

Étude multicritère pour la définition du potentiel hydrolien en France métropolitaine

2013

Le développement de parcs hydroliens constitue une des prochaines étapes pour la réalisation des objectifs fixés par l'État pour le déploiement des énergies en mer. En effet, la France dispose d'un réel gisement hydrolien exploitable et le niveau de maturité de cette technologie avance et fait de la démonstration pré-commerciale une nécessité.

L'analyse du potentiel hydrolien par la prise en compte de critères techniques et économiques est une démarche complexe dans la mesure où de nombreuses options technologiques font encore l'objet de démonstrations. Il existe plusieurs grandes familles de technologies hydroliennes : technologies à turbines bidirectionnelles, à doubles rotors, à écoulements canalisés, etc. Aucune de ces familles technologiques ne se détache encore du lot car aucune n'a fait l'objet de tests groupés. Il est alors indispensable que les sites retenus pour la réalisation de ces tests soient techniquement et économiquement favorables pour différentes familles technologiques.

Dans le cadre de cette étude, le potentiel hydrolien a été modélisé pour plusieurs technologies ou familles technologiques en se référant aux informations communiquées par les industriels lors de la « Demande d'Information » lancée par la DGEC en 2012. À partir de ces éléments, trois macro-zones potentiellement propices ont été identifiées pour des sites pilotes dans : le Raz Blanchard, le Raz de Barfleur et le passage du Fromveur. Une concertation locale reste toujours nécessaire pour la suite afin de prendre en compte l'ensemble des enjeux et de déterminer des zones propices pour des fermes pré-commerciales. Les connaissances techniques et scientifiques acquises par l'exploitation de ces fermes pré-commerciales permettront alors d'accompagner le déploiement commercial des technologies.

1 – Objectif de l'étude

Cette étude a eu pour but d'identifier des espaces en mer techniquement et économiquement favorables pour le développement de l'hydrolien. Il s'agissait ici d'une analyse des potentialités, au regard des critères techniques et économiques, hors prise en compte des considérations liées à la préservation des milieux naturels ou aux usages anthropiques du plan d'eau.

L'étude consiste d'abord à créer la modélisation technico-économique du potentiel hydrolien pour différentes machines hydroliennes puis à déterminer des zones potentiellement propices pour des fermes pré-commerciales. Ces fermes doivent permettre de tester et valider des technologies dans des conditions réelles d'exploitation. Dans un deuxième temps, les éléments développés permettront l'accompagnement de la filière vers un déploiement commercial.



2 – Modélisation technico-économique du potentiel hydrolien

2.1 – Description graduée des potentialités du plan d'eau

En 2011, un gisement a été identifié à partir de l'intersection de zones de bathymétrie et de vitesses du courant favorables donnant ainsi une information binaire du potentiel : « zones favorables » et « autres ». L'analyse multicritère fournit davantage d'informations en réalisant un zonage fin et gradué du potentiel. Elle permet de classer les zones selon une échelle progressive de valeurs, du moins favorable au plus favorable, et ceci à partir de plusieurs informations entrantes.

Les cartes ci-après illustrent les résultats obtenus par ces deux méthodes. La figure de gauche correspond à l'intersection des zones de vitesses du courant supérieures à 1,5 m/s et de profondeur supérieure à 30 m. La figure de droite correspond à une superposition pondérée des couches de données de vitesses de courants et de bathymétrie préalablement reclassées à l'aide de fonctions continues.



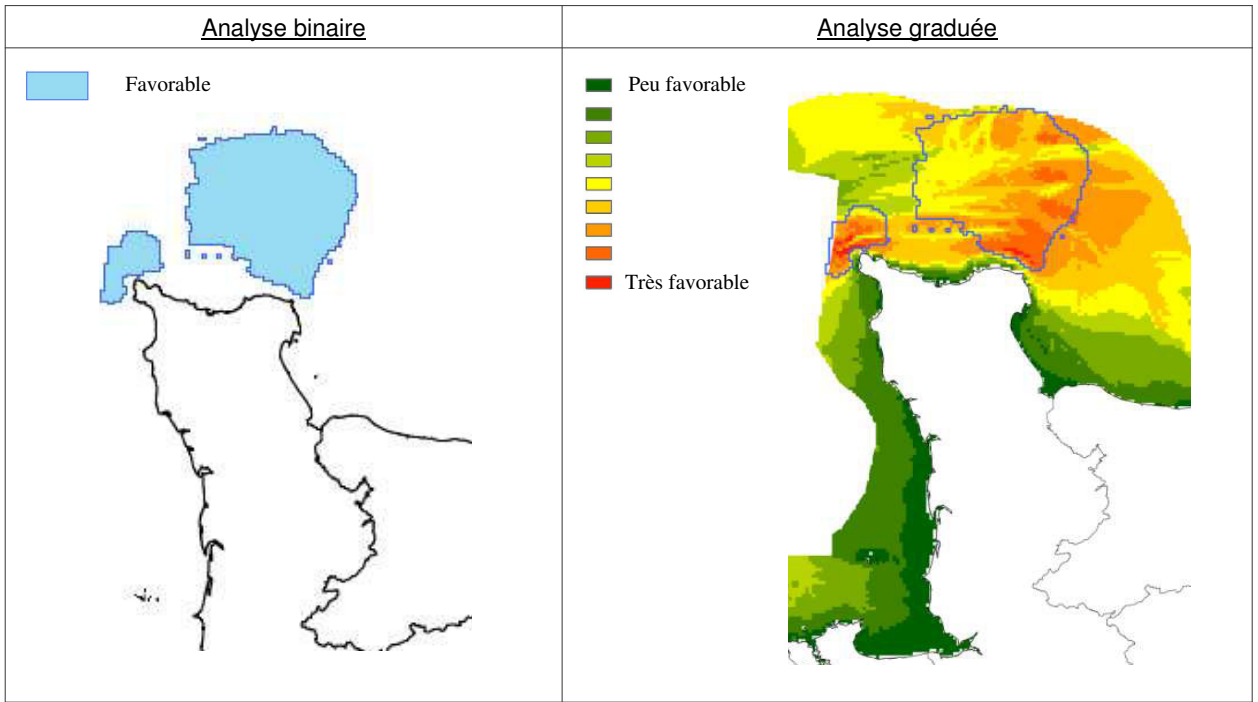


Illustration 1 : Représentations du potentiel hydrolien sur le nord Cotentin – « analyse binaire » et « analyse graduée » (Sources des données brutes : SHOM-IFREMER-GEBCO)

2.2 – Modélisation du potentiel pour différentes technologies & familles technologiques

Pour une technologie ou une famille de technologies hydroliennes donnée, il est possible de modéliser des zones théoriques représentatives des capacités des machines à mobiliser au mieux l'énergie cinétique disponible dans la colonne d'eau.

Étape 1 : Mise en place des outils	Étape 2 : Analyse technico-économique des données	Étape 3 : Traitement SIG
Construction d'indicateurs.* Production des couches de données correspondantes.	Identification, pour chaque indicateur, de valeurs caractéristiques et d'une notation, discrète ou continue, relatives au fonctionnement des machines.* Pondération des indicateurs en fonction des enjeux technico-économiques.*	Constitution de cartes d'aptitudes en classant les zones selon une échelle progressive de valeurs.

Illustration 2 : Étapes pour la modélisation du potentiel hydrolien pour une technologie donnée (*informations communiquées par les équipementiers en réponse à la « Demande d'Information » de la DGEC en 2012)

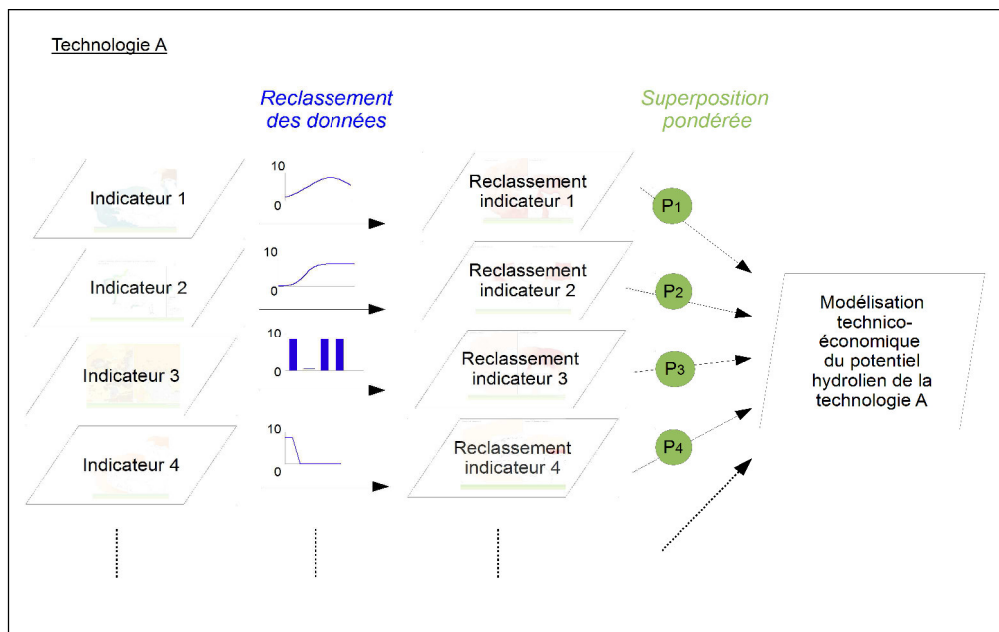


Illustration 3 : Informations entrantes pour la modélisation technico-économique du potentiel de la technologie A

Les poids relatifs des indicateurs, les valeurs caractéristiques et les notations sont liés aux propriétés intrinsèques des familles technologiques et parfois même au type de machine.

Pour cela, il s'agit de :

- déterminer une notation, continue ou discrète, à l'aide de valeurs caractéristiques pour le reclassement des couches de données ;
- proposer une pondération des indicateurs (toutes les notes n'ont pas la même importance relative).

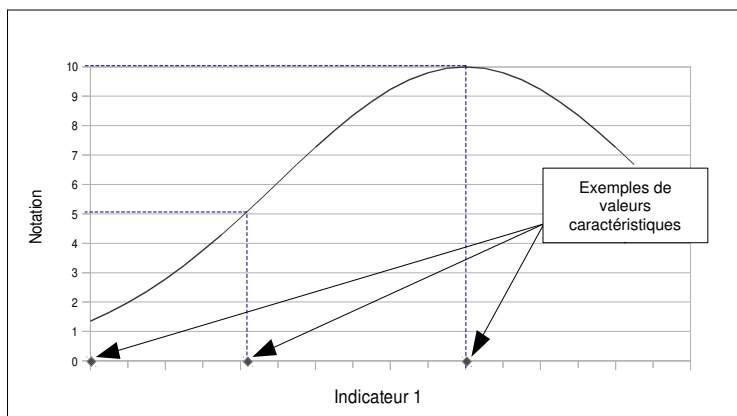


Illustration 4 : Exemple de courbe de notation

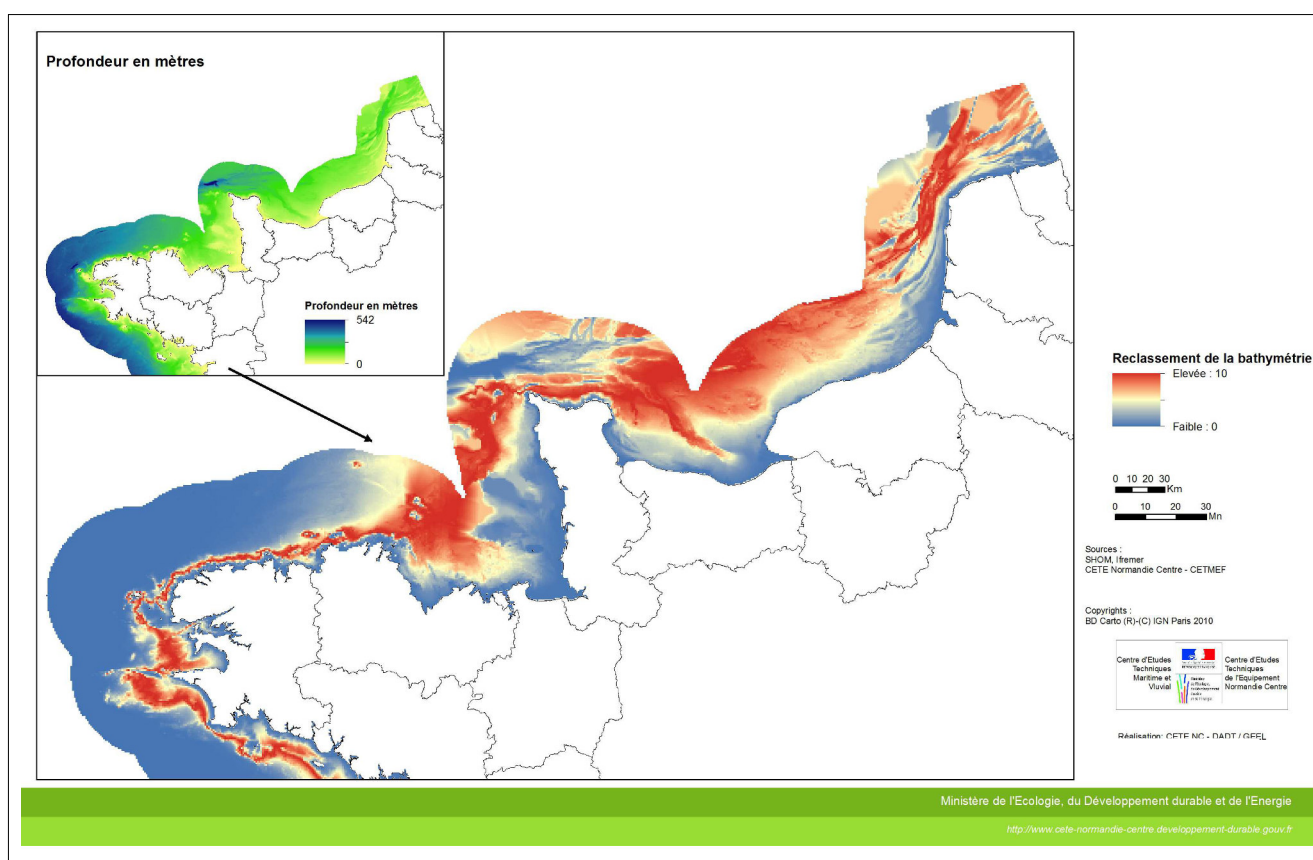


Illustration 5 : Exemple de reclassement à l'aide d'une notation continue

Pour déterminer des macro-zones représentatives des enjeux techniques et économiques actuels, les hypothèses prises en compte ont été définies après des rencontres avec différents équipementiers, organisées par la DGEC, suite aux réponses reçues à la « Demande d'Information » close en septembre 2012.

2.3 – Analyse technico-économique

Les indicateurs, les valeurs caractéristiques, les notes et les poids ont été déterminés à partir :

- des éléments de bibliographie ;
- des échanges bilatéraux avec différents équipementiers de la filière hydrolienne ayant répondu à la « Demande d'Information » et la DGEC, le CETMEF, le CETE Normandie Centre et le CETE Méditerranée ;
- des retours de la « Demande d'Information » adressée aux industriels et close en septembre 2012.

2.3.a – Indicateurs représentatifs des enjeux technico-économiques

Six indicateurs, représentatifs des enjeux technico-économiques, sont établis à l'aide de données descriptives des phénomènes hydrodynamiques (courants de marées, houle) et des caractéristiques physiques (bathymétrie, sédimentologie) du milieu.

Courants de marées :

Les courants de marées proviennent de l'interaction gravitationnelle de la terre, de la lune et du soleil. À proximité des côtes ces courants sont alternatifs et orientés selon une direction privilégiée. Deux indicateurs technico-économiques lui sont associés :

- Indicateurs technico-économiques : « *énergie surfacique du flot* »
La puissance produite par une hydrolienne dépend directement de la vitesse des courants de marées. Le point [V_{optimale} ; P_{maximale}] (Illustration 6) définit le fonctionnement « à la pointe » des machines. Les sites les plus intéressants pour des parcs hydroliens ont des vitesses de courants comprises entre la vitesse optimale et la vitesse d'arrêt de la machine.

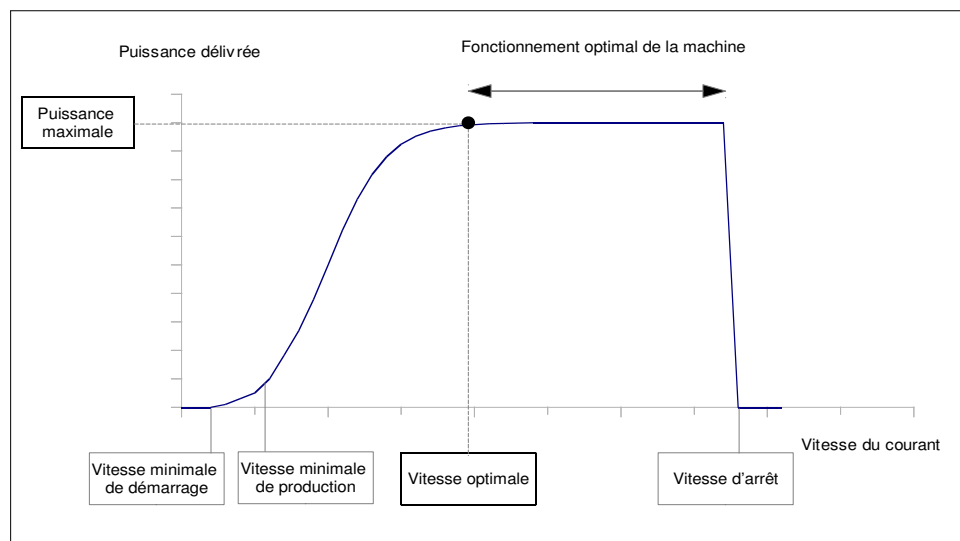


Illustration 6 : Production électrique délivrée en fonction de la vitesse du courant

Le productible annuel d'un site peut être évalué à partir des vitesses des courants de vives-eaux et de mortes-eaux. Cette donnée tient compte des variations des vitesses des courants avec la marée et constitue un indicateur technico-économique important.

- Indicateurs technico-économiques : « *distribution des vitesses des courants de mortes eaux et de vives eaux'* »
La « chaîne électrique » mise en place pour un parc hydrolien sera d'autant plus rentabilisée qu'elle pourra fonctionner longtemps à sa pleine puissance. **Les sites qui ont des vitesses de courants homogènes sont alors plus intéressants à exploiter.**

Bathymétrie :

Les profondeurs et les pentes de fonds favorables interviennent de façon différente selon les familles de technologies. Elles dépendent de la taille de la machine, du processus de captage d'énergie et des fondations choisies.

- Indicateurs technico-économiques : « *profondeur* »
L'installation de machines à des profondeurs importantes multiplie les contraintes en phase de chantier et en phase d'exploitation, et augmente les coûts associés à la résistance à la colonne d'eau. Néanmoins, l'installation en eaux profondes permet, d'une part, de réduire les efforts liés à la houle qui s'exercent sur les composants des machines et, d'autre part, de laisser une hauteur libre entre le rotor et la surface, facilitant la sécurité de navigation. Elles peuvent permettre aussi de laisser une hauteur libre entre le rotor et le fond marin minimisant ainsi les impacts des turbulences liées aux irrégularités du fond et les effets d'abrasion liée aux transports sédimentaires.
- Indicateurs technico-économiques : « *pente des fonds* »
Les zones de pente importante sont considérées comme moins favorables pour l'installation d'hydroliennes aux fondations gravitaires ou tripodes.

Sédimentologie :

- Indicateur technico-économique : « *nature du substrat* »
Les hydroliennes doivent résister à des efforts horizontaux importants résultants de l'écoulement de l'eau. Les technologies en cours de test proposent des solutions qui intègrent à la fois les forces auxquelles sont soumises les machines et la nature géologique du substrat. Les hydroliennes aux fondations monopieu pourront mieux convenir aux fonds sableux tandis que les celles aux fondations gravitaires ou ancrées pourront être privilégiées sur des fonds rocheux.

Houle :

- Indicateur technico-économique : « *disponibilité par rapport à la houle* »
Dans la colonne d'eau, les vitesses de déplacements liées à la houle se combinent aux vitesses du courant. Ce phénomène est à l'origine de la turbulence de l'écoulement. Le dimensionnement des constituants des machines doit tenir compte de ce phénomène de turbulence qui impacte à la fois sur le fonctionnement des machines et sur le sillage qu'elles génèrent. D'autre part, les machines dont le rotor est proche de la surface vont privilégier les zones abritées de la houle. Lors d'événements extrêmes, le système de récupération d'énergie de ces technologies doit être arrêté et les composants des machines peuvent être fortement endommagés.

2.3.b – Analyse pour le reclassement et la pondération des indicateurs

Les enjeux technico-économiques identifiés concernent la production électrique, le dimensionnement de la chaîne électrique, la résistance mécanique des composants des machines, les effets de sillage et enfin l'installation et la maintenance des machines. Ces enjeux sont liés aux produits et aux charges d'exploitation ainsi qu'au dimensionnement initial du projet.

Phénomènes hydrodynamiques Caractéristiques physiques / Indicateurs	Enjeux technico-économiques	Paramétrage suivant les technologies	Données utilisées
Courants de marées			
<u>Énergie surfacique</u>	Optimiser la production électrique.	Vitesse optimale de fonctionnement Solidité de la structure	Vitesses du courant de mortes eaux et de vives eaux.
<u>Distribution des vitesses</u>	Optimiser le dimensionnement de la chaîne électrique.	Vitesse optimale de fonctionnement Solidité de la structure	Vitesses du courant de mortes eaux et de vives eaux.
Houle			
<u>Disponibilité par rapport à la houle</u>	S'assurer de la résistance mécanique des machines. Limiter les effets de sillage de l'écoulement.	Hauteur libre sous la surface	Hauteur moyenne de la houle
Bathymétrie			
<u>Profondeur</u>	Optimiser la production électrique. S'assurer des capacités techniques d'installation et de maintenance ainsi que de la résistance mécanique des machines. Limiter les effets de sillage de l'écoulement.	Diamètre du rotor Taille de la machine	Bathymétrie
<u>Pente des fonds</u>	S'assurer des capacités techniques d'installation (assiette adaptée aux structures).	Type de fondations	Bathymétrie
Sédimentologie			
<u>Nature du substrat</u>	S'assurer des capacités techniques d'installation (résistance du sol au poinçonnement).	Type de fondations	Nature des fonds

Illustration 7 : Tableau synthèse des indicateurs et des enjeux technico-économique

Les indicateurs « *énergie surfacique* » et « *distribution des vitesses* », liés aux produits d'exploitation et à l'investissement initial, rentrent en compte pour 60 % dans l'évaluation technico-économique globale de chaque technologie. Les pondérations des indicateurs « *pente* », « *nature des fonds* » et « *disponibilité par rapport à la houle* » sont variables en fonction du type de fondations et de la position du rotor dans la colonne d'eau.

3 – Macro-zones potentiellement propices pour des fermes pilotes

3.1 – Identification des macro-zones

Le croisement des cartes d'aptitudes, réalisées pour différentes technologies et familles de technologies hydroliennes, permet d'identifier des secteurs offrant le meilleur potentiel pour la réalisation de tests.

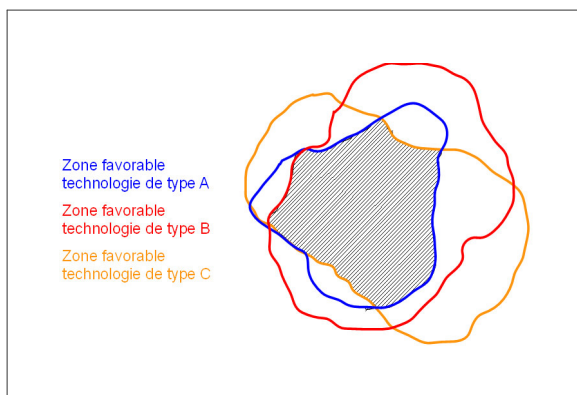


Illustration 8 : Identification de macro-zones pour des fermes pilotes

La distance de raccordement au réseau électrique, n'étant pas prise en compte dans les modélisations, les macro-zones pour des fermes pilotes sont des zones à la fois favorables du point de vue technique et économique et proches des côtes. La mise en place de fermes pré-commerciales à quelques kilomètres du rivage devrait faciliter le raccordement prévu à terre.

Trois macro-zones, parmi les plus favorables techniquement et économiquement pour plusieurs types de technologies hydroliennes, ont été identifiées dans : le Raz Blanchard, le Raz de Barfleur et le passage du Fromveur.

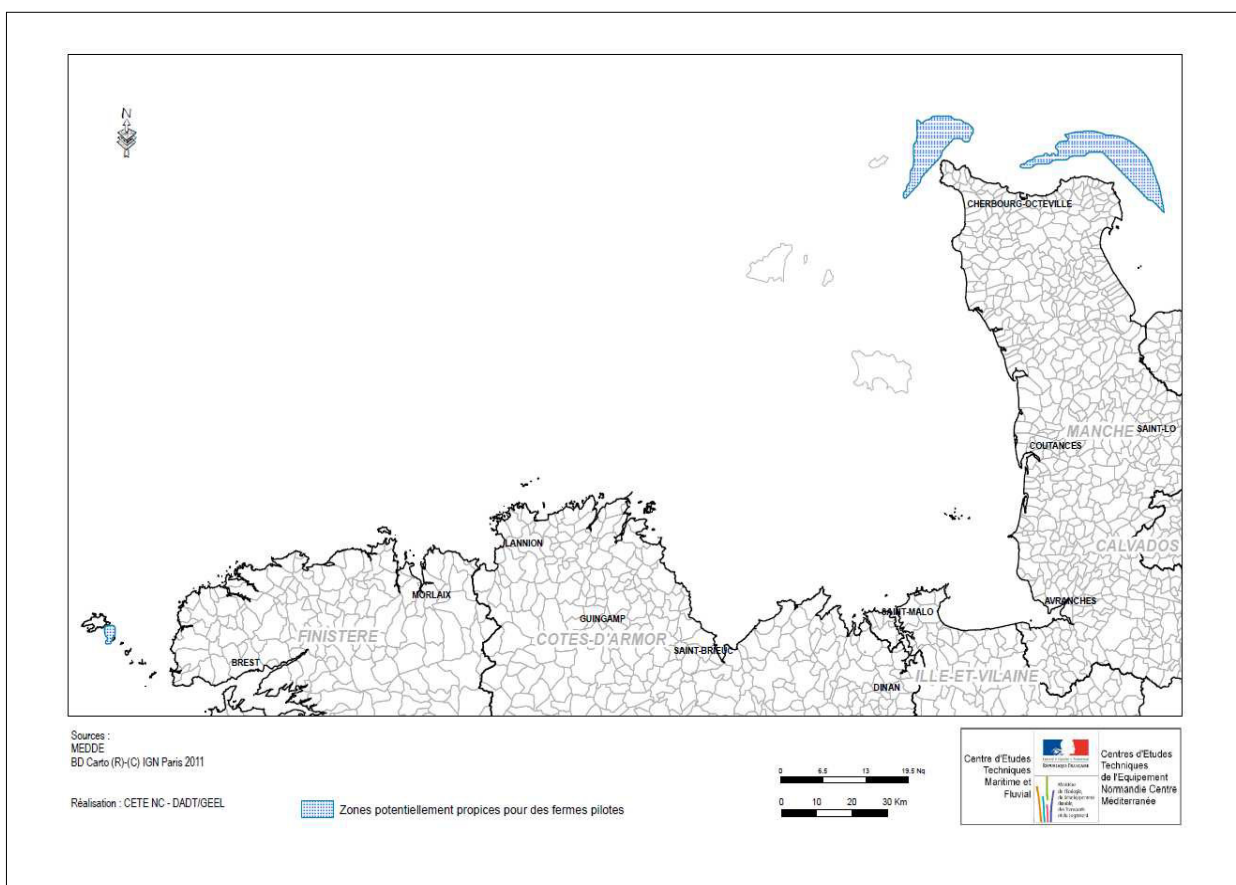


Illustration 9 : Macro-zones potentiellement propices pour des fermes pilotes

3.2 – Détermination de zones propices

Une approche technico-économique, telle que le permettent les modèles, est une première étape indispensable mais non suffisante pour finaliser une démarche de planification des activités hydroliennes à l'échelle d'un site. La concertation locale constitue un prolongement indispensable. Elle permet d'identifier des zones propices au sein des macro-zones en intégrant des données représentatives des enjeux environnementaux, socio-économiques et réglementaires, de la mer et du littoral. Il s'agit notamment de la prise en compte des activités de navigation maritime, de défense marine, de préservation du milieu marin et des activités de pêche.

4 – Informations complémentaires

4.1 – Précision des données

Les données brutes utilisées pour la réalisation de cette étude ont été produites par le SHOM, l'IGN, l'IFREMER et le CETMEF.

La qualité d'une couche de données est liée à la méthode d'acquisition de la donnée et à son pas d'acquisition. Sur le territoire d'étude, qui s'étend jusqu'à 50 km des côtes ou 200 m de profondeur, certaines données ne sont pas disponibles ou restent imprécises.

Afin de travailler avec une information géographique suffisamment précise, certaines couches de données sont construites à partir de plusieurs sources d'informations. C'est le cas de la couche de données bathymétrie qui est une compilation de sources de données de pas différents avec une variation des semis de points de 200 m à 1 km : les dalles Histolitt du SHOM, un semis de points avec un pas de 500 m fourni par l'IFREMER, la saisie de lignes bathymétriques sur les cartes SHOM et le GEBCO pour compléter la zone.

Pour une analyse détaillée des zones propices ce manque d'information pourra devenir une réelle contrainte.

4.2 – Acquisition de savoirs

Les premiers tests permettront notamment d'avoir un retour d'expérience sur le fonctionnement des technologies dans des conditions réelles d'exploitation. Les connaissances à acquérir portent, entre autre, sur :

- les aspects hydrodynamiques : effets de sillage, dimensionnement des parcs, etc ;
- la technologie : matériaux, fondations, système de conversion d'énergie, etc. ;
- les procédures d'installation, de raccordement, de maintenance et de démantèlement ;
- les impacts sur les conditions hydrodynamiques et sédimentaires du milieu ;
- les impacts sur l'environnement et sur les activités existantes.

Ces enseignements permettront d'enrichir et de préciser les modèles de l'étude en :

- modifiant éventuellement les reclassements et les pondérations des indicateurs déjà pris en compte ;
- introduisant de nouveaux indicateurs pour évaluer la faisabilité technico-économique des zones susceptibles d'exploitation commerciale future.

Les zones techniquement et économiquement propices pour des fermes commerciales pourront alors être plus finement localisées.

Liens utiles

- <http://www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr/>
Géolittoral est le géoportail mer et littoral du MEDDE. Il héberge différents projets du Ministère : SIG Énergies Marines Renouvelables, Ortholittoral, Catalogues sédimentologiques, GIMEL, etc.
- <http://www.ign.fr/>
L'IGN propose des bases de données et projets 3D à différentes échelles : Litto 3D, BD Ortho, etc. L'IGN est également producteur d'une cartographie continue « terre/mer », le Scan Littoral (en collaboration avec le SHOM).
- <http://www.shom.fr/>
Le SHOM propose différentes bases de données numériques : bathymétrie, marées et courants, cartes marines, etc. Ces données sont accessibles sur le géoportail <http://data.shom.fr/>.
- <http://www.ifremer.fr/>
L'Ifremer gère des bases de données géographiques qui regroupent différents projets : Sextant <http://www.ifremer.fr/sextant/fr/>, Previmer (en collaboration avec le SHOM), Sismer, etc.
- <http://anemoc.cetmef.developpement-durable.gouv.fr/>
ANEMOC est une base de données construite à partir de simulations rétrospectives sur une période de 23 ans, pour la façade Atlantique, Manche, Mer du Nord et de 30 ans, pour la façade Méditerranée. Les simulations ont été effectuées par EDF/LNHE avec le soutien du CETMEF.
- <http://www.cetmef.developpement-durable.gouv.fr/>
Le CETMEF exerce ses missions au service de l'État, des collectivités territoriales, des grands ports maritimes, de VNF, et de l'ensemble de la communauté maritime et fluviales.
- <http://www.gebco.net/>
GEBCO (General Bathymetric Chart of the Oceans) est une représentation bathymétrique des océans consultable et utilisable par le grand public. Elle est produite par la Commission Océanographique Intergouvernementale et l'Organisation Hydrographique Internationale.

- Maîtrise d'ouvrage de l'étude : DGEC (G.Grenon, J.Thomas)
- Réalisation de l'étude :
 - CETMEF (L.Thiebaud)
 - CETE Normandie Centre (P.Vigne, LA.Heno)
 - CETE Méditerranée (S.Cousseau, B.Vedovati)

