A ce titre, la performance environnementale d'un projet marémoteur est une exigence incontournable pour favoriser son intégration sociale. Quel que soit son type, **un projet peut modifier profondément l'environnement et les écosystèmes locaux**. La performance environnementale d'un projet repose sur une analyse technique et stratégique approfondie, à la fois à l'échelle locale du projet, mais aussi à l'échelle stratégique de l'hydrosystème. L'évaluation environnementale doit permettre de maîtriser l'ensemble des risques environnementaux, pendant la phase de construction et la phase d'exploitation, en s'appuyant sur le principe « Eviter, Réduire, Compenser » (E.R.C).

Les effets plus ou moins significatifs des projets sur les conditions environnementales, sur le littoral, et dans les bassins de même qu'à proximité des infrastructures, se traduisent par :

- » La modification de l'amplitude des marées et du marnage, des courants, des surfaces d'estran, des durées d'étalement, des flux et volumes échangés entre la mer et le bassin,
- » La modification potentielle des conditions de salinité,
- » La modification de l'état de la mer (vagues, houle) dans les bassins et à la côte,
- » La modification du transport sédimentaire, du taux d'envasement, des fonds, de la bathymétrie,
- » La création d'obstacles maritimes ou de connexions nouvelles,
- » La génération de bruit (extraction de matériaux ; phases de construction ; turbines en fonctionnement ; démantèlement éventuel).⁶

Les différents types de projets n'auront pas les mêmes effets sur les conditions d'environnement.

Ces effets s'apprécient à partir d'indicateurs ou descripteurs environnementaux, comme la diversité biologique, les espèces indigènes, l'intégrité des fonds marins, le bruit.

Ces mêmes effets peuvent également déboucher sur des incidences positives sur les conditions d'environnement.



“ *L'intégration environnementale d'un projet marémoteur reste incontournable pour favoriser son acceptabilité sociale* ”

Quelques exemples non exhaustifs d'effets positifs :

- » La restauration ou la maîtrise des conditions de salinité (comme c'est le cas à Sihwa en Corée du Sud),
- » La limitation du transport sédimentaire,
- » La création de zones sanctuarisées pour les oiseaux ou la faune aquatique,
- » La limitation des houles et surcotes à la côte.

L'évaluation devra prendre en compte **la durée de vie** des projets. Les conditions d'un démantèlement en fin de vie sont à examiner impérativement pour statuer sur la pertinence et la possibilité d'un « retour à l'origine », en intégrant la complexité du temps long sous l'influence des phénomènes à grande échelle (changement climatique, évolutions naturelles...).

Tout projet devrait donc être envisagé d'abord dans le cadre d'une **évaluation environnementale stratégique** et d'une **planification à grande échelle**, d'ailleurs nécessaire dans le cadre d'une planification énergétique en cours de développement en France métropolitaine : c'est l'objet des « Documents Stratégiques de Façade », en réponse à la directive européenne 2014/89/EU. La démarche doit aboutir à l'identification des sites propices, au regard des enjeux environnementaux, au développement de projets marémoteurs, en prenant en compte les impacts potentiels, mais aussi les bénéfices environnementaux associés aux projets.

⁶ Voir les indicateurs de la Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin ou DCSMM : www.dcsmm-d4.fr

ÉNERGIE MARÉMOTRICE & INTÉGRATION TERRITORIALE

SYNERGIES TERRITORIALES ET PROJETS MULTI-USAGES INNOVANTS

L'énergie des marées a vocation à se mettre au service du développement territorial. Dans ce cadre, un projet marémoteur réussi sera un projet qui a su penser très tôt sa relation globale au territoire, à toutes les dimensions de son «écosystème». Il structure le paysage géographique et socio-économique du territoire : d'un côté, sa présence modifie nécessairement ce paysage, mais d'un autre côté elle ouvre la voie à de nombreux développements.

Quels services nouveaux va-t-il apporter au Territoire ?

Les synergies et les opportunités de création de valeur pour le territoire sont tangibles et liées au type de projet :

- » **Protection du littoral contre l'érosion côtière, contre les risques de submersion côtière,**
- » Projet multi-énergies, hybridation avec d'autres moyens de production et stockage d'énergie et partage des infrastructures (éolien, houlomoteur),
- » Amélioration des connectivités et du transport terrestre,
- » Développement de l'aquaculture,
- » Attractivité et développement d'un tourisme local durable, y compris tourisme industriel,
- » Activités de sports, de loisirs, de culture,
- » Amélioration paysagère de sites appauvris, gestion sédimentaire améliorée,...



“ Une intégration territoriale réussie repose sur une évaluation lucide ”

Ces synergies peuvent largement contrebalancer les impacts sur les activités existantes.

Une intégration territoriale réussie repose sur une évaluation lucide et complète des interactions du projet avec les activités socio-économiques existantes :

- » Activités régaliennes de l'Etat : défense du territoire, surveillance, signalisation, communication,
- » Activités portuaires et industrielles (rejets, prises d'eau de mer,...), production d'énergie, câbles et pipelines,
- » Transport maritime, pêche professionnelle, cultures marines, extraction de matériaux, tourisme maritime et littoral, plaisance et activités nautiques.



ÉNERGIE MARÉMOTRICE & INNOVATIONS TECHNOLOGIQUES

UNE ÉNERGIE INNOVANTE PAR NATURE, AUX SOLUTIONS PROMETTEUSES

L'nergie marémotrice, c'est la force des marées en action. Pour apprivoiser et bénéficier de cette force, la réponse est technologique. Des ingénieries et des industriels œuvrent à y répondre.

Si la plupart des technologies existantes et disponibles pour l'exploitation des marées sont matures, il reste cependant de réelles opportunités d'innovation. Qu'il s'agisse de réduire les coûts, d'améliorer les performances industrielles et environnementales des aménagements, l'innovation demeure un levier indispensable pour développer l'énergie marémotrice.

En matière d'innovation, la France dispose de compétences et de savoir-faire éprouvés. Elle s'appuie sur une filière d'ingénierie et une filière industrielle, reconnues au plan mondial.

- » Des opérateurs de premier rang, disposant d'une expérience de conception et d'exploitation/maintenance sans équivalent dans le monde,
- » Des bureaux d'étude et des centres de recherche à la pointe en génie-maritime et en océanographie physique et environnementale,
- » Des constructeurs d'équipements électromécaniques de rang mondial,
- » Le premier démonstrateur de taille industrielle : la Rance.

Pour l'avenir de l'énergie marémotrice, le génie-civil des digues et la conception des machines et équipements électriques sont les deux domaines où l'innovation apportera de la valeur.



Concept VLH - Tidetec © MJ2Tech

En fonction des projets, le génie civil peut représenter une part très conséquente de l'investissement, comprise entre 50 et 70%.

Les solutions nouvelles doivent permettre de réduire cette part. Elles peuvent par exemple concerner :

- » Le recours à des composants plus modulaires fabriqués « on-shore », réduisant *de facto* l'impact environnemental de la construction : solutions caissons ou mixtes caissons-enrochements,
- » Les technologies de digues à base de géotubes.

Les innovations pour la conception des machines et des équipements électriques peuvent couvrir un large spectre :

- » Groupe bulbe à vitesse variable,
- » Turbines orthogonales,
- » Turbines contra-rotatives,
- » Hydroliennes pour équiper les pertuis des vannes, avec de nouveaux types de turbines.

Pour éprouver leur viabilité technique et économique, les développements de ces technologies devront déboucher sur la réalisation de **démonstrateurs**.

LA RANCE : UN LABORATOIRE UNIQUE DE TAILLE INDUSTRIELLE POUR LE RETOUR D'EXPÉRIENCE

Avec l'usine marémotrice de la Rance, la France dispose d'un « laboratoire » unique de taille industrielle pour tirer des enseignements essentiels permettant d'améliorer et sécuriser la réalisation de futurs projets, en matière :

- **d'intégration environnementale** : mode de fonctionnement de l'usine et contrôle du signal de marée dans le bassin, transparence pour la faune, nouveaux modes de construction pour éviter les impacts,
- **d'optimisation usine** : agencement des équipements électro-mécaniques, protection anti-corrosion et anti-fouling, maintenabilité des équipements
- **d'intégration territoriale** et de cohabitation/synergie avec les usages locaux.

LA MARÉLIENNE OU *TIDAL GARDEN*

UNE INNOVATION EN RUPTURE

Le concept de **Marélienne**, c'est la combinaison du meilleur de la technologie hydrolienne et de la technologie marémotrice : un bassin côtier est connecté à la mer par des chenaux ouverts, équipés de rangées d'hydroliennes.

Le concept est applicable sur des sites à marnage modéré (3 à 5 mètres), là où la technologie de groupe bulbe telle qu'implantée à la Rance ou Sihwa n'est pas envisageable.

Cette propriété décuple le nombre de sites candidats, et ouvre le champ d'exploitation de l'énergie des marées à de nouvelles régions en France (ex. Pays de la Loire) ou dans le Monde (ex. Pays-Bas, ...).

CONCEPT DE LA TECHNOLOGIE MARÉLIENNE



Ses atouts potentiels sont considérables.

Sur le plan technique, la Marélienne permet :

- » d'envisager des installations de plusieurs dizaines de machines hydroliennes, d'où une espérance de **réduction des coûts par effet d'échelle**,
- » une **meilleure régularisation des vitesses**, proches de l'optimum de fonctionnement des hydroliennes, par la concentration des courants dans les chenaux ; et un facteur de charge intéressant de l'ordre de 40%.

Sur le plan environnemental, cette technologie :

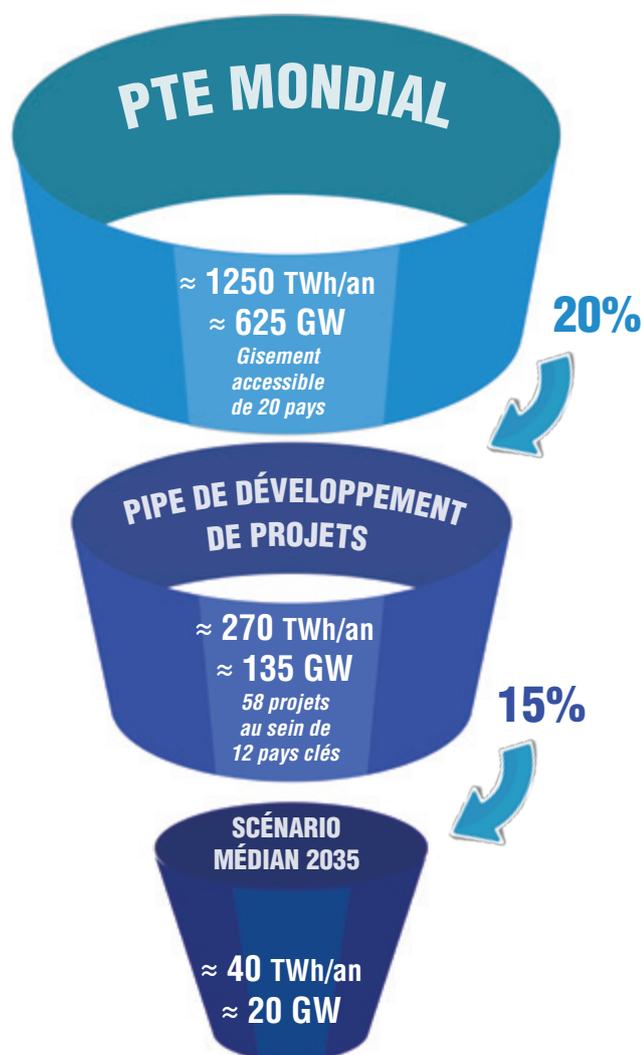
- » offre un dispositif **quasi-transparent pour la faune**,
- » restitue un signal de marée dans le bassin très proche du signal de marée naturelle (au déphasage près), et donc induit une **faible perturbation des écosystèmes** en place,
- » permet une **maintenance et une accessibilité nettement améliorée** en comparaison des sites en mer ouverte (grâce à l'installation des hydroliennes dans des chenaux), et donc une réduction des coûts de maintenance.

ÉNERGIE MARÉMOTRICE & REPÈRES ÉCONOMIQUES

UN POTENTIEL RÉALISTE POUR DE NOUVEAUX PROJETS

1 250 TWh/an de Potentiel Techniquement Exploitable (PTE) mondial estimé -vs- une production annuelle industrielle effective à ce jour de **1 TWh** : **deux chiffres qui donnent la mesure d'un développement réaliste possible de projets à base d'énergie des marées.**

A partir du PTE mondial, la SHF propose une cible de potentiel de développement « pragmatique », c'est-à-dire réunissant les 4 conditions de réussite (cf p11), de l'ordre de **40 TWh de production annuelle** :



3% du PTE mondial accessible d'ici 15 à 20 ans

Quels coûts d'investissement pour de nouveaux projets ?

La SHF identifie un premier repère de coûts sur les projets les plus matures, avec un **ratio de l'ordre de 3,5 M€/MW** installé pour des ouvrages dont la puissance électrique est de plusieurs centaines de MW, à l'image des nouveaux projets développés actuellement pour relancer la filière (projets UK).

L'opportunité de baisse du CAPEX est essentiellement dans le coût du génie-civil de digue. **La SHF estime crédible de définir un coût objectif de 2,5 M€/MW pour des ouvrages dépassant le GW installé**, la digue représentant entre 50 et 70% de ce CAPEX global.

Quelles recettes apporteront les nouveaux projets ?

La vente d'électricité représente de loin la principale source de revenus. Toutefois, elle est jugée insuffisante dans les conditions actuelles d'évolution du soutien par les Etats (<100€/MWh).

C'est pourquoi, les externalités constituent l'un des éléments essentiels pour tout projet. Du fait du caractère multiusage (aquaculture, tourisme, ...) et de la création d'emplois directs pérennes et non délocalisables, elles représentent des leviers d'attractivité de premier rang. Elles lient politique socio-économique et politique énergétique autour d'un grand projet de territoire.

Ces externalités sont susceptibles de représenter une valeur annuelle et contributive au bilan économique du projet **jusqu'à +40 ou 50%**, décomposé comme suit :

- » Revenus annuels perçus issus des activités du multiusage (aquaculture, plaisance, restauration, hôtellerie, tourisme, ...) : **+5%**
- » Valorisation économique des emplois pérennes et non délocalisables : **+25%**
- » Bilan carbone positif, confirmant l'intérêt de tels investissements pour répondre aux enjeux d'atténuation des effets du changement climatique (baisse des émissions de gaz à effet de serre) : **+7%**
- » Protection du trait de côte, confirmant l'intérêt de tels investissements pour répondre aux enjeux d'adaptation aux changements climatiques (montée des eaux et événements extrêmes) : **+3% à +10%** (et sans valoriser les effets indirects probablement importants de l'altération du trait de côte).



Comment garantir la performance économique des projets ?

La SHF identifie quatre leviers :

1. **Favoriser progressivement les projets à grande échelle, lorsque c'est pertinent sur le plan environnemental, et une fois les solutions « dérisquées » sur des démonstrateurs de petite échelle** : de plusieurs centaines de MW à quelques GW les projets gagnent significativement en attractivité économique jusqu'à pouvoir compter sur la seule vente d'électricité pour atteindre les seuils spécifiques à ce type de projets (prix d'achat < 100€/MWh).
2. **Adapter la finance au projet par deux leviers** :
 - » *L'ingénierie financière* : TRI projet inférieur à 5% atteignable grâce à des innovations de financement : garanties et fonds publics, crowdfunding, green bonds,...
 - » *Montages commerciaux* : tarifs d'achat préférentiel de l'électricité, subventions à l'investissement, contrats de différence... entre 80 et 100€/MWh.
3. **Recourir au multiusage avec un effort particulier sur l'aquaculture (pisciculture ou algoculture) avec des réflexions pour des projets à grande échelle.** Les différents scénarii de prospective étudiés tendent à valider de façon quasi-systématique, pour les grands ouvrages, la pertinence économique, sociale et écologique de nouveaux projets marémoteurs.
4. **Valoriser les externalités du projet en termes de bénéfices environnementaux** (protection du trait de côte, risques inondation, zones naturelles protégées, bilan carbone) et **d'emplois** (directs pérennes et non délocalisables) et **de création de valeur locale** (développement d'activités tirant bénéfice du projet).

An aerial photograph of a coastal cliffside. The cliff is composed of layered, light-colored rock, likely chalk or limestone, with patches of green vegetation on top. A sandy beach curves along the base of the cliff, meeting the sea. In the foreground, a prominent natural rock archway spans across the cliff face, creating a natural tunnel over the water. The sea is a clear, light blue-green color. The sky is a pale, clear blue.

VISION & AMBITION

NOS RECOMMANDATIONS
POUR UNE FEUILLE DE ROUTE

Malgré un gisement français parmi les meilleurs au monde, l'exploitation de l'énergie des marées est quasiment absente de la feuille de route énergétique de la France. Elle n'est présente que très marginalement (pour l'hydrolien⁷) dans les récentes PPE, et totalement absente pour ce qui concerne le marémoteur.

Convaincue que la France a les moyens de construire une ambition forte sur l'exploitation de l'énergie des marées, au regard des atouts dont elle dispose (ses sites, sa filière industrielle, ses compétences d'ingénierie et de recherche) et des enjeux auxquels elle est confrontée, la SHF recommande le lancement d'un plan d'actions national structuré autour des 5 axes suivants :

1 ÉLABORER UNE ANALYSE STRATÉGIQUE ENVIRONNEMENTALE DES SITES POTENTIELS

Cette analyse stratégique doit permettre de **comprendre précisément les interactions avec l'environnement en fonction des types de projets** :

- » en appliquant le principe ERC déjà évoqué, et en traduisant les incidences sur l'environnement en termes de fonctionnalités écologiques que les projets devront intégrer dès la conception dans leur cahier des charges : marnage dans le bassin, étales, flux, continuité piscicole, sédimentation...
- » en traitant la question du démantèlement.

2 ÉLABORER UNE ANALYSE STRATÉGIQUE TERRITORIALE AVEC LES COLLECTIVITÉS, NOTAMMENT LES RÉGIONS

Cette étape cruciale doit permettre de **définir un inventaire de sites, cohérent avec les ambitions et politiques de développement énergétique des régions**, et présentant les meilleures conditions d'intégration territoriale : synergie avec les usages existants, et surtout opportunités de nouveaux services territoriaux (en termes de multiusage) et de développement économique.

3 RÉUSSIR LES DÉVELOPPEMENTS TECHNIQUES ET LES INNOVATIONS

Les innovations concernent à la fois la technologie des machines et le génie-civil des digues. L'objectif est d'assurer aux acteurs français de la filière de **disposer des meilleurs standards de solutions, les plus adaptés** :

- » à la variété des sites et des configurations d'aménagements,
- » et à l'éventail de fonctionnalités que les régions définiront pour ce type de projets.

Les innovations sur les technologies et les modes de construction doivent également permettre de réduire les impacts environnementaux, en mer et à terre. Ces avancées technologiques placeront la filière française dans la meilleure position concurrentielle pour l'exportation.

4 ENGAGER DES DÉMONSTRATEURS POUR TESTER LES INNOVATIONS À PETITE ÉCHELLE AVANT LEUR GÉNÉRALISATION

Les démonstrateurs constituent des **étapes de « dérisquage » indispensables** pour imaginer les solutions de taille réellement industrielle. Ils permettent aussi l'acquisition de données, notamment environnementales, **nécessaires pour des solutions définitives**.

5 PRÉPARER UNE POLITIQUE D'APPELS D'OFFRE, EN REVISITANT ET SIMPLIFIANT LE CADRE ADMINISTRATIF ET JURIDIQUE DU DÉVELOPPEMENT DES PROJETS

Les risques administratifs, comme les risques technologiques et financiers, sont importants pour les projets. L'expérience actuelle des développeurs intervenant sur des projets d'énergies marines renouvelables (éolien offshore, hydrolien) révèle la complexité du système institutionnel et réglementaire actuel. Insuffisamment adapté aux contraintes de développement de ce type de projets, elle entraîne des dérives réelles de planning non supportables financièrement. Ces obstacles rajoutent à la réticence des développeurs à s'engager dans ces projets. La simplification appelée ici doit, dans le respect de nos lois, offrir un cadre cohérent dans les étapes de décision stratégique, permettant à tous les acteurs de jouer leur rôle au bon moment pour définir les fonctionnalités structurantes des projets, et de donner la visibilité suffisante aux industriels pour investir plus sereinement et de manière responsable.

⁷ La filière hydrolienne doit pouvoir se développer en apportant des réponses pertinentes très localisées, comme entre autres, sur certains sites insulaires ou non raccordés à un réseau, mais avec une ampleur modeste (en puissance et énergie).

DES NOUVEAUX PROJETS, MULTI-SERVICES ET INNOVANTS, POUR L'AVENIR DES TERRITOIRES LITTORAUX

*“ Réfléchissez au mouvement des vagues,
au flux et reflux, au va-et-vient des marées.
Qu'est-ce que l'océan ?
Une énorme force perdue.
Comme la terre est bête !
Ne pas employer l'océan ! ”*

Victor Hugo, «93»

**La SHF remercie sincèrement tous les contributeurs
qui ont pu rendre possible ce Livre Blanc du « Nouveau marémoteur » :**

Pilotage du GT : Denis Aelbrecht (EDF Hydro / CIH), avec l'appui de deux « challengers » : Michel Paillard (expert, ex. chef de projet EMR à l'Ifremer) ; et Jérôme Loyer (expert, ex. Veolia).

Sous-groupe A « Environnement et intégration territoriale » piloté par Christophe Le Visage (Président Stratégies Mer & Littoral), avec la contribution de : Jean-Paul Bouheret (EDF Hydro), Sébastien Ledoux (Artelia), Claire Le Renard (EDF R&D) ; Paul Leslie (Tidal Lagoon Power).

Sous-groupe B « Economie, Viabilité des projets, et Prospective » piloté par Antoine Rabain (Consultant), avec la contribution de : Alain Clément (ECN-LHEEA), Romain Dausque (EDF Hydro), Vincent Delaleu (EDF R&D), Olivier Didry (EDF Hydro), Jean-François Filipo (France Energies Marines),

Dominique Gagnaire (Tidal Lagoon Power), Jill Galland (Consultant énergie renouvelable), Dominique Godefroy (Ifremer, Président Parc Naturel Marin Côte d'Opale), David Havard (GE-Alstom Power Hydro), François Lempérière (Président, Hydrocoop), Hassan Smaoui (Cerema).

Sous-groupe C « Technologies » : piloté par Luc Deroo (Président d'ISL-Ingénierie), avec la contribution de Sophie Ancel (Artelia), Claude Bessière (Ingérop), Léo Breuille (ISL-Ingénierie), Christophe Cochet (EDF Hydro / CIH), Nicolas Jestin (Bouygues), Stefan Kristukat (Andritz-Hydro), Florence Lafon (EDF Hydro / CIH), Marc Leclerc (MJ2 Technologies), François Lempérière (Président HydroCoop), Antoine Libaux (EDF Hydro / CIH), Philippe Pépin (GE-Alstom Power Hydro)

Société Hydrotechnique de France :
25 rue des Favorites 75015 PARIS
Tél. 01 42 50 91 03 Fax. 01 42 50 59 83
www.shf-hydro.org

